

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE
CONCENTRADO DE MINERALES A TRAVES DE UNA
FAJA TUBULAR DE 3000m**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GINO JESUS GIL BERRU

PROMOCIÓN 2009 - I

LIMA-PERÚ

2013

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis amigos y familia entre ellos de manera especial a Eduardo y Sara por el apoyo y la confianza que me brindaron en el logro de mis objetivos personales y profesionales y en especial durante la elaboración de este informe

INDICE

Prologo

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.-Antecedentes

1.2.-Objetivo general

1.3.-Objetivos específicos

1.4.-Justificación

1.5.-Alcances

1.6.-Limitaciones

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONCENTRADO MINERALES PARA EXPORTACION, DESDE LOS ALMACENES DEL CALLAO HASTA EL MUELLE

2.1.-Descripción del proceso de almacenaje de concentrado de minerales en los almacenes del Callao.

2.2.- Descripción del proceso de transporte de minerales desde los almacenes hasta el terminal portuario.

2.3.- Descripción del producto: concentrado de minerales para exportación.

CAPITULO III

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

3.1.- Identificación del problema.

3.1.1.- Estado situacional actual.

3.1.2.- Estado futuro deseado.

3.1.3.- Dificultades encontradas en el proceso de transporte de minerales.

3.2 Planteamiento de la hipótesis.

3.2.1 Diagrama Medios-Fines

3.2.2 Planteamiento de la hipótesis.

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1.- Generalidades de las fajas transportadoras.

4.1.1.-Materiales transportados por fajas.

4.1.2.-Empleo de fajas transportadoras

4.1.3.-Ventajas del empleo de fajas transportadoras.

4.1.3.1.- Capacidades a transportar y longitudes.

4.1.3.2.- Ventajas ambientales y de seguridad.

4.1.3.3.- Facilidad de carga y descarga.

4.2.- Componentes de un sistema de transporte con fajas.

4.2.1.-Faja Transportadoras.

4.2.1.1.- Definición y Funciones.

4.2.1.2.- Tipos principales.

4.2.1.3.- Constitución de la faja

4.2.2.-Rodillos y soportes.

4.2.2.1.- Generalidades de los rodillos.

4.2.2.2.- Funciones de los rodillos

4.2.2.3.-Tipos de rodillos

4.2.3.-Tambores o poleas.

4.2.3.1.- Definición.

4.2.3.2.-Principales componentes.

4.2.3.3.-Tipos de tambores y funciones que realizan.

4.2.4.-Sistemas tensores de faja.

4.2.4.1.-Funciones principales.

4.2.4.2.-Tipos de sistemas tensores de faja.

4.2.5.-Estaciones de rodillos o Bastidores.

4.2.6.-Sistemas de limpieza de faja.

4.2.6.1.-Generalidades e importancia.

4.2.6.2.-Incidencia económica de una mala limpieza.

4.2.6.3.-Dispositivos de limpieza.

4.2.7.-Tolvas o chutes de carga y descarga.

4.2.8.-Frenos y mecanismo anti retorno.

4.3.-Generalidades para el diseño de fajas transportadoras.

4.3.1.-Teoría para el diseño de fajas transportadoras extendidas.

4.3.1.1.-Que es una faja transportadora extendida.

4.3.1.2.-Información básica que se requiere para calcular una faja

4.3.1.3.-Formulas de para el cálculo de la potencia de la faja.

4.3.2.-Teoría para el diseño de fajas transportadoras tubulares.

4.3.2.1.-Que es una faja transportadora tubular.

4.3.2.2.-Procedimiento de cálculo para seleccionar la faja transportadora.

4.3.2.3.-Procedimiento de cálculo de la potencia requerida en la faja tubular.

4.3.2.4.-Procedimiento de cálculo y selección de componentes del sistema de transporte.

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONCENTRADO DE MINERALES.

5.1.- Diseño de un sistema de recepción de concentrado de minerales desde los almacenes.

5.1.1.-Diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

5.1.1.1.-Consideraciones para el diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

5.1.1.2.-Calculo de la potencia de transporte y tensiones en la faja.

5.1.1.3.-Diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

5.1.1.4.-Esquema del diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

5.1.2.-Sistema de separación y detección de metales.

5.1.2.1.-Sistema de separación de metales.

5.1.2.2.-Sistema de detección de metales

5.1.2.3.-Esquema del diseño del sistema de separación y detección de metales.

5.1.3.-Diseño de un sistema de medición de flujo másico.

5.1.3.1.-Consideraciones para la selección de una balanza para la medición del flujo másico.

5.1.3.2.-Selección de una balanza para el sistema de medición de flujo másico.

5.1.3.3.-Esquema del diseño de medición de flujo másico.

5.2.-Diseño de torre de transferencia de concentrado de mineral desde faja de recepción hacia la faja tubular.

5.2.1.-Diseño de chute de transferencia en la alimentación.

5.2.1.1.-Consideraciones para el diseño del chute de transferencia de concentrado de minerales.

5.2.1.2.-Esquema del diseño de chute de transferencia.

5.2.2.-Sistema colector de polvo de concentrado de minerales originado durante la transferencia de concentrado.

5.2.2.1.-Consideraciones para el diseño del sistema colector de polvo.

5.2.2.2.-Sistema colector de polvo seleccionado.

5.2.2.3.- Esquema del diseño del sistema colector de polvo.

5.3.-Diseño del sistema de transporte de concentrado de minerales mediante la faja tubular.

5.3.1.-Consideraciones para el diseño de la faja tubular.

5.3.2.- Diseño de la faja tubular.

5.3.3.- Calculo de la potencia de transporte de la faja tubular.

5.3.4.-Calculo y selección de los componentes del sistema de transporte.

5.3.5.-Diseño del sistema de tensado de la faja tubular.

5.3.6.-Sistema de control e instrumentación de la faja tubular.

5.3.7.-Esquemas del diseño de la faja tubular.

5.4.- Diseño de torre de transferencia en la descarga de concentrado de mineral de la faja tubular hacia la faja del muelle.

5.4.1.-Diseño de chute de transferencia en la descarga.

5.4.1.1.-Consideraciones para el diseño del chute de transferencia de concentrado de minerales.

5.4.1.2.-Esquema del diseño de chute de transferencia.

5.5.- Diagrama de flujo mecánico general del diseño

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

Prologo

A través del presente informe de suficiencia he pretendido realizar un análisis y estudio de las consideraciones importantes e imprescindibles requeridas al realizar el diseño de un “Sistema para transporte de materiales a través de una faja tubular”.

Para el desarrollo del informe me he basado en estudiar lo establecido en las Normas DIN 22101 y DIN 22102 referente a “Fundamentos generales de diseño para sistemas transportadores”. Para una adecuada aplicación de este estudio referenciaré este informe al desarrollo del proyecto “Terminal de Embarque y Faja Transportador a Tubular para Concentrados de Minerales en el Puerto del Callao”, realizado por el consorcio TRANSPORTADORA CALLAO TC (empresas mineras El Brocal, Chinalco, Impala, PeruBar y Santa Sofia Puertos) cuya realización significa una inversión mayor a los 100 millones de dólares y cuyo inicio se remonta a la firma del contrato entre TC y el MTC en enero 2011.

En los capítulos 2 y 3 analizaremos la situación actual de cómo se está realizando el transporte de concentrado de minerales desde los almacenes hasta el puerto del Callao, sustentaremos entonces la necesidad de la construcción de un nuevo embarque exclusivo para minerales y de un sistema de transporte hermetico a través de una faja tubular.

Los cálculos y resultados presentados en el capítulo 5 son resultado directo de la aplicación y análisis de los procedimientos matemáticos establecidos en las normas y que se resumen en el capítulo 4, por lo tanto la referencia al proyecto desarrollado pretende hacer que el estudio, cálculos y resultados se muestren aplicativos a la sociedad. Además deseamos comprobar que los cálculos realizados bajo la aplicación directa de las matemáticas generan los mismos resultados que el dimensionamiento realizado por los programas computacionales empleados en la actualidad.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.-Antecedentes

En este subcapítulo pretenderemos nombrar dos hechos que antecedieron al desarrollo del proyecto “Terminal de Embarque y Faja Transportadora Tubular para Concentrados de Minerales en el Puerto del Callao”. Al ser este un proyecto público debo indicar que la información principal presentada como antecedente es de conocimiento público y se puede acceder a ella a través de las páginas de internet presentadas en la bibliografía.

Antecedente 1.-Los principales almacenes de concentrado de minerales se ubican en el distrito del callao, provincia constitucional del callao cerca del terminal portuario de ENAPU PERU. Esto brinda entre otros, servicios de almacenamiento, embarque y desembarque de concentrado de minerales provenientes de distintas minas del Perú, en el marco de las políticas de calidad, seguridad y medio ambiente. Sin embargo hasta el año 2001 los almacenes operaban sin contar con una política ambiental, por lo que se generaban malas prácticas de manejo de concentrados de minerales tal que se contribuía a incrementar la problemática ambiental del callao.

Desde el año 2002 los almacenes de concentrado participan del programa de monitoreo de calidad de aire y parámetros meteorológicos PMCPM, el cual fue puesto en marcha por la sociedad nacional de minería, petróleo y energía. Esto ha servido para reducir de manera considerable la contaminación ambiental generada en el proceso de descarga de minerales provenientes de las minas, almacenaje de minerales en los almacenes y carga de minerales hacia los camiones para poder trasladarlos hacia el terminal portuario. Sin embargo actualmente subsiste como principal problema la contaminación ambiental generada al transportar los minerales desde los almacenes hasta el terminal portuario debido a que este es descargado a la losa del muelle y después es cargado hacia las bodegas a través de fajas transportadoras portátiles las que son alimentadas por cargadores frontales. El análisis de la contaminación ambiental generada como problema social se presentará en el capítulo 2.

Antecedente 2.-Durante los años 2010 y 2011 la empresa internacional ODEBRECHT realizó un proyecto en Bayobar - Piura referente a la construcción de una faja tubular y un moderno sistema de cargado de minerales a los barcos a través de un equipo especial llamado “Shiploader” el cual permitía llenar las bodegas de los barcos con fosfato proveniente de los cilos de almacenaje ubicados a 1km del muelle.

Actualmente ODEBRECHT es la contratista encargada de desarrollar el proyecto “Terminal de Embarque y Faja Transportador a Tubular para Concentrados

de Minerales en el Puerto del Callao” en las instalaciones del puerto del callao colindantes al pueblo de puerto Nuevo. (Ubicación se muestra en la Fig. 3.7)

1.2.-Objetivo general

El objetivo principal del proyecto es “Diseñar un sistema de transporte de concentrado de minerales a través de una faja transportadora tubular hermética que conecte los almacenes con el puerto y que pueda ser empleada por cualquier operador que brinde servicios de almacenaje de minerales. Permitiendo un transporte limpio, rápido seguro y eficiente de concentrado de minerales”.

1.3.-Objetivos específicos

Existen específicamente diferentes objetivos con el desarrollo del proyecto entre ellos podremos considerar:

- Recuperar el ornato de la zona, solucionando con prontitud el problema de contaminación en el callao pendiente desde hace muchas décadas.
- Eliminar más de 75 000 viajes de camión anuales que generan gran congestión en las vías de acceso al puerto.
- Liberar el espacio del puerto que actualmente se emplea para descargar el concentrado y emplearlo para otras cargas.

1.4.-Justificación

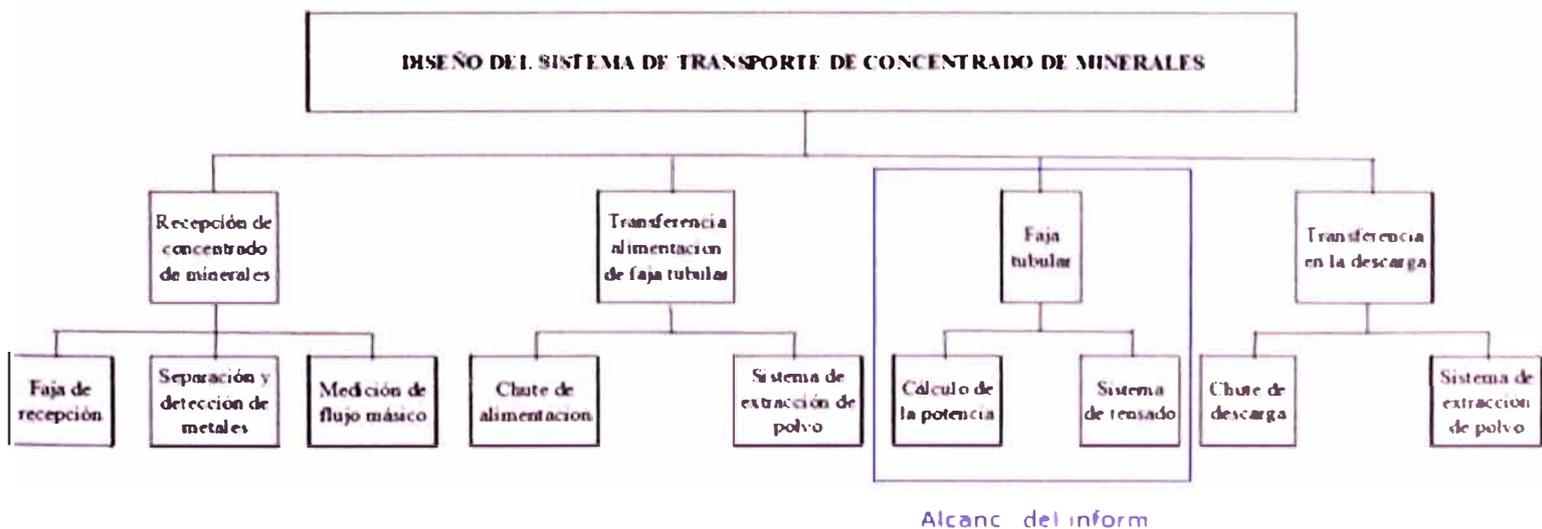
Las fajas tubulares son un método muy eficaz en situaciones donde es necesario el transporte de algún material de manera hermética, logrando aislar el medio ambiente del material que se transporta y también el material transportado de las adversidades del mismo medio ambiente, además un sistema de transporte por fajas permite la descarga directa de concentrado hacia las bodegas de los barcos justificando aun más el empleo de una faja tubular para el transporte de concentrado de minerales. Es además una opción tecnológicamente muy adecuada porque permite un transporte muy capaz de adaptarse a la trayectoria requerida según la necesidad tanto en longitud, pendientes, velocidad y fuerza permitiendo un sistema de transporte muy fácil de monitorearse y por lo tanto seguro y eficiente en el ahorro de energía.

1.5.-Alcances

El alcance del proyecto “Terminal de Embarque y Faja Transportador a Tubular para Concentrados de Minerales en el Puerto del Callao”, incluye una torre de recepción de concentrado de minerales provenientes de los almacenes, una faja extendida que recibe los concentrados “faja alimentadora” y que los vierte a la faja tubular a través de una torre inicial de transferencia llamada Open Access. La faja tubular transportará el concentrado hacia el muelle a través de más de 3000m de recorrido para finalmente verterla en un sistema Faja Tripper – Shiploader que se

encarga de depositar finalmente el concentrado a los barcos de manera segura y reduciendo al mínimo las emisiones de polvo al ambiente.

Sin embargo el alcance de este informe es el diseño del sistema de transporte de concentrado a través de la faja tubular desde el sistema de recepción de materiales hasta la torre de transferencia al inicio del muelle.



Incluye además dentro de este informe una descripción de los sistemas complementarios importantes para el sistema de transporte a través de la faja tubular como por ejemplo los cálculos de la faja de recepción de concentrado proveniente de los almacenes, el sistema de traspaso del material desde el sistema de recepción hasta la faja tubular y de la faja tubular hacia la faja del muelle que alimenta el cargador de barcos y el sistema de recolección de polvo de concentrado de mineral producido durante el traspaso de concentrado.

1.6.-Limitaciones

Existe actualmente ya definidos diferentes estudios respecto a la manera de realizar el diseño de un sistema de transporte de materiales empleando fajas transportadoras. Diversas empresas especializadas en el tema brindan la asesoría respectiva para el estudio y cálculo matemático de diseño basado en las normas DIN 22101 y DIN 22102, sin embargo el diseño final que ofrecen es producto del corrimiento de diferentes software que ellos desarrollan y que son propiedad de cada empresa.

Los cálculos desarrollados en este informe se basan principalmente en los estudios y asesoría que brinda la empresa PHOENIX proveedor de la faja tubular en el proyecto en mención y cuya información también es de acceso público a través de su página de internet la cual incluimos en la bibliografía de este informe.

Sin embargo durante el desarrollo del diseño y cálculos se pueden observar diferentes limitaciones que a simple vista no permitirían poder realizar estos. Para explicar mejor estas limitaciones e indicar la manera en cómo fueron superadas podemos indicar que existen dos formas de realizar los cálculos para el diseño de una faja tubular, la primera forma la llamaremos “modo matemático mecanizado” y la segunda forma la llamaremos “modo matemático analítico”. La primera manera implica conseguir toda la información relacionada con en el funcionamiento de la faja tubular, a manera de ejemplo podemos nombrar: Ruta o trayectoria de

transporte, longitud total, alturas de los diferentes puntos de la trayectoria, radios de curvatura horizontal, radios de curvatura vertical, obstáculos en el camino, topografía detallada (elevaciones), flujo másico requerido, flujo volumétrico requerido, máxima velocidad de transporte, tiempos de operación horas/día y días/año, tipos de material a transportar, características del material a transportar (rangos de densidad, ángulo de reposo, tamaño de grano), humedad, estándares de cálculo, tipos de soportes, espaciamiento entre soportes, galerías, cargas muertas/vivas, cargas de viento, cargas sísmicas, coberturas, pasamanos, características de la zona, pérdidas mecánicas, tipos de acero empleado en estructuras, tipos de fijaciones, etc. Esta forma de cálculo es considerada “imposible” debido a que nunca se podrán tener los datos exactos que se necesitan y además muchos de ellos dependerán otros de tal manera que primero debemos deberemos asumir algunos valores para luego al final ratificar que lo asumido sea correcto y concuerde con los resultados obtenidos . La segunda manera emplea mayor análisis y combina la experiencia con los métodos de cálculo matemático, considera que existen algunos factores desconocidos hasta que se empieza a desarrollar el trabajo, así se considera proceder con la información disponible y asumiendo otra y por ende realiza los cálculos con un cierto factor de incertidumbre y después de realizar el cálculo podemos verificar que los datos iniciales asumidos sean los adecuados aplicando métodos iterativos. Sin embargo se debe enfocar los cálculos en información que es crucial para poder realizar un cálculo adecuado para la faja tubular. El marco teórico necesario para los cálculos se presenta en el capítulo 4 del presente informe.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONCENTRADO MINERALES PARA EXPORTACION, DESDE LOS ALMACENES DEL CALLAO HASTA EL MUELLE

2.1.-Descripción del proceso de almacenaje de concentrado de minerales en los almacenes del Callao.

Actualmente, en el Callao existe infraestructura con tecnología de punta que garantiza la no contaminación por plomo en los almacenes, se han construido modernos depósitos con sistemas de ventilación invertida los que se encuentran en operación desde el año 2002.



Fig. 2.1.-Deposito hermético de plomo

Esta infraestructura sumada a un manejo bajo sistemas de gestión internacionalmente certificados evidencia el control de la contaminación de manera sostenida.

La carga proveniente de las minas del centro del país se traslada hasta los almacenes en camiones cerrados y en vagones de tren sin cuya existencia sería imposible cubrir con la demanda de transporte para los minerales. Los vehículos ingresan a los almacenes a través de una zona encapsulada con puertas automatizadas dobles. Todo el trabajo de descarga de concentrado se realiza en su interior sin generar polvo. Las partículas de plomo en suspensión al interior de los depósitos son absorbidas por un moderno sistema de ventilación a presión invertida que las conduce hasta un sistema de filtros que purifican el aire para ser devuelto finalmente al medio ambiente como aire limpio.

2.2.- Descripción del proceso de transporte de minerales desde los almacenes hasta el terminal portuario.

En la actualidad los concentrados que salen de los almacenes del Callao son transportados en camiones volquetes autodescargante desde los almacenes hasta las bodegas de los barcos en las instalaciones portuarias de ENAPU PERU. El concentrado es depositado sobre la losa 5 del puerto descargado y apilado sobre esta losa, es llevado mediante cargadores frontales para ser depositado en fajas

transportadoras portátiles que vierten finalmente el concentrado en las bodegas de los barcos.

2.3.- Descripción del producto: concentrado de minerales para exportación.

En los almacenes de concentrado de minerales del Callao se almacenan y alista para exportar cobre, plomo y zinc los cuales, después del oro vienen a ser los principales minerales para la economía nacional y por ende los que mayor cifras de exportación registran al año.

Es importante conocer las características de estos materiales las que se presentan a continuación:

Tabla 2.1.-Características del material a transportar

| | Concentrado de Cobre | Concentrado de Zinc | Concentrado de plomo |
|----------------------|---|---|---|
| Densidad de material | 1,94-2,22 t/m ³ | 2,14-2,60 t/m ³ | 2,60-3,70 t/m ³ |
| Angulo de reposo | 33° - 42° | 37° - 42° | 40° |
| Humedad | 5-12 % | 7-14% | 9 % |
| Granulometría | < 0.150mm. (90-95%) (Resto material entre 3.175 y 0.150 mm.) | < 0.150mm. (90-98%) (Resto material entre 3.175 y 0.150 mm.) | < 0.150mm. (90-95%) (Resto material entre 3.175 y 0.150 mm.) |

CAPITULO III

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

3.1.- Identificación del problema.

3.1.1.- Estado situacional actual.

Subsiste un factor de contaminación durante el traslado de los concentrados desde los almacenes existentes hasta las bodegas de los barcos en las instalaciones portuarias de ENAPU PERU. Los concentrados transportados en camiones volquetes autodescargantes que generan gran congestión vehicular en la zona y que además muchas veces son asaltados durante el recorrido.



Fig. 3.1.- Congestión de camiones (transporte de concentrados al puerto)

El principal problema se observa en el terminal portuario, donde el concentrado es depositado sobre el muelle 5 del puerto ocupando grandes áreas durante las operaciones de embarque las que consisten en descargarlo y apilarlo sobre la losa de dicho muelle.



Fig. 3.2.-Descarga de concentrados de plomo en el muelle 5 del puerto.

Luego mediante cargadores frontales el concentrado es depositado en fajas transportadoras portátiles



Fig. 3.3.-Descarga de concentrados en fajas portátiles.



Fig. 3.4.-Faja transportadora portátil

Finalmente las fajas portátiles depositan el concentrado hacia las bodegas de los barcos generándose emisiones de plomo al aire y por lo tanto contaminando el medio ambiente.



Fig. 3.5.-Faja transportadora portátil

3.1.2.- Estado futuro deseado.

Construir una faja transportadora hermética que conecte los depósitos con el puerto del callao permitirá un transporte limpio rápido seguro y eficiente de los concentrados, se eliminará además más de 75000 viajes de camión anuales y liberando espacio para otras cargas en las instalaciones portuarias.

La faja transportadora partirá desde un sistema de torres de recepción de concentrado de minerales denominado de OPEN ACCESS lo que significa que estará disponible para cualquier empresa que dedicada al rubro de almacenaje de cobre, plomo y zinc.

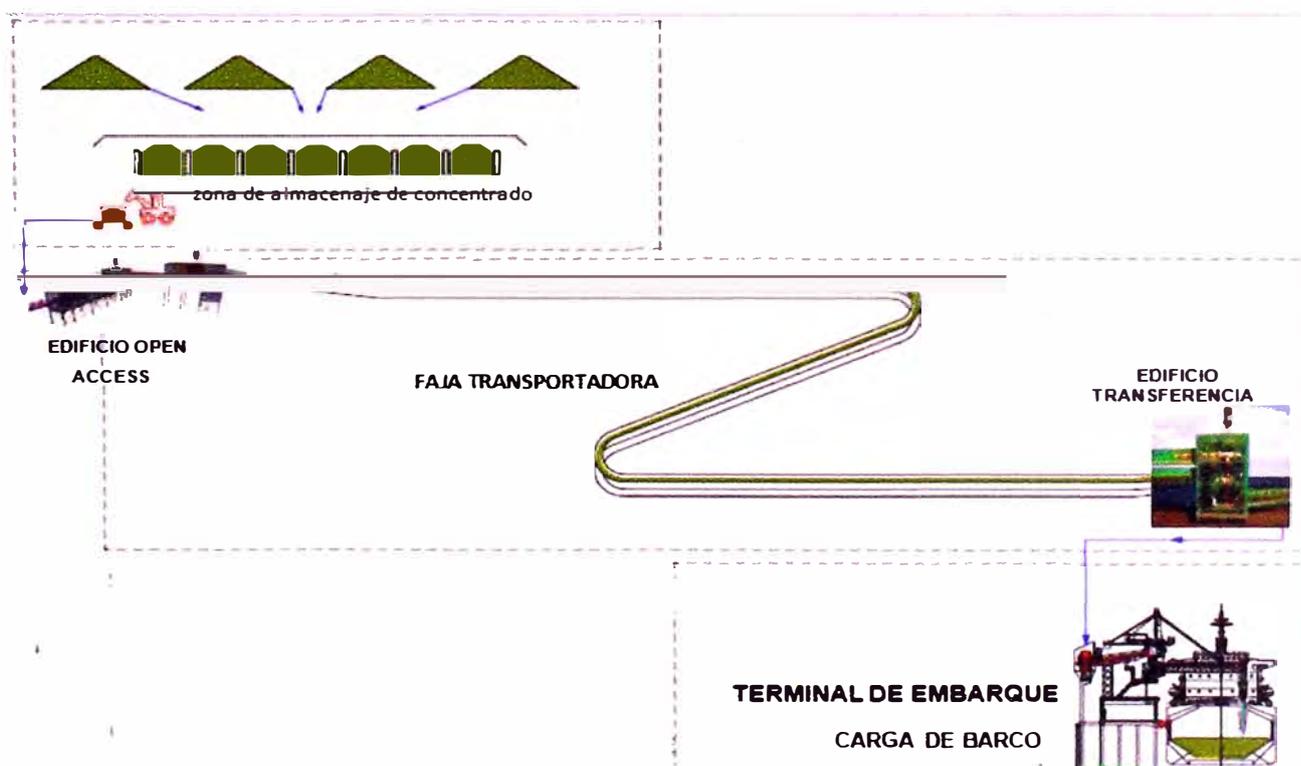


Fig. 3.6.-Esquema de flujo del sistema de transporte. (Ref. pág. bibliográfica 1)

El sistema de recepción de concentrado de minerales estará ubicado en las instalaciones de IMPALA en un punto estratégico cerca y accesible para los almacenes. La faja hermética recorrerá por las zonas de VOPAK, La Base Naval rodeando el río Rímac para finalmente llegar al muelle de minerales donde se descarga el concentrado a un sistema moderno de descarga de minerales hacia las bodegas de los barcos llamado “Cargador de Barcos” ubicado en el muelle de minerales, el cual no forma parte del estudio de este informe.

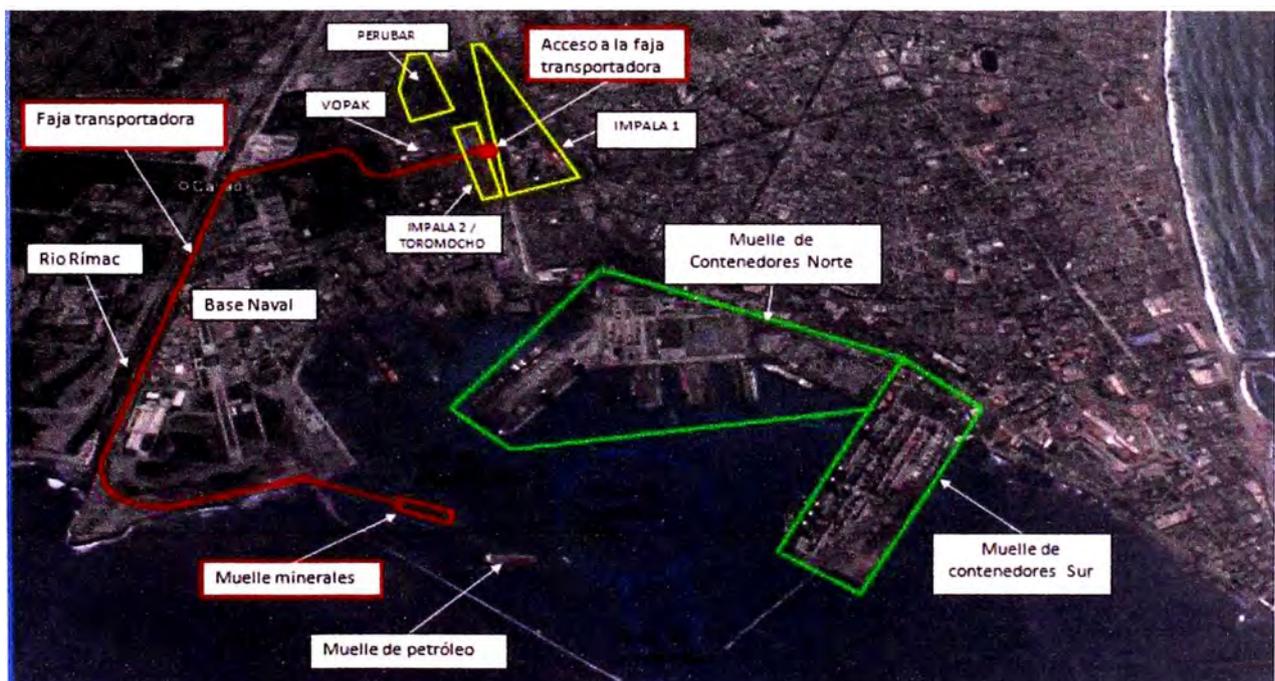


Fig. 3.7.-Ubicación del sistema de transporte. (Ref. pág. bibliográfica 1)

La faja tendrá una longitud aproximada de 3000 m y podrá abastecer la demanda proyectada futura para la exportación de concentrado de minerales para ello está diseñada para una capacidad de transporte de 2300 Ton/hora.

Además entre los impactos socio ambientales positivos podemos considerar:

- Mejora de la salud de la población por disminución de partículas de minerales en el aire y suelo.
- Mejora en la salud de los trabajadores al descargar directamente en las bodega de los barcos.
- Disminución del malestar a la población por problemas de ruido en la zona
- Mejora de la calidad del aire y disminución de problemas respiratorios por la no generación de gases de combustión producida por los camiones.
- Descongestiona, el acceso al puerto para contenedores y otras cargas.

Es decir la construcción de esta faja permitirá solucionar con prontitud el problema de contaminación en el callao pendiente desde hace muchas décadas.

3.1.3.- Dificultades encontradas en el proceso de transporte de minerales.

Después de describir los problemas y dificultades existentes durante el transporte de minerales desde los almacenes hasta el terminal portuario de ENAPU PERU comprendemos que es necesario para el bienestar de los ciudadanos del callao e importante para el desarrollo del país desarrollar una alternativa que permita solucionar el problema encontrado.

Se plantea entonces el problema mediante la siguiente pregunta:

¿Es posible diseñar un sistema de transporte de concentrado de minerales desde los almacenes del callao hasta el muelle de manera más rápida, efectiva, eficiente y que reduzca de manera drástica la contaminación ambiental?

3.2 Planteamiento de la hipótesis.

3.2.1 Diagrama Medios-Fines

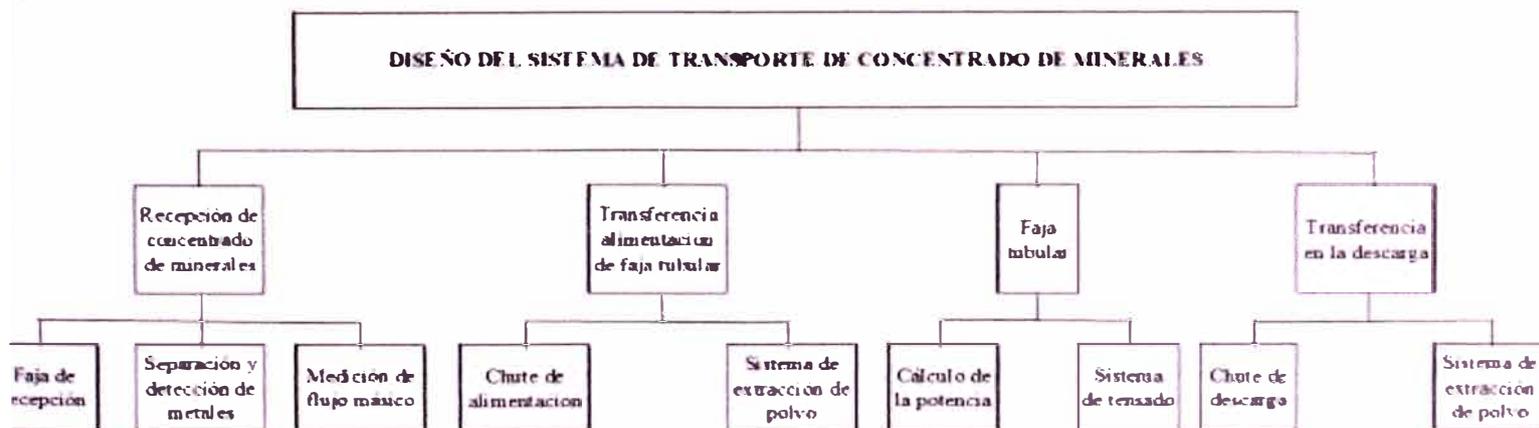


Fig. 3.8.-Diagrama de medios fines.

3.2.2 Planteamiento de la hipótesis.

En virtud de poderse validar el diseño de un sistema de recepción de concentrado de minerales tal que sea posible que diferentes empresas que almacenan concentrado de minerales puedan emplearlo, entendiéndose además que este sistema de recepción de minerales está conformado por una faja extendida de corta longitud que permite transportar los concentrados de minerales recepcionados separar partículas metálicas extrañas, medir el flujo másico de concentrado y alimentar a través de una torre de transferencia inicial a una faja tubular. Habiéndose validado también el diseño de este otro sistema de transporte de minerales cerrado y hermético el cual está conformado principalmente por una faja tubular, tomando en consideración que el concentrado de minerales se debe transportar desde los almacenes hasta el muelle reduciendo de manera drástica la contaminación ambiental y que la faja tubular debe ser diseñada tal que cuente con la potencia necesaria para transportar diferentes tipos de concentrado de minerales a través de una trayectoria con pendientes y curvas de manera segura y controlada, entonces se puede consistenciar y plantear la siguiente hipótesis.

“Es posible diseñar y calcular un sistema transportador de concentrado de minerales desde los diferentes almacenes del Callao hasta el muelle de manera más rápida, efectiva, eficiente y reduciendo drásticamente la contaminación ambiental a través de una faja tubular hermética de gran longitud”.

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1.- Generalidades de las fajas transportadoras.

En la actualidad, el procesamiento de un producto industrial, agroindustrial, agrícola y minero están sujetos a diferentes movimientos, ya sean en sentido vertical, horizontal e inclinados. Para cumplir este objetivo, son utilizados equipos con el nombre de “fajas transportadoras”. Las fajas transportadoras, vienen desempeñando un rol muy importante en los diferentes procesos industriales y esta se debe a varias razones entre las que destacamos:

- Grandes distancias a las que se efectúa el transporte.
- Facilidad de adaptación al terreno.
- Gran capacidad de transporte.

En este capítulo ahondaremos en conocer la teoría necesaria para entender el funcionamiento del sistema de transporte de materiales a través de fajas y las formulas básicas que permitirán calcular y diseñar este tipo de sistemas tal que facilite posteriormente el desarrollo del capítulo 5.

4.1.1.-Materiales transportados por fajas.

Los primeros materiales que se transportan por faja y de los que se tiene noticia histórica, fueron los cereales, las harinas y salvados derivados de los mismos. Con posterioridad, el otro producto más transportado fue el carbón. Las capacidades a transportar y las distancias eran pequeñas desde el punto de vista actual.

Las fajas transportadoras Transportan materiales diversos por ejemplo:

Materiales empleados en la construcción.

Arcilla (fina, seca), arena (seca, húmeda), asfalto (para pavimentos), caliza (molida, triturada, agrícola, hidratada), Cemento, cenizas, granito, hormigón, grava, tierras, etc.

Combustibles.

Antracita, coke (de petróleo calcinado y metalúrgico salido del horno), carbón, hulla, lignito, etc.

Fertilizantes.

Fosfato (granulado, pulverizado), guanos, nitratos, sulfatos, sales, urea, etc.

Minerales.

Aluminio, alumbre, azufre, cobre, hierro, grafito, magnesio, plomo, yeso, Zinc, etc.

Alimentos y Productos de Origen Vegetal.

Azúcar, aceitunas, algodón, café, cacao, guisantes, harinas, papas, maíz, nueces, remolachas, etc.

4.1.2.-Empleo de fajas transportadoras.

El empleo de las Fajas Transportadoras es muy diverso entre las cuales podemos destacar los siguientes:

- Las industrias extractivas (minas subterráneas y a cielo abierto, canteras).
- Las Industrias Siderúrgicas (parques de carbón y minerales).
- Instalaciones portuarias de almacenamiento, carga y descarga de barcos.
- Centrales Térmicas (parques de almacenamiento y transporte a quemadores de carbón, así como la evacuación de las cenizas producidas)
- Agroindustrias azucareras (Transporte de bagazo, cachaza).
- Industria Automotriz.
- Industria Químico - Farmacéutica.

4.1.3.-Ventajas del empleo de fajas transportadoras.

4.1.3.1.- Capacidades a transportar y longitudes.

Teniendo en cuenta el progreso realizado en la fabricación de fajas, tanto en anchuras (hasta 2m.), como en calidades, es corriente en la actualidad el transporte de hasta 10000 T/Hora, existiendo fajas que transportan hasta 50000 T/Hora. En lo que respecta a la longitud, existen fajas de hasta 30 Km.

4.1.3.2.- Ventajas ambientales y de seguridad.

Efectuando la cubrición de las fajas, es posible evitar la dispersión del polvo producido durante el transporte, contribuyendo a mantener una atmósfera limpia. En la actualidad es posible reducir por completo la emisión de polvo al exterior mediante la instalación de fajas tubulares, esto es importante si la faja está próxima a núcleos urbanos.

4.1.3.3.- Facilidad de carga y descarga.

Aunque en general las fajas transportadoras se cargan en un extremo de las mismas, es posible efectuar la carga en un punto cualquiera de las mismas, mediante dispositivos diversos (Tolvas, descarga directa desde otra faja, etc.).

La descarga de las fajas transportadoras se efectúa generalmente en cabeza, pero es posible hacerla también en cualquier punto fijo de las mismas, o de una forma continua, empleando disposiciones constructivas adecuadas, (Carros descargadores, llamados comúnmente Trippers).

4.2.- Componentes de un sistema de transporte con fajas.

El anexo 1 muestra un esquema con las partes principales de un sistema de transporte de materiales a través de una faja. Cada uno de estos componentes los describiremos a continuación.

4.2.1.-Faja Transportadoras.

4.2.1.1.- Definición y Funciones.

La función principal de la faja es soportar directamente el material a transportar y desplazarlo desde el punto de carga hasta el de descarga, razón por la cual se la puede considerar el componente principal del sistema de transporte; también en el aspecto económico es, en general, el componente de mayor precio. Se sabe que conforme aumenta la longitud, también crece el costo de la faja respecto del total.

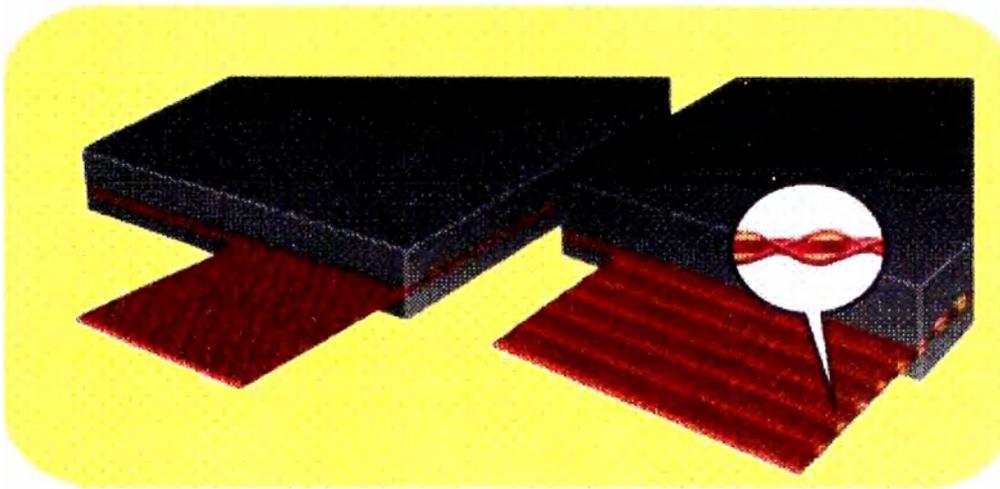


Fig. 4.1.-Fajas de Aramida Con Telas De Cordones

4.2.1.2.- Tipos principales.

Pueden llevarse a cabo las siguientes clasificaciones de las fajas:

Según el tipo de tejido:

- De algodón.
- De tejidos sintéticos.
- De cables de acero.

Según la disposición del tejido:

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

Según el aspecto de la superficie portante de la carga:

- Lisas (aspecto más corriente).
- Rugosas.
- Con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados.

4.2.1.3.- Constitución de la faja

La Faja al cumplir la función de transportar, está sometida a la acción de las siguientes influencias.

- Influencia de las fuerzas longitudinales, que producen alargamientos
- Influencia del peso del material entre las temas de rodillos portantes, que producen flexiones locales, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal, y ello a consecuencia de la adaptación de la faja a la tema de rodillos.
- Influencia de los impactos del material sobre la cara superior de la faja durante la carga, que producen erosiones sobre la misma.

Para soportar adecuadamente las influencias anteriores, la faja está formada por dos componentes básicos:

- 1.-El tejido o Carcasa, que transmite los esfuerzos.
- 2.-Los recubrimientos, que soportan los impactos y erosiones.

1.-El tejido consta de la urdimbre o hilos longitudinales, y de la trama o hilos transversales; la urdimbre, que soporta los esfuerzos de tracción longitudinales, es en general bastante más resistente que la trama, la cual solo soporta esfuerzos transversales secundarios, derivados de la adaptación a la forma de artesa y de los producidos por los impactos. La rigidez transversal de la trama, no debe ser excesiva, con el fin de que la faja pueda adaptarse bien a la artesa formada por la terna de rodillos.

Los tejidos empleados en la actualidad, son los siguientes.

Tabla 4.1.- Tejidos de las fajas y su designación abreviada

| Nombre Común | Designación Abreviada |
|---------------------|------------------------------|
| Algodón | B |
| Rayón | Z |
| Poliéster | E |
| Poliamida | P |
| Cables De Acero | St |

2.-Los recubrimientos o partes externas están formados por elastómeros (caucho natural), plastómeros (pvc), u otros materiales. Los recubrimientos de goma sirven para unir los elementos constitutivos de la carcasa y constan de dos partes, la superior y la inferior.

El espesor del recubrimiento de la carcasa está en función del tipo de aplicación de la faja y de la anchura de esta. Como se ha dicho, la goma es el elemento básico de los recubrimientos; tomando en consideración las propiedades mecánicas de resistencia, alargamiento y abrasión, las Normas DIN 22102 y 22131, han establecido las categorías W, X, Y, Z, las cuales se indican en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Propiedades de los recubrimientos W, X, Y y Z

| Calidad de los recubrimientos | W | X | Y | Z |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Resistencia a la tracción longitudinal (N/mm ²) | 18 | 25 | 20 | 15 |
| Alargamiento de rotura longitudinal (%) | 400 | 450 | 400 | 350 |
| Abrasión mm ³ | 90 | 120 | 150 | 250 |

4.2.2.-Rodillos y soportes.

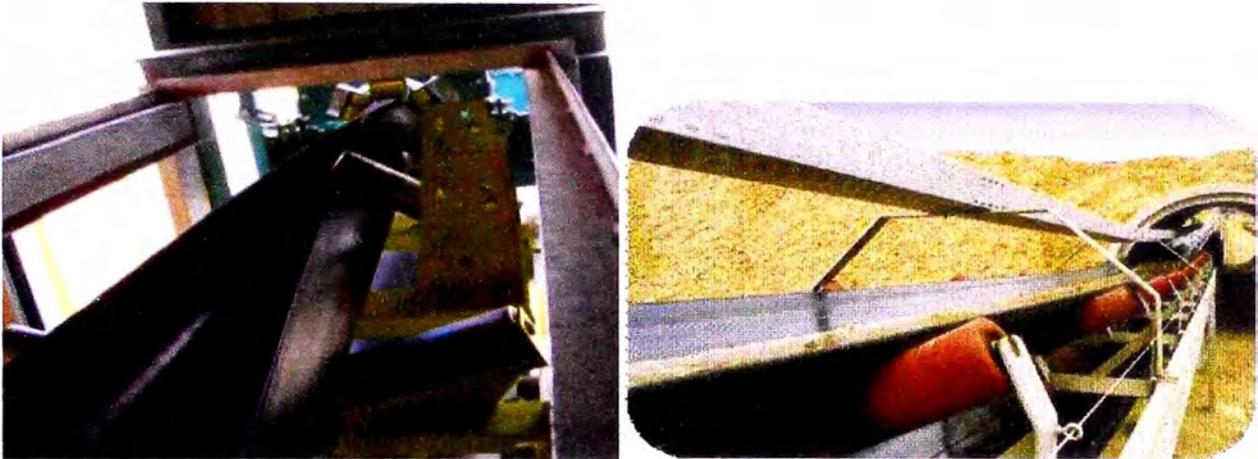


Fig. 4.2.-Arreglo de rodillos y sus soportes en faja tubular y faja extendida.

4.2.2.1.- Generalidades de los rodillos.

Los rodillos son uno de los componentes principales de un sistema de transporte por faja, y de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la misma. Si el giro de los mismos no es bueno, además de aumentar la fricción y por tanto el consumo de energía, también se producen desgastes de recubrimientos de la faja, con la consiguiente reducción de la vida de la misma.

Los rodillos normalmente se forman en temas, las cuales son alojadas en las estaciones o bastidores. La separación entre estaciones de rodillos se establece en función de la anchura de la faja y de la densidad del material transportado.

4.2.2.2.- Funciones de los rodillos

Las funciones a cumplir son principalmente tres:

- a).-Soportar la faja y el material a transportar por la misma en el ramal superior, y soportar la faja en el ramal inferior; los rodillos del ramal superior situados en la zona de carga, deben soportar además el impacto producido por la caída del material.

- b).-Contribuir al centrado de la faja, por razones diversas la faja esta sometida a diferentes fuerzas que tienden a decentarla de su posición recta ideal. El centrado de la misma se logra en parte mediante la adecuada disposición de los rodillos, tanto portantes como de retorno.

- c).- Ayudar a la limpieza de la faja ,aunque la faja es limpiada por los rascadores, cuando el material es pegajoso pueden quedar adheridos restos del mismo, que al entrar en contacto con los rodillos inferiores pueden originar desvíos de la misma; para facilitar el desprendimiento de este material se emplean rodillos con discos de goma (rodillos autolimpiadores).

4.2.2.3.-Tipos de rodillos

Los más utilizados son:

-Rodillos de Alineación.-Sirven para alinear la faja dentro de la propia instalación.

-Rodillos de Impacto.-Recubiertos de discos de goma para absorber los golpes provocados por la caída de bloques en las tolvas de recepción.

-Rodillos de Retorno.-Formados con discos de goma.

-Rodillo cilíndrico.-Con la superficie exterior lisa, tal como la obtenida mediante el empleo de tubos de acero; es el más empleado.

-Rodillo cilíndrico con aros de goma.-Son adecuados para soportar los fuertes impactos del material en las zonas de carga, mientras que si se montan en los rodillos de retorno, deben ser adecuados para facilitar la limpieza de la faja.



Fig. 4.3.-Rodillos de Impacto



Fig. 4.4.-Rodillos de alineamiento.



Fig. 4.5.-Rodillos de retorno.

4.2.3.-Tambores o poleas.

4.2.3.1.- Definición.

Los tambores o poleas están constituidos por un eje de acero, siendo el material del envolvente acero suave y dos discos laterales que pueden ser de acero suave o acero moldeado.

La determinación de los diámetros del tambor o polea depende del tipo de banda empleado, el espesor de las bandas o el diámetro del cable de acero, según sea el caso; a su vez estos espesores o diámetros dependen de la tensión máxima en la banda. Por lo tanto el diámetro exterior depende de la tensión en la banda.

4.2.3.2.-Principales componentes.

- Envolvente cilíndrica y discos laterales, formando un solo cuerpo.
- Eje.
- Elementos de Unión.
- Recubrimientos.

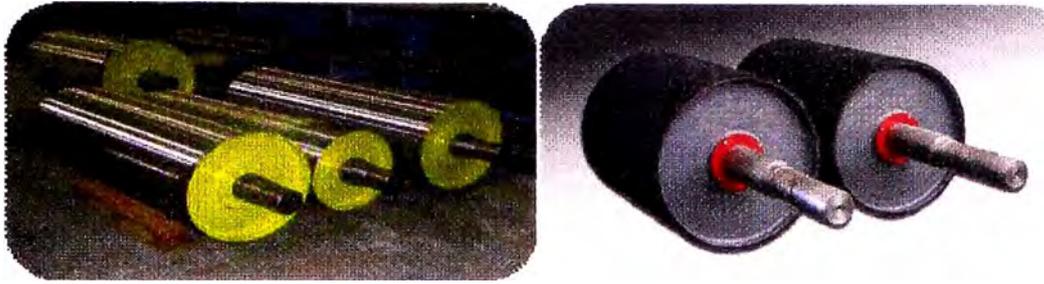


Fig. 4.6.-Tambores o poleas

4.2.3.3.-Tipos de tambores y funciones que realizan.

a).-Desde el punto de vista de las funciones a desempeñar, haremos dos grandes grupos:

-Tambores motrices.-que transmiten la fuerza tangencial a la banda

-Tambores no motrices.- los cuales realizan la función de cambio de trayectoria de la banda y las cuales pueden dividirse en (Reenvió ,Tensores ,Desvió ,Presión)

b).-Dependiendo de la magnitud de la tensión

-Tambores Tipo A.-Tambores motrices de alta tensión de la banda, con ángulo abrazado mayor de 30° (tambores motrices).

-Tambores Tipo B.-Tambores en zona de baja tensión con ángulo abrazado mayor de 30° (tambores de cola)..

-Tambores Tipo C.-Tambores con ángulo abrazado menor de 30° (tambores de desvió).

4.2.4.-Sistemas tensores de faja.

4.2.4.1.-Funciones principales.

Los dispositivos de tensado cumplen las siguientes funciones:

-Lograr el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz.

-Evitar derrames de material en las proximidades de los puntos de carga, motivados por falta de tensión en la banda.

-Compensar las variaciones de longitud producidas en la banda, estas variaciones son debidas a cambios de tensión en la banda.

-Mantener la tensión adecuada en el ramal de retorno durante el arranque.

El anexo 1 muestra un esquema donde se puede apreciar claramente el sistema tensado de una faja.

4.2.4.2.-Tipos de sistemas tensores de faja.

Se clasifican en:

Por su forma constructiva:

-De lazo sencillo

-De lazo múltiple

Por la forma de aplicar la fuerza tensora:

-Automática

-Fija

Por el equipo mecánico que aplica la fuerza:

-Gravedad

-Husillo

-Cabrestante manual fijo

-Cabrestante eléctrico fijo

-Cabrestante eléctrico automático

Por la situación del equipo de tensado:

-En cabeza

-En cola

No todas las posibilidades de combinación entre los aspectos o formas anteriores se presentan en la práctica; los más utilizados son el tensor Automático y Fijo.

4.2.5.-Estaciones de rodillos o Bastidores.

Las estaciones de rodillos también conocida como bastidores son estructuras metálicas que constituyen el soporte de la banda transportadora y demás elementos de la instalación entre el punto de alimentación y el de descarga del material. Se compone de los rodillos, ramales superiores e inferior y de la propia estructura soporte.

Las estaciones son el componente más sencillo de las cintas, y su función es soportar las cargas del material, banda, rodillos y las posibles cubiertas de protección contra el viento.

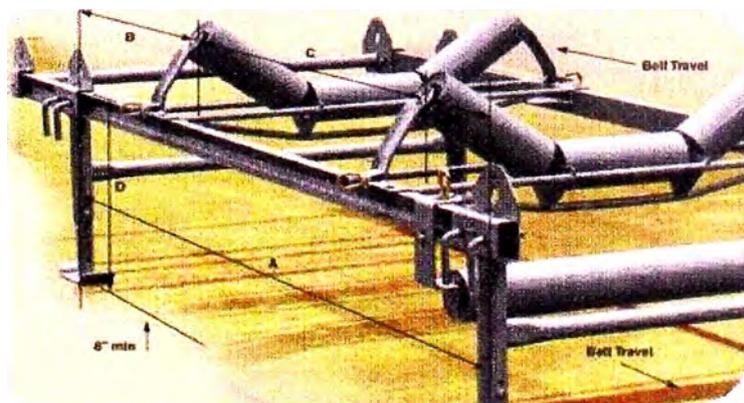


Fig. 4.7.-Estaciones en una faja extendida



Fig. 4.8.-Estaciones en una faja tubular

4.2.6.-Sistemas de limpieza de faja.

4.2.6.1.-Generalidades e importancia.

La limpieza en las cintas transportadoras, aun siendo un problema de gran importancia económica durante el funcionamiento de las mismas, sigue estando sin resolver totalmente; es curioso que siendo de poco costo los equipos de limpieza, comparados con el total de la cinta, se escatime en los mismos. Se estima que con una buena limpieza se obtendría ahorros importantes, pero hay que reconocer la dificultad en conseguir una buena limpieza en las cintas que transportan cierto tipo de materiales.

4.2.6.2.-Incidencia económica de una mala limpieza.

La incidencia económica de la mala limpieza tiene tres aspectos:

-Pérdida de capacidad transportadora, cuyo valor es en general reducido.

-Costo de la mano de obra empleada en la limpieza del material fugitivo, depositado en bastidores y suelo, mantenimiento de los equipos de limpieza (rascadores) y atención al desvío de bandas, principalmente.

-En cintas de gran capacidad, y cuando se ha visto la imposibilidad de la limpieza de la banda en el ramal inferior, se instalan debajo de este y en las proximidades de la cabeza motriz, transportadores especiales de corta longitud, que recorren el material desprendido y lo incorpora a la vena principal.

4.2.6.3.-Dispositivos de limpieza.

a).-Rascadores actuando sobre el tambor motriz.

-Rascador pendular de contrapeso, con tiras de goma.- Es el más popular, pero su eficacia es muy limitada. Se emplea en cintas sencillas sin grandes exigencias de limpieza.

-Rascador "principal" con láminas de rascado independientes y tensión por brazo de torsión.- Este rascador es mucho más eficaz que el anterior, pero si el material es muy pegajoso se forman montículos

de barro que limitan mucho su eficacia, siendo necesario el empleo de un rascador previo.

-Rascador previo.- Situado antes del "principal". Se emplea cuando el material es pegajoso y de difícil limpieza, para facilitar el trabajo del "principal".

El mayor problema con estos rascadores, es el de reposición de los elementos limpiadores, cuando ya estos se han desgastado.

b).-Rascadores actuando sobre los demás tambores.

-Rascador en V con tiras de goma.

-Rascadores fijos en diagonal.

4.2.7.-Tolvas o chutes de carga y descarga.

Los chutes o tolvas que se emplean para el traspaso de materiales entre las fajas debe permitir transportar el flujo másico de concentrado de minerales de manera eficiente y segura. El flujo de material se caracteriza porque todo el material se mueve a la vez durante la descarga, en particular, el material pegado a las paredes se desliza sobre estas vaciándose junto con el resto. Desde el inicio de la descarga ninguna partícula o aglomerado permanece en su situación original, todas se mueven lo que impide la

existencia de zonas muertas. El material que primero entra en el chute es el primero que sale, lo que tiende a mantener constante el tiempo de residencia o almacenamiento del material en el chute en un proceso continuo.

La descarga de un chute en no se detiene por la formación de canales, puesto que todo el material se mueve a la vez. Además, las tensiones que aparecen durante la descarga son predecibles.

Diseño de chutes.-El diseño de chutes que servirán para el flujo másico de materiales implica determinar la altura, las presiones que soportan las paredes, la abrasión sobre las paredes por parte del material transportado, el valor del ángulo máximo que forma las paredes del chute con la vertical en la zona de descarga y el del tamaño mínimo de la boca de salida.

Obstrucciones de la boca de salida.-El tamaño de la boca de salida de un silo debe ser lo suficientemente grande para que no se obture durante su descarga. Este fenómeno puede ser debido a la formación de bóvedas, si el material es cohesivo, o al taponado por formación de estructuras, si las partículas son suficientemente grandes. Para evitar las interrupciones del flujo, basta con que la boca de salida sea un orden de magnitud mayor que de las partículas o aglomerados que constituyen el material. El cálculo del diámetro de salida, que evite las interrupciones por el primer mecanismo, es muy laborioso y se basa en el flujo requerido para el transporte de material, de las características del material (factor flujo , densidad), tensión de corte a la que está sometida el

material, ángulo de fricción del sistema material transportado –pared de chute, ángulo de la pared del chute con la v

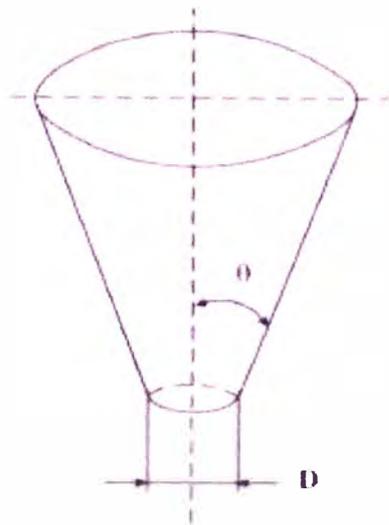


Fig. 4.9.-Variables de diseño.

No es objetivo de este informe estudiar el diseño de los chutes de descarga por lo que solo se mostrara el diseño final establecido para el proyecto el cual es importante considerar en el conjunto sistema de transporte de concentrado de minerales.

4.2.8.-Frenos y mecanismo anti retorno.

Los mecanismos anti retornó son un sistema mecánico interno a los reductores o transmisores de potencia ubicados entre el motor de potencia y la polea motriz. Este sistema consiste en una traba que evita que el giro del reductor en sentido contrario al

del avance de la faja transportadora. Se emplea cuando el diseño de la faja sea unidireccional y donde existen pendientes en el sentido de avance de la faja de tal manera que en caso de detenerse el sistema de transporte el peso del material transportado origine y una fuerza de retroceso del sistema.

4.3.-Generalidades para el diseño de fajas transportadoras.

4.3.1.-Teoria para el diseño de fajas transportadoras extendidas.

4.3.1.1.-Que es una faja transportadora extendida.

Una banda faja transportadora es una estructura de goma o tejido en forma de correa cerrada en anillo con una o varias uniones vulcanizadas o empalmadas metálicamente, las cuales se emplean para el transporte de materiales. Son los aparatos más usados para el transporte de material a granel a considerables velocidades de traslado y distancias.

Los elementos principales de un sistema de transporte por faja se muestran en el anexo 1, sin embargo podremos sintetizar con la siguiente figura:

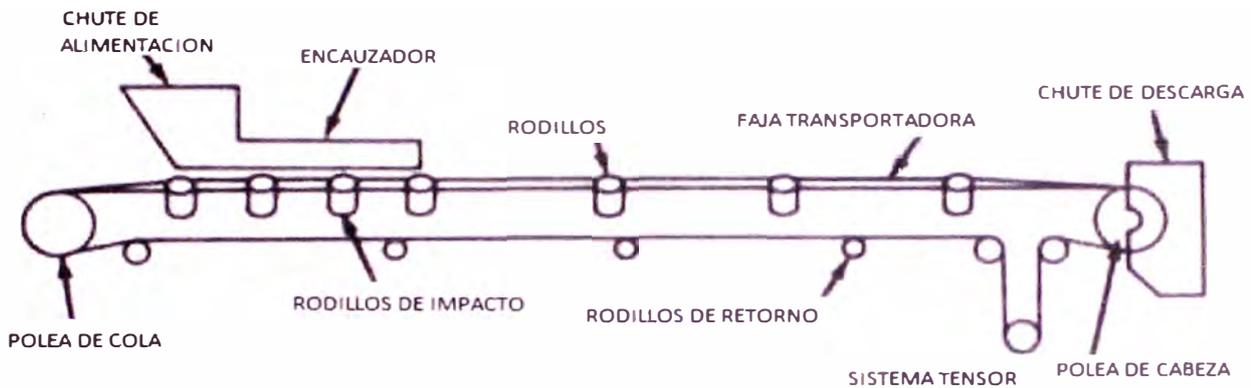


Fig. 4.10.-Componentes de un sistema de transporte por faja.

El sistema de transporte consiste en que una faja continua de goma (caucho, neopreno, etc.) que es cargada de material se apoya y desliza sobre unos rodillos (portantes) y que es arrastrada por un tambor (polea) de accionamiento por efecto de la adherencia. La banda retorna vacía apoyándose en otros rodillos hasta el tambor de retorno (cola) para completar el ciclo.

El sistema de transporte por fajas constan de:

- Banda
- Rodillos portantes y de retorno
- Tambor motriz y de retorno
- Sistema de tensión y Sistema de limpieza
- Dispositivo para zona de alimentación
- Dispositivo para descarga

Los rodillos portantes pueden disponerse:

- a).-Horizontalmente: Para fajas alimentadoras, transporte de sacos, etc.
- b).-Inclinados: En bina (2 rodillos, Poco usual) . En terna (3 rodillos, el central es horizontal y los extremos forman un ángulo (20°, 35°, o 45°).

La capacidad de transporte en m/s de la banda depende del ángulo de los rodillos y del talud dinámico del material.

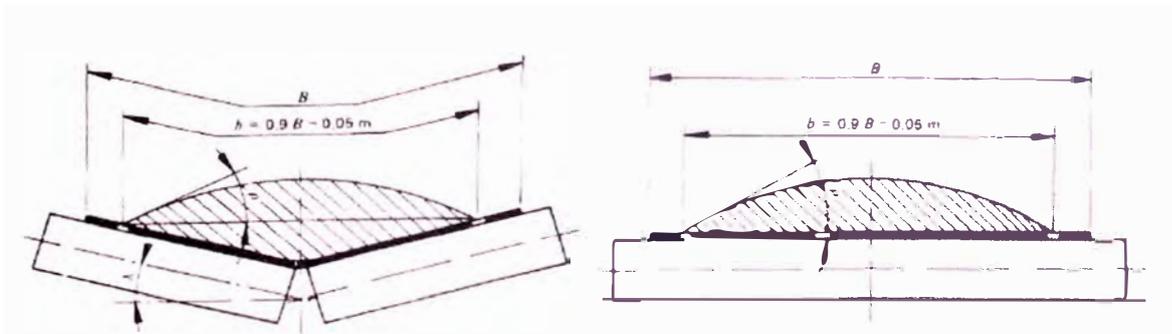


Fig. 4.11.-Disposiciones de rodillos en un sistema de transporte.

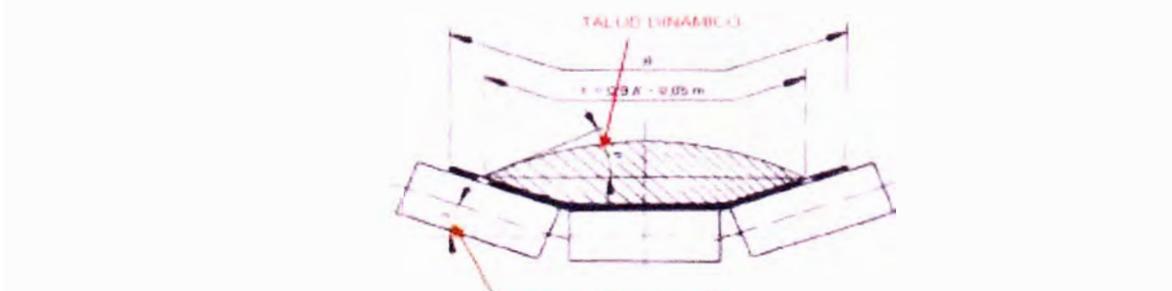


Fig.4.12.-Disposiciones de rodillos en un sistema de transporte.

4.3.1.2.-Información básica que se requiere para calcular una faja extendida.

Datos necesarios: Es importante considerar la función que cumple la faja transportadora, en nuestro caso nos basaremos en que la faja extendida servirá para alimentar la faja tubular la cual trasportara el concentrado hasta el muelle. Es decir que la faja extendida alimentadora no tiene una trayectoria de transporte complicada, sin embargo es importante para su cálculo conocer:

- a).-Flujo másico requerido.
- b).-Características del material a trasportar.(densidad, ángulo de reposo).
- c).-Longitud y desnivel (pendiente o rampa).

4.3.1.3.-Formulas de para el cálculo de la potencia de la faja.

Las formulas para el cálculo de la potencia mecánica son conocidas y formuladas en base a la norma DIN 22101, y se definen de la siguiente manera:

$$P_w = F_w \cdot v_f$$

$$P_m = \frac{P_w}{\eta_m}$$

Siendo:

$P_w =$ Potencia total requerida en la polea motriz

$F_w =$ resistencia al movimiento de la faja

$v_f =$ velocidad de diseño de faja

$P_m =$ Potencia del motor

$\eta_m =$ Eficiencia en la transmision motor – polea

Calculo de la resistencia al movimiento de la faja extendida

Con la faja avanzando en un estado de funcionamiento continuo, las resistencias al movimiento surgen de fuerzas de masa, peso y fricción.

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen}\delta$$

Siendo:

$F_h =$ resistencias primarias de la trayectoria de la faja

$F_n =$ resistencias secundarias totales

$F_{st} =$ resistencia a la gradiente del material transportado

$f_w =$ Coef. de fricción ficticia de faja para marcha sobre rodillos

$g =$ aceleración de la gravedad

$m_r =$ masa de partes giratorias de rodillos y tambores

$m_f =$ masa de la faja transportadora (superior y retorno)

$m_m =$ masa de material transportado

$\delta =$ angulo de inclinacion o gradiente

$C =$ coeficiente de fuerza secundaria

La norma DIN 22101 permite obtener el coeficiente C en función de la longitud de la faja transportadora a través de la siguiente tabla:

Tabla 4.3. Coeficiente de fuerza secundaria

| | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Longitud del transportador L en mt | 80 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| Coeficiente C | 1.92 | 1.78 | 1.58 | 1.45 | 1.31 | 1.25 | 1.20 |
| Longitud del transportador L en mt | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1500 | ≥ 2000 |
| Coeficiente C | 1.17 | 1.14 | 1.12 | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.05 |

Calculo de las tensiones en la faja según la fuerza de la polea motriz

En la polea motriz se cumple:

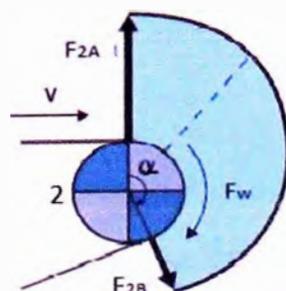


Fig. 4.13.-Análisis de fuerzas en la polea motriz.

Por la teoría de transmisión de potencia con fajas se sabe que el esfuerzo periférico en la polea motriz corresponde al par motriz transmitido y depende de la diferencia de tensiones entre el ramal tensado y el ramal flojo.

$$F_w = F_{2A} - F_{2B}$$

De la ecuación de Euler-Eytelwein se tiene:

$$F_{2A} = \frac{e^{u \cdot \alpha}}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_w$$

$$F_{2B} = \frac{1}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_w$$

Siendo:

$u =$ *coeficiente de fricción entre la faja y la polea*

$\alpha =$ *Angulo de contacto entre la faja y la polea (rad)*

El valor de “*coeficiente de fricción entre la faja y la polea*” está definido según el tipo de sistema de tensado de la faja en función de la siguiente tabla:

| TIPO DE TENSOR | | | |
|----------------|------------------|---------------|------------------|
| A tornillo | | A contrapeso | |
| Tambor normal | Tambor revestido | Tambor normal | Tambor revestido |
| 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 |

Tabla 4.4.-coeficiente de fricción entre faja y polea

El ángulo de contacto entre faja y polea motriz depende del diseño del sistema y puede ser de tres maneras:



Fig. 4.14.-Ángulo de contacto faja tambor.

Análisis de las tensiones en el sistema de transporte:

Sistema con una polea motriz:

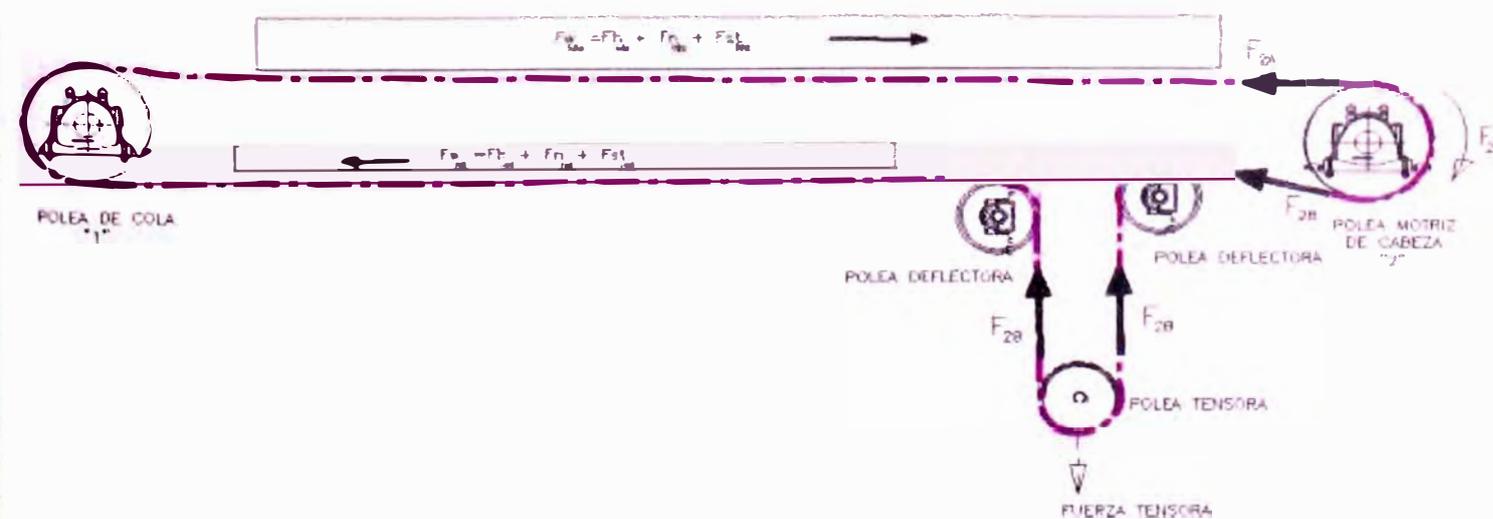


Fig. 4.15.-Análisis de tensiones en un sistema con una polea motriz.

Donde:

$F_{w\ ida}$ = Resistencia al movimiento en la faja superior (ida)

$F_{w\ ret}$ = Resistencia al movimiento en la faja inferior (retorno)

Luego se cumple:

$$F_2 = F_{2A} - F_{2B}$$

$$F_{2A} = F_{w\ ida}$$

$$-F_{2B} = F_{w\ ret}$$

$$F_{tensora\ minima} > 2 F_{2B}$$

$$F_{2A} = \frac{e^{u.a}}{e^{u.a}-1} \cdot F_2, \quad F_{2B} = \frac{1}{e^{u.a}-1} \cdot F_2$$

Sistema con dos poleas motrices:

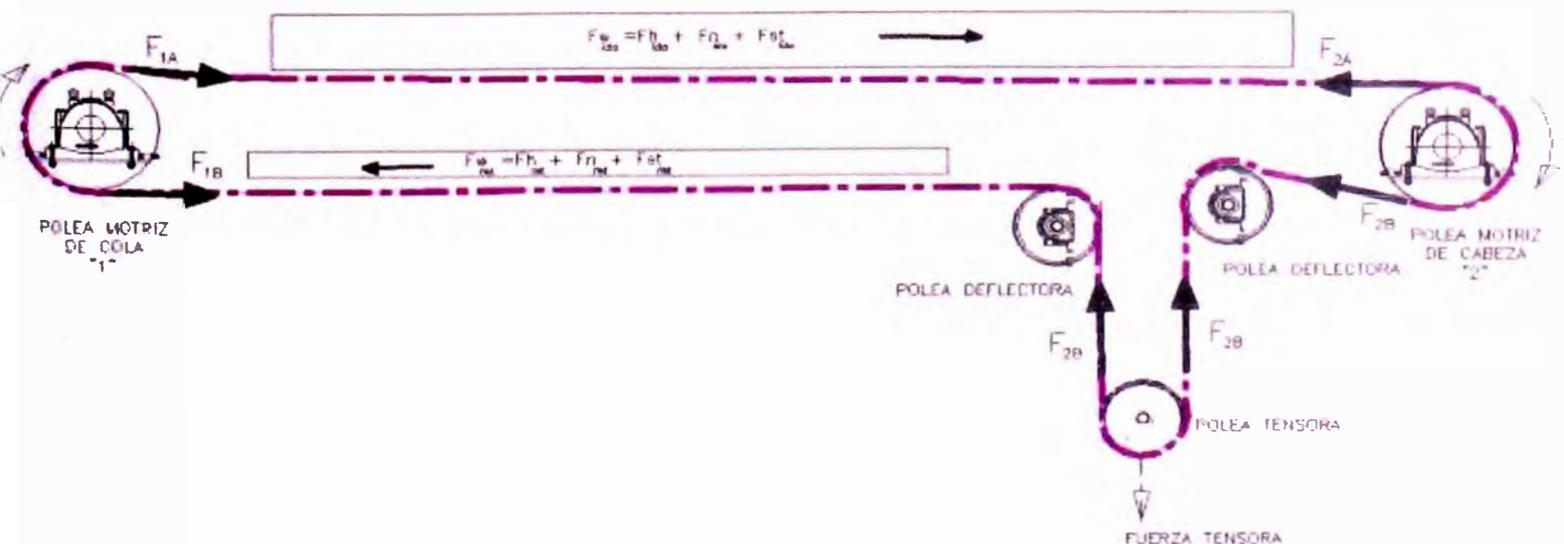


Fig. 4.16.-Análisis de tensiones en un sistema con dos poleas motrices.

Donde:

$F_{w\text{ ida}}$ = Resistencia al movimiento en la faja superior (ida)

$F_{w\text{ ret}}$ = Resistencia al movimiento en la faja inferior (retorno)

Luego:

$$F_2 = F_{2A} - F_{2B}$$

$$F_1 = F_{1B} - F_{1A}$$

$$F_{2A} - F_{1A} = F_{w\text{ ida}}$$

$$F_{1B} - F_{2B} = F_{w\text{ ret}}$$

$$F_{\text{tensora minima}} > 2 F_{2B}$$

$$F_{2A} = \frac{e^{u.\alpha}}{e^{u.\alpha}-1} \cdot F_2, \quad F_{2B} = \frac{1}{e^{u.\alpha}-1} \cdot F_2$$

$$F_{1B} = \frac{e^{u.\alpha}}{e^{u.\alpha}-1} \cdot F_1, \quad F_{1A} = \frac{1}{e^{u.\alpha}-1} \cdot F_1$$

4.3.2.-Teoría para el diseño de fajas transportadoras tubulares.

4.3.2.1.-Que es una faja transportadora tubular.

Una faja tubular no es tanto diferente de una faja transportadora extendida para el transporte de material a granel. La carga y la descarga se desarrollan de la misma manera para ambos tipos de portadores, sólo existe una diferencia significativa entre éstas: “Después de que el material está cargado en la faja, con un sistema de rodillos especial se le da forma de tubo a la faja transportadora, la faja avanza en

forma tubular durante todo su recorrido transportando el material en su interior hasta la zona de descarga donde nuevamente un sistema de rodillos especial permite abrirse a la faja tubular hasta obtener nuevamente la forma extendida y la deja lista para poder descargar el material a granel al chute/tolva de descarga.



Fig. 4.17.-Sistema de rodillos formadores de tubo.

La principal ventaja de las fajas tubular es que permite transportar el material protegiéndolo del medio ambiente y protegiendo al medio ambiente del material. Además en la faja tubular se reducen los efectos de las curvas horizontales y verticales así como las inclinaciones empinadas.

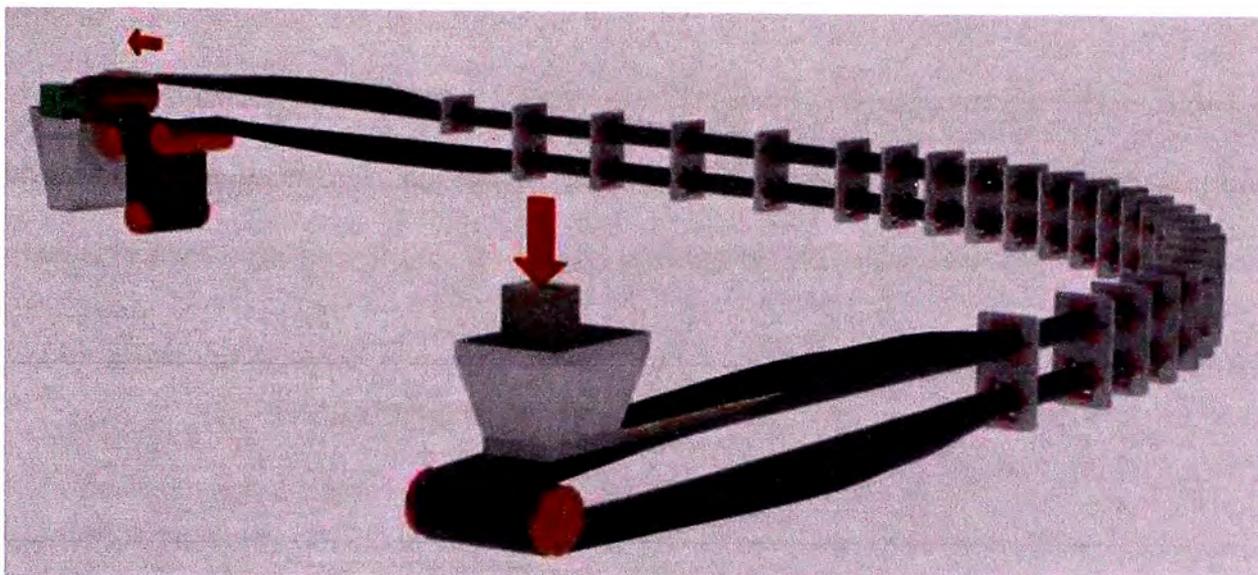


Fig. 4.18.-Principio de la faja tubular.

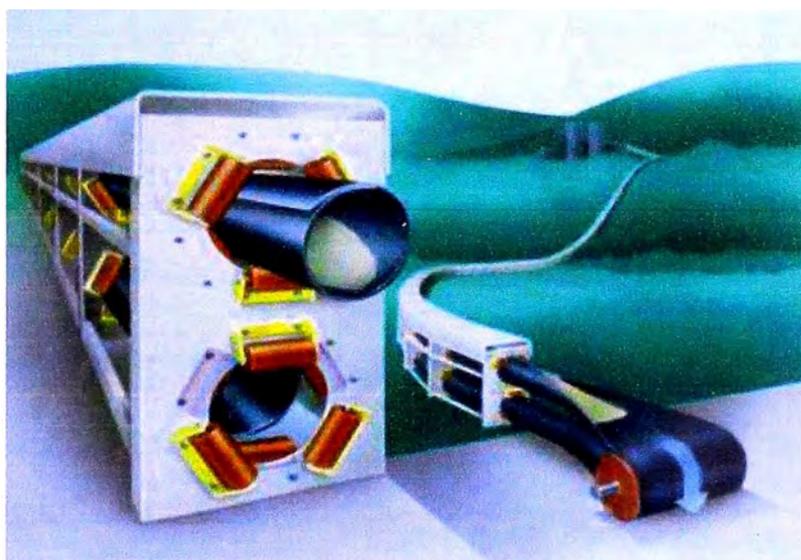


Fig. 4.19.- Sección transversal de la faja tubular.

Tal como lo describimos en el capítulo 1 ítem 1.6 una de las limitaciones que existen para realizar los cálculos durante el diseño de una faja tubular implica en conseguir toda la información relacionada con el funcionamiento de la misma. Por lo que se hace necesario partir considerando que existen algunos factores desconocidos hasta que se empieza a desarrollar el trabajo. Sin embargo se debe

enfocar los cálculos en información que es crucial para poder realizar un cálculo adecuado para la faja tubular. ¿Pero qué información es crucial? El estudio y la experiencia de las empresas especialistas en el tema consideran la información básica necesaria para el correcto desarrollo del cálculo en las siguientes tres categorías:

- a).-Datos básicos de la ruta de transporte.
- b).-Datos del material Transportado.
- c).-Condiciones climatológicas y ambientales.

De las cuales detallaremos a lo largo del desarrollo del cálculo y diseño en el capítulo 5 del presente informe.

4.3.2.2.-Procedimiento de cálculo para seleccionar la faja transportadora.

Calculo del diámetro de la faja tubular.

Para el cálculo del diámetro se debe tomar en cuenta el flujo máximo requerido por el cliente para la faja tubular, esto está en función a las características del sistema de embarque que funcionara, es decir la demanda de concentrado de mineral y la velocidad requerida de carga para los barcos. Además es importante tener en cuenta las características del material a trasportar en sus condiciones más críticas, en este caso la densidad mínima del concentrado de mineral transportado

permitirá calcular el mínimo diámetro requerido tal que el transporte funcione de manera adecuada según lo requerido por el cliente.

Se sabe:

$$\varphi_{min} = \frac{\dot{m}_{max}}{\dot{V}}, \quad \dot{V} = A \cdot v_f \quad \text{y} \quad A = \frac{\pi}{4} \cdot \Phi^2 \cdot \varepsilon$$

Siendo

φ_{min} = densidad minima de material

\dot{m}_{max} = flujo masico maximo

\dot{V} = fujo volumetrico

A = seccion transversal de faja tubular

v_f = velocidad de diseño de faja

Φ = Diametro de faja tubular

ε = % de llenado de faja

Despejando se obtiene:

$$\Phi = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_{max}}{\pi \cdot \varepsilon \cdot \varphi_{min} v_f}}$$

Calculando la longitud de circunferencia de la faja tubular

$$L_{circ} = \frac{\pi \Phi^2}{4}$$

Calculo del ancho requerido para la faja.-

Para la selección del ancho de la faja se deberá tomar en cuenta que este debe ser superior que el definido por la longitud de circunferencia del tubo obtenido con el cálculo del diámetro.

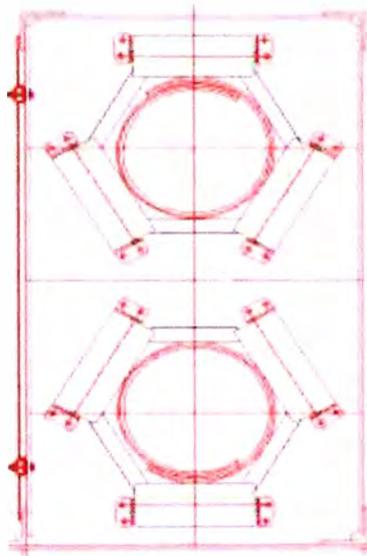


Fig. 4.20.- Sección transversal de la faja tubular.

Es decir: $L_{circ} < b$ (Ancho de faja)

Para ello se toma en cuenta la siguiente tabla brindada por la empresa Phoenix especialistas en diseños de transporte a través de fajas:

Tabla 4.5.-Selección de banda en función a diámetro de tubería

| Diámetro de la tubería (mm) | De ancho de banda (mm) | Resistencia a la rotura (n/mm) | capa de tela | Espesor de la cubierta de goma (mm) | Espesor de la banda (mm) |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 100 | 430 | 250 | 1 | 3.0& veces; 1.5 | 5.2 |
| 150 | 600 | 160 | 2 | 3.0& veces; 2.0 | 7.5 |
| | | 315 | | | |
| 200 | 750 | 315 | 2 | 3.0& veces; 2.0 | 7.9 |
| | | 500 | | | |
| | | 315 | | | |
| | | 500 | | | |
| 250 | 1000 | 400 | 2 | 3.0& veces; 2.0 | 8.6 |
| | | 500 | | | |
| | | 400 | | | |
| | | 500 | | | |
| 300 | 1100 | 400 | 2 | 3.0& veces; 2.0 | 9.1 |
| | | 500 | | | |
| | | 500 | | | |
| | | 630 | | | |
| 350 | 1300 | 630 | 3 | 5.0& veces; 2.0 | 11.9 |
| | | 800 | 4 | | 12.5 |
| 400 | 1600 | 800 | 4 | 5.0& veces; 2.0 | 13.1 |
| | | 1000 | 5 | | 13.9 |

De donde también se puede obtener las mínimas características exigidas para la faja Ancho=1600mm, como: Numero de capas, resistencia a rotura y espesor de banda

Calculo de la resistencia a la rotura requerida.-

Se calcula la resistencia a la rotura de la faja con la siguiente fórmula:

$$R_{rot} = \frac{SxT}{b}$$

Siendo:

$$R_{rot} = \text{Resistencia a la rotura}$$

$S = \text{factor de seguridad}$

$T = \text{tension maxima calculada para la faja}$

$b = \text{ancho de la banda.}$

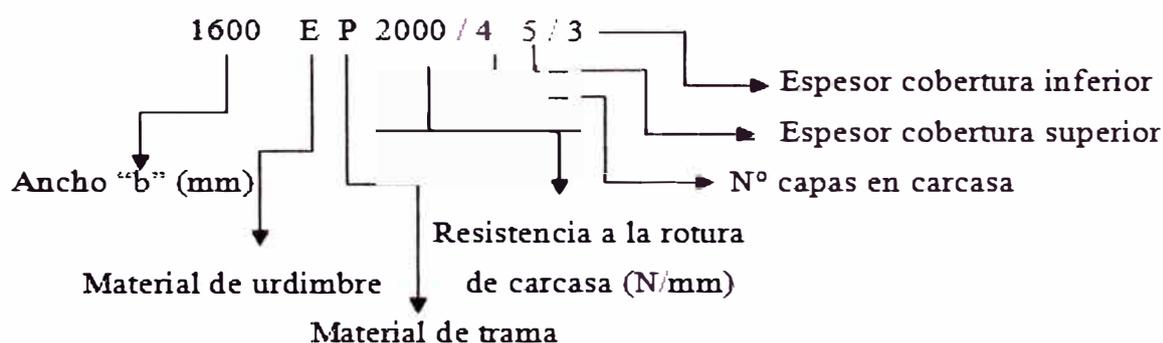
El factor de seguridad se considera según la norma DIN 22101 a través de la siguiente tabla:

Tabla 4.6.-Coeficientes de seguridad para las bandas

| Coeficientes de Seguridad para Bandas de Carcasa textil (norma DIN 22101) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| Número de Capas (z) | de 3 a 5 | de 6 a 9 | más de 9 |
| Coeficiente Seguridad (S) | 11 | 12 | 13 |

Denominación de fajas transportadoras

Las características de una faja tubular se pueden conocer mediante el código del modelo de la siguiente manera:



Donde:

- E y P según tabla 4.1 descrita en el ITEM 4.2.1.3.

-La resistencia a la rotura se mide en Newton por milímetros de ancho de la faja

4.3.2.3.-Procedimiento de cálculo de la potencia requerida en la faja tubular.

Las formulas, valores y recomendaciones que permiten un cálculo adecuado para la potencia de una faja tubular han sido desarrolladas según la experiencia y estudio de diferentes empresas dedicadas al rubro de transporte de a través de fajas. Para el desarrollo de los cálculos en este informe nos basaremos en el estudio propuesto por nuestro proveedor de la faja “PHOENIX” siendo esta una marca líder en el mercado mundial con más de 100 años de experiencia en el rubro.

PHOENIX ofrece un estudio del cálculo y diseño de sistemas transportadores a través de fajas tomando en cuenta los principios referentes a potencia, tensión y resistencia de la correa, además de la distribución de la capacidad de tracción sobre el ancho de esta. Los principios de cálculo se basan principalmente en la norma DIN 22101, y son aplicados a los diferentes sectores a lo largo de la faja tubular los cuales son diferenciados por el tipo de trayectoria (recta o curva y ascendente o descendente).

$$P_w = F_w \cdot v_f$$

$$P_m = \frac{P_w}{\eta_m}$$

Siendo:

P_w = Potencia total requerida en la polea motriz

F_w = resistencia al movimiento de la faja

v_f = velocidad de diseño de faja

$P_m = \text{Potencia del motor}$

$\eta_m = \text{Eficiencia en la transmision motor – polea}$

Calculo de la resistencia al movimiento de la faja tubular.

Con la faja avanzando en un estado de funcionamiento continuo, las resistencias al movimiento surgen de fuerzas de masa, peso y fricción.

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta] \dots\dots\dots \text{Para trayectorias rectas}$$

$$F_h = f_c \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta] \dots\dots\dots \text{Para trayectorias curvas}$$

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen}\delta$$

Siendo:

$F_h = \text{resistencias primarias de la trayectoria de la faja}$

$F_n = \text{resistencias secundarias totales}$

$F_{st} = \text{resistencia a la gradiente del material transportado}$

$f_w = \text{Coef. de friccion ficticia de faja para marcha sobre rodillos}$

$f_c = \text{Coef. friccion ficticia de faja para marcha sobre rodillos (curva)}$

$g = \text{aceleración de la gravedad}$

$m_r = \text{masa de partes giratorias de rodillos y tambores}$

$m_f = \text{masa de la faja trasportadora (superior y retorno)}$

$m_m = \text{masa de material transportado}$

$\delta = \text{angulo de inclinacion o gradiente}$

$C = \text{coeficiente de fuerza secundaria}$

Es importante tomar en cuenta que el parámetro coeficiente de fricción f (f_w, f_c) tiene un gran significado para el dimensionamiento del sistema, en caso de sistemas transportadores de muy poca inclinación y de gran longitud. En Sistemas transportadores cuya inclinación es pronunciada el factor F_{st} es aporta también significativamente en el dimensionamiento del sistema.

La norma DIN 22101 permite obtener el coeficiente C en función de la longitud de la faja transportadora a través de la siguiente tabla:

Tabla 4.7.-Coeficiente para calculo de fuerzas secundarias

| | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Longitud del transportador L en mt | 80 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| Coeficiente C | 1.92 | 1.78 | 1.58 | 1.45 | 1.31 | 1.25 | 1.20 |
| Longitud del transportador L en mt | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1500 | ≥ 2000 |
| Coeficiente C | 1.17 | 1.14 | 1.12 | 1.10 | 1.09 | 1.06 | 1.05 |

4.3.2.4.-Procedimiento de cálculo y selección de componentes del sistema de transporte.

Conociendo la potencia instalada en la faja y habiendo seleccionado ya la faja es necesario definir el resto de componentes que cumplen una función principal en el transporte de materiales a través de la faja y que por lo tanto sin ellos sería imposible

llevar a cabo el mismo. Entre ellos podremos indicar: Selección de rodillos, separación entre estaciones, tambores y sistema tensor.

a).-Selección de rodillos (polines)

La Norma DIN 22101 ofrece la siguiente tabla como guía para la selección de rodillos en función al ancho de la faja seleccionada.

Tabla 4.8.- Selección de rodillos para las estaciones de recorrido

| Ancho B de Correa en mm | Diámetro d_R de polín exterior en mm | | | | | |
|-------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | 63.5 | 89 | 108 | 133 | 159 | 194 |
| 400 | 5.0 / 4.2 / 3.2 | 7.5 / 6.4 / 5.2 | | | | |
| 500 | 5.6 / 4.6 / 3.6 | 8.4 / 7.4 / 6.0 | | | | |
| 650 | 6.3 / 5.2 / 4.4 | 9.6 / 8.5 / 7.2 | 12.2 / 10.7 / 8.9 | | | |
| 800 | | 11.1 / 9.8 / 8.8 | 14.1 / 12.3 / 10.9 | | | |
| 1000 | | 12.6 / 12.0 / 10.4 | 16.0 / 15.0 / 12.8 | 24.6 / 21.6 / 17.4 | | |
| 1200 | | | 18.6 / 16.9 / 15.3 | 27.6 / 24.0 / 20.4 | 34.5 / 30.0 / 25.1 | |
| 1400 | | | 20.4 / 18.8 / 17.2 | 30.0 / 26.4 / 22.8 | 37.5 / 32.8 / 28.0 | |
| 1600 | | | | 32.4 / 28.8 / 25.3 | 40.5 / 38.6 / 30.9 | |
| 1800 | | | | | 46.2 / 40.4 / 34.6 | 79.1 / 71.9 / 62.4 |
| 2000 | | | | | 49.5 / 43.2 / 37.5 | 86.7 / 78.8 / 67.4 |
| 2200 | | | | | 51.9 / 47.6 / 41.9 | 92.4 / 84.0 / 74.9 |
| 2400 | | | | | | 97.9 / 89.0 / 80.4 |
| 2600 | | | | | | 103.4 / 94.1 / 85.9 |
| 2800 | | | | | | 108.9 / 98.9 / 91.4 |
| 3000 | | | | | | 114.4 / 103.9 / 96.9 |
| 3200 | | | | | | 120.0 / 109.1 / 102.4 |

b).-Definición de separación entre estaciones.

Para el cálculo de la separación que deben tener los rodillos se debe tomar en cuenta la tensión máxima a que se somete la faja, el peso de material transportado que

soporta la faja entre dos estaciones de rodillos y la flecha máxima deseada para el sistema de transporte:



Fig. 4.21.-Distancia máxima entre estaciones

La separación adecuada para las estaciones de rodillos se puede determinar por la formula:

$$l_0 = \sqrt{\frac{y_b \cdot 800 \cdot T}{(m'_m + m'_f) \cdot g}}$$

Donde:

$l_0 =$ distancia entre rodillos

$y_b =$ flecha de la faja

$T =$ tensión de banda

$m'_m =$ masa e material por unidad de longitud

$m'_f =$ masa de faja por metro d longitud

$g =$ gravedad

La flecha de la faja depende de las exigencias del diseñador, debe ser pequeña tal que la trayectoria de la faja se considere casi horizontal.

Se recomienda: (Según la experiencia del fabricante de la faja)

$l_0 \text{ maximo} \leq 2 \cdot b$ Siendo b el ancho de la faja

$l_u \approx \text{entre 2 y 3 veces } l_0 \text{ maximo.}$

Siendo " $l_u = \text{distancia entre rodillos en zona de retorno}$ " para lo cual se aplica la misma fórmula considerando diferentes los valores de tensión en la faja.

c).-Selección de los tambores o poleas.

El diametro minimo de la poleas que forman parte del sistema de transporte a traves de fajas se puede determinar aproximadamente de acuerdo ala norma DIN 22101, para esto es de principal importancia tomar en cuenta el componente tensor de la faja (tejido o carcasa) y el factor de carga de la polea.

Es importante tambien distinguir los siguientes grupos de poleas:

Grupo A: Poleas motrices y otras poleas en el rango de tension alta de la faja.

Grupo B: Poleas ubicadas en el rango de tensiones bajas de la faja.

Grupo C: Poleas deflectoras (cambio de direccion del movimiento, contacto $\leq 30^\circ$)

Para determinar el componente tensor de la faja se debe haber ya definido las características de la faja que se va a emplear y haberse seleccionado la misma, con la

hoja de datos de la faja podremos determinar el espesor de tejido o carcasa y el tipo de material del mismo. El espesor de la carcasa se puede determinar restando el espesor del recubrimiento del espesor total de la faja.

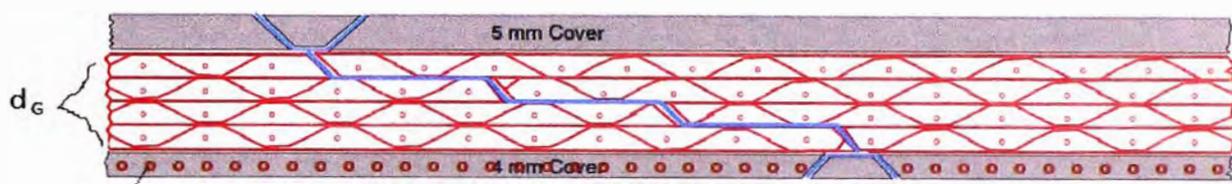


Fig. 4.22.-Vista de carcasa y recubrimiento de la faja.

La norma DIN 22101 permite calcular el valor del componente tensor a través de la fórmula

$$D_{Tr} = d_{Gk} \cdot C_{Tr}$$

Donde:

D_{Tr} = *componte tensor*

d_{Gk} = *espesor de carcasa*

C_{Tr} = *coeficiente de material de carcasa*

El coeficiente de material de la carcasa es definido según la norma DIN 22101 a través de la siguiente tabla:

Tabla 4.9.- Coeficiente de material de la carcasa

| Material del componente tensor | Coficiente C_{Tr} |
|--------------------------------|---------------------|
| B (algodón) | 80 |
| E (poliéster) | 108 |
| P (poliamida) | 90 |
| St (cable de acero) | 145 |

El factor de carga de la polea es definido por la norma DIN22101 en función al porcentaje de carga que soporta la faja en comparación a la carga total teórica que puede soportar, se define como:

$$\text{Factor de carga} = \frac{T_{max}}{T_{Nominal}} \cdot 8.100 \%$$

$$T_{Nominal} \quad (\text{resistencia a la rotura de carcasa}) \times (\text{ancho de faja})$$

Donde:

$$T_{max} = \text{Tension maxima en la faja}$$

$$T_{Nominal} = \text{Tension maxima de rotura de faja}$$

Con los valores del componente tensor y el factor de carga podremos recurrir a la siguiente tabla para poder definir los diámetros requeridos las el sistema de transporte según la siguiente tabla:

Tabla 4.10.-Diámetro mínimo de las poleas del sistema de transporte

| $D_T = c_{Tr} \cdot d_{Cl}$ | Diámetro mínimo de polea en mm (sin carga) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|------|------|---------------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|---------------------------|------|------|
| | Factor de carga de la polea $\frac{k_{max}}{k_N} \cdot 8 \cdot 100$ en % | | | | | | | | | | | |
| | ≥ 100 % grupo de poleas | | | 60 % a 100 % grupo de poleas | | | 30 % a 60 % grupo de poleas | | | ≤ 30 % grupo de poleas | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 100 | 125 | 100 | 100 | | | | | | | | | |
| 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 100 | | 100 | | | | | |
| 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 100 | | 100 | 100 | |
| 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 125 | 100 |
| 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 160 | 125 |
| 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 200 | 160 |
| 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 250 | 200 |
| 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 315 | 250 |
| 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 400 | 315 |
| 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 500 | 400 |
| 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 630 | 500 |
| 1250 | 1400 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 800 | 630 |
| 1400 | 1600 | 1400 | 1000 | 1400 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 1000 | 800 |
| 1600 | 1800 | 1600 | 1250 | 1600 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 1000 | 800 |
| 1800 | 2000 | 1800 | 1250 | 1800 | 1400 | 1250 | 1600 | 1250 | 1000 | 1250 | 1250 | 1000 |

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CONCENTRADO DE MINERALES.

5.1.- Diseño de un sistema de recepción de concentrado de minerales desde los almacenes.

5.1.1.-Diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

5.1.1.1.-Consideraciones para el diseño de la faja de recepción “faja alimentadora” de concentrado de minerales.

Siempre como punto de partida para emprender cualquier proyecto se debe tener en cuenta las condiciones de la zona donde se desarrolla, para el desarrollo del proyecto “Terminal de Embarque y Faja Transportador a Tubular para Concentrados de Minerales en el Puerto del Callao” se tomaron en cuenta las diferentes condiciones meteorológicas y geológicas que aplican a la zona, dicha información otorgada por el SENAMHI fue brindada por el cliente.

Condiciones meteorológicas:

| | | |
|------------------------|-------------------|-------|
| Temperatura ambiental: | -Mínimo | 13° C |
| | -Máximo | 30° C |
| Humedad relativa: | - Entre 71% y 97% | |

| | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Velocidades de viento para el diseño: | - En operación: 22 m/s. |
| | - Máximo: 42 m/s. |
| Datos de precipitación: | - Media anual 21.57mm |
| | - Desviación estándar 12.76mm |
| Presión barométrica: | - Media 1013mbar |
| Ambiente: | - Polvoriento y corrosivo |

Condiciones geológicas:

| | |
|------------|--|
| Altitud: | 0-7 m aproximadamente sobre el nivel del mar |
| Terremoto: | IBC (International Building Code), equivalente al UBC, zona 4. |
| | NTE (E.030), Norma de Diseño Sismoresistente Peruana, |
| | zona 3(Z=0.4g) |

Condiciones de operación: 24 horas / día, 7 días / semana y 365 días/ con 95% de disponibilidad.

Tipo de trabajo: Continuo y con carga muy pesada.

Características del material a transportar: Las características específicas de cada uno de los concentrados de minerales se muestran en el ítem 2.3.

Datos básicos de la ruta de transporte:

La ruta de transporte debe ser definida según las características del proyecto, esto es principalmente definido por el cliente y se basa en las condiciones del área donde se realizará la construcción del sistema de recepción de concentrado de minerales. Para este caso en particular en el que se ha desarrollado el proyecto al cual hemos hecho referencia para el desarrollo de este informe, el área de concesión definida para la construcción del sistema de recepción se encuentra entre los almacenes de Impala, Perú Bar y Ferrovías Central andino. Ha sido un requerimiento inicial del cliente que la altura de la faja que recepciona los concentrados de material desde los almacenes y que posteriormente alimenta la faja tubular debe ser a aproximadamente 11 metros respecto del suelo, de esta manera se facilita la descarga de concentrado hacia la faja tubular la cual deberá mantener una altura promedio de 6 m sobre el suelo, lo que resulta adecuado para recorrer su trayectoria sobre los almacenes de minerales de IMPALA, almacenes de combustible de Vopak y Base naval antes de llegar al muelle. Todo ello respetando lo requerido por estas instituciones tal que no perturbe las normales labores de las mismas.

La faja que alimenta a la faja tubular debe ser diseñada lo más sencillo posible, extendida, recta, corta en longitud y sin gradientes. Por lo que su trayectoria no debe complicar los cálculos y por lo tanto se facilita el diseño de este sistema. La ruta de transporte de la faja de recepción de concentrado de minerales y que alimenta

a la faja tubular se presenta en el anexo 2 del presente informe y ha sido elaborada previo a los cálculos con los datos de recorrido y los requerimientos del cliente.

5.1.1.2.-Cálculo de la potencia de transporte y tensiones en la faja.

La faja de recepción es una faja cuya función es alimentar a la faja tubular, es importante conocer el diseño requerido por el cliente según las características del sistema de transporte.

El anexo 2 muestra un esquema de la faja de recepción obtenida del diseño definido por la ubicación de las estructuras de los edificios de “recepción de concentrados” y de “traspaso de concentrados hacia la faja tubular”. Podemos observar que el diseño de la faja de recepción de concentrado es muy sencillo al referirse a una trayectoria lineal recta y sin pendientes, además de corta longitud y con la posibilidad de tener un mayor área transversal para el transporte de material y por ende no necesita mayor velocidad de transporte.

Para el cálculo de la potencia de la faja emplearemos las formulas indicadas en el ítem 4.3.1.3

$$P_w = F_w \cdot v_f$$

$$P_m = \frac{P_w}{\eta_m}$$

Calculo de la resistencia al movimiento de la faja de recepción

Con la faja avanzando en un estado de funcionamiento continuo, las resistencias al movimiento surgen de fuerzas de masa, peso y fricción.

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \sin\delta$$

Recorrido llano y recto – Longitud: 43.5m

Calculo de las masas de los rodillos.

$$m_r = \#rod. ida \cdot m_{rod. ida} + \#rod. ret. m_{rod. ret}$$

Donde:

#rod = numero de rodillos en las estaciones de "ida" o "retorno"

m_{rodillo} = masa de un rodillo

Además en el anexo 2 se puede apreciar el arreglo final donde se puede diferenciar que durante el trayecto de ida existen diferentes tipos de rodillos:

Tabla 5.1.-Lista de rodillos en las estaciones de la faja de recepción.

| Descripción | cantidad | dimensiones | peso unit. (Kg) | descripción |
|----------------------|----------|---------------------------|-----------------|--|
| Rodillos de impacto | 78 | Diam=133mm Long=530mm | 13.4 | Ubicados en la parte inicial de la faja de recepcion, soportan el impacto del material al caer de los chutes de las fajas de los almacenes durante la descarga. |
| Rodillo de faja | 96 | Diam=133mm Long=530mm | 13.2 | Ubicados a lo largo de la faja de recepcion en la zona superior, soportan el peso del material durante su transporte desde la torre de Recepción hacia la torre de descarga a la faja tubular. |
| Rodillo no magnético | 12 | Diam=133mm Long=530mm | 13.1 | Son rodillos de acero inoxidable no magnético, especiales para permitir el correcto transporte de material a través de la faja de recepcion en la zona del separador de metales. |
| Rodillos de retorno | 14 | Diam=133mm Long=1600mm | 39 | Están ubicados en la zona inferior de la faja de recepcion, no soportan peso del material. Su función es guiar la faja durante el retorno hacia la zona de carga después de descargar el material. |

$$m_r = 78 \times 13.4 + 96 \times 13.2 + 12 \times 13.1 + 14 \times 39$$

$$m_r = 3015.6 \text{ kg}$$

Cálculo de la masa de material en una determinada longitud "L" de la faja
emplearemos la siguiente fórmula:

Se sabe:

$$m_m = \frac{\dot{m} \times L}{v_f}$$

Siendo:

Flujo másico requerido $\dot{m} = 2300 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$

Velocidad de faja $v_f = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Longitud de faja $L = 53.5\text{m}$

$$m_m = \frac{2300 \text{ Ton/h} \times 53.5 \text{ m}}{2 \text{ m/s}}$$

$$m_m = 17090 \text{ (kg)}$$

La masa de la faja para una longitud L de la trayectoria es definida según las características técnicas de la misma. Esto se conoce después de seleccionarla según el ítem 5.1.1.3

$$m_f = 2x \varphi_f \cdot L$$

φ_f = masa de faja por metro de longitud

Luego:

$$m_f = 2x24.15x43.5$$

$$m_f = 2101 \text{ (kg)}$$

Siendo además: $\delta = 0^\circ$

Se puede calcular entonces:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.033$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$F_h = 0.033 \times 9.81 \times [3015.6 + (2101 + 17090) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 7.188 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$C \approx 2$ Según la tabla 4.3 del ítem 4.3.1.3.

$$F_n = (2 - 1) \times 7.188$$

$$F_n = 7.188 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 7.188 + 7.188 + 0$$

$$F_w = 14.377 \text{ KN}$$

Calculo de la potencia mínima necesaria en el motor para vencer la resistencia al movimiento

$$P_w = F_w \cdot v_f$$

$$P_w = 14.377 \text{ KN} \times 2.0 \text{ m/s}$$

$$P_w = 28.75 \text{ Kw}$$

Siendo la eficiencia mecánica de transmisión entre todos los elementos entre el motor y polea

$$\eta_m = 0.85, \longrightarrow P_m = \frac{1260}{0.85}$$

$$P_m = 33.8 \text{ Kw}$$

Luego: la potencia mecánica instalada será un valor de motor comercial superior:

$$P_m = 34.5 \text{ Kw}$$

Calculo de las tensiones en la faja de recepción

Acorde a lo indicado en el ítem 4.3.1.3 podremos calcular las tensiones en la faja de recepción:

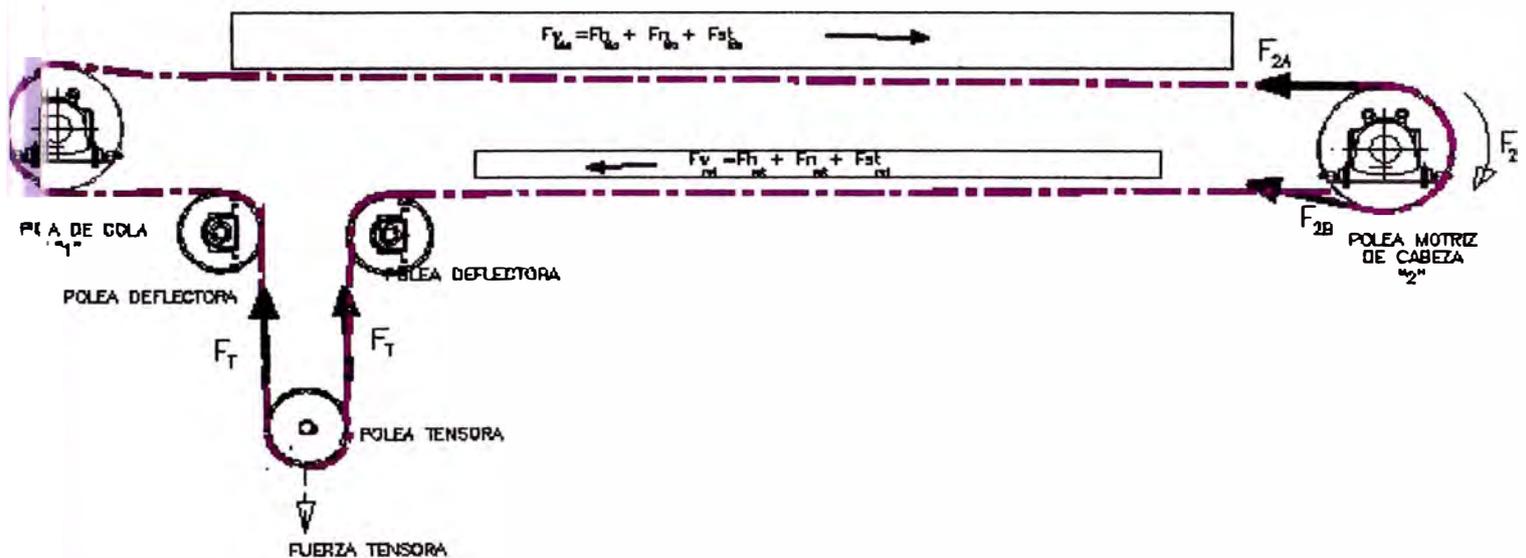


Fig. 5.1.- Esquema de tensiones en faja de recepción de concentrado.

$$F_{2A} - F_T = F_{w\,ida}$$

$$F_T - F_{2B} = F_{w\,ret}$$

Por lo tanto:

$$F_{2A} - F_{2B} = F_{w\,ida} + F_{w\,ret}$$

Donde se sabe que:

$$F_{w\,ida} + F_{w\,ret} = F_w = 14.377\text{ KN}$$

$$F_{2A} - F_{2B} = 14.377\text{ KN}$$

$$F_2 = 14.377\text{ KN}$$

$$F_{2A} = \frac{e^{u\alpha}}{e^{u\alpha} - 1} \cdot F_2$$

$$F_{2B} = \frac{1}{e^{u\alpha} - 1} \cdot F_2$$

De la tabla 4.4 se obtiene $u = 0.35$

| TIPO DE TENSOR | | | |
|----------------|------------------|---------------|------------------|
| A tornillo | | A contrapeso | |
| Tambor normal | Tambor revestido | Tambor normal | Tambor revestido |
| 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 |

Y del arreglo mecánico según diseño se sabe:

$$\alpha = 210^\circ = 3.66 \text{ rad}$$

Calculando: $F_{2A} = \frac{e^{0.35 \times 3.66}}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \cdot 14.377 = 1.384 \times 14.377 = 19.906 \text{ KN}$

$$F_{2B} = \frac{1}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \cdot 14.377 = 0.384 \times 14.377 = 5.52 \text{ KN}$$

Calculo Fuerza tensora

$$F_T - F_{2B} = F_{w \text{ ret}}$$

Conociendo F_{2B} se debe calcular $F_{w \text{ ret}}$

$$F_{w \text{ ret}} = F_{h \text{ ret}} + F_{n \text{ ret}}$$

$$F_{w \text{ ret}} = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos \delta + (C - 1) \cdot F_{h \text{ ret}}$$

$$m_r = 14 \times 39 = 546 \text{ Kg} \text{ (Obtenido de tabla 5.1 para rodillos de retorno)}$$

$$m_f = 24.15 \times 43.5 = 1050.5 \text{ Kg} \text{ (Solo peso de faja de retorno)}$$

$$m_m = 0 \text{ (No hay material en el retorno)}$$

$C \approx 2$ Según la tabla 4.3 del ítem 4.3.1.3.

$$F_{w \text{ ret}} = 0.033 \times 9.81 [546 + (1050 + 0) \cdot \cos 0^\circ + (2 - 1) \cdot F_{h \text{ ret}}$$

$$F_{w \text{ ret}} = 0.516 \text{ KN}$$

$$F_T = 5.52 + 0.516 = 6 \text{ KN}$$

$$F_{\text{tensora minima}} > 2 \times 6 \text{ KN} = 12 \text{ KN}$$

5.1.1.3.-Diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

Para el diseño del sistema de transporte se empleará un arreglo de tres rodillos inclinados tal como lo muestra la figura 4.12 del ítem 4.3.1.1 la cual es lo más recomendable para materiales de granulometría pequeña como lo son los concentrados de minerales.

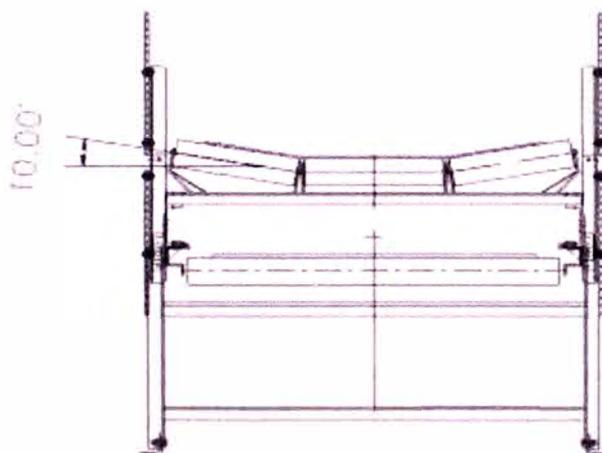


Fig. 5.2.- Arreglo de la faja de recepción de concentrado

Calculo del ancho requerido para la faja.-

Se sabe:

$$\varphi_{min} = \frac{\dot{m}_{max}}{\dot{V}}, \quad \dot{V} = A \cdot v_f$$

Siendo

φ_{min} = densidad minima de material

\dot{m}_{max} = flujo masico maximo

\dot{V} = flujo volumetrico

A = seccion transversal de faja tubular

v_f = velocidad de diseño de faja

Calculo del area transversal (caso más critico con cobre)

Para un ángulo de reposo mínimo según la tabla indicada en el ítem 2.3 se obtiene el máximo ancho requerido para la faja considerando el transporte de cobre.

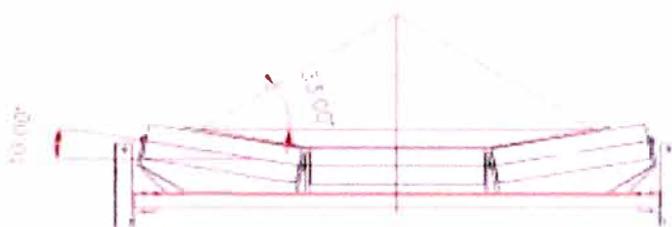


Fig. 5.3.- Concentrado de cobre en la faja de recepcion

Donde:

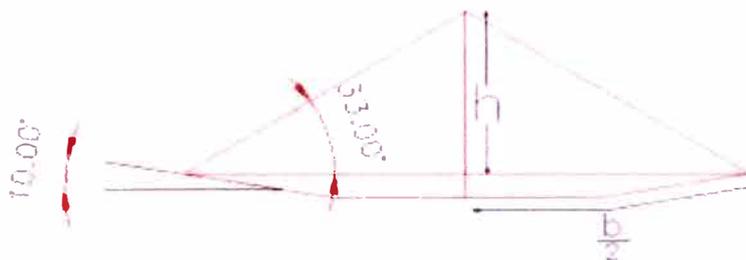


Fig. 5.4.- Área de la sección transversal.

Para efectos de cálculo podremos considerar que el ancho útil “b” se dividirá en 4 sectores idénticos, para lo cual podemos deducir el área total de la sección transversal como:

$$A = \frac{b^2}{16} \cdot \left[\frac{(1 + \cos 10)}{2} \cdot \text{tang} 10 + \text{sen} 10 \cdot \left(1 + \frac{\cos 10}{2} \right) \right]$$

$$A = b^2 \times 0.056476$$

Remplazando en las formulas mostradas arriba se obtiene:

$$\dot{m}_{max} = \varphi_{min} \cdot A \cdot v_f$$

$$\dot{m}_{max} = \varphi_{min} \times 0.056476 b \times v_f$$

Siendo

$$\varphi_{min} = 1.94 \text{ Ton}/m^3 \text{ (aplicado para el cobre según item 5.1.1.1)}$$

$$\dot{m}_{max} = 2500 \text{ Ton}/h$$

$$v_f = 2.0 \text{ m}/s$$

Se obtiene

$$b = 1.258 \text{ m}$$

Según lo indicado en el ítem 4.3.1.1 para obtener el ancho de la banda “B”

$$b = 0.9B + 0.05$$

$$B = 1.343 \text{ m}$$

Se selecciona el número mayor aproximado:

| |
|-----------------------|
| $B = 1400 \text{ mm}$ |
|-----------------------|

Calculo de la resistencia a la rotura requerida.-

$$R_{rot} = \frac{SxT}{b}$$

Donde el factor de seguridad es 11 de acuerdo a la tabla 4.6:

| Coeficientes de Seguridad para Bandas de Carcasa textil (norma DIN 22101) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| Número de Capas (z) | de 3 a 5 | de 6 a 9 | más de 9 |
| Coeficiente Seguridad (S) | 11 | 12 | 13 |

La tensión máxima ha sido calculada =14.37 KN

El ancho de la faja ya es conocido b=1400mm

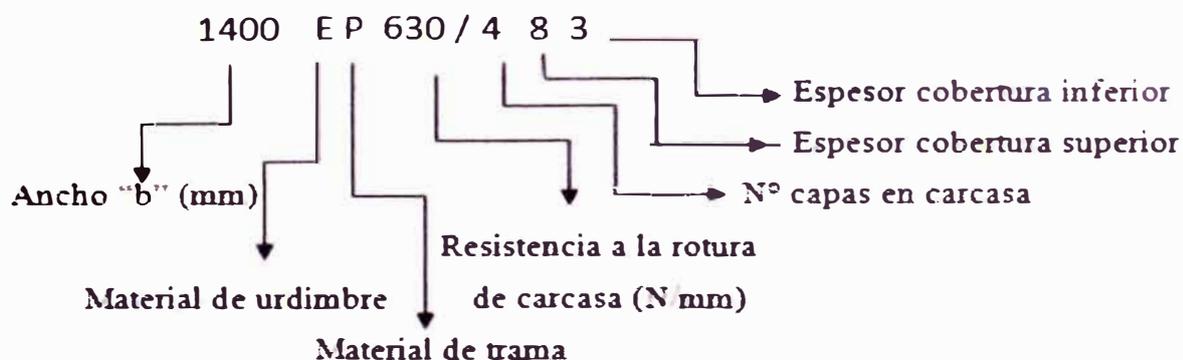
Numero de capas elegido z=4

Luego

$$R_{rot} = \frac{11 \times 14.37 \text{ KN}}{1400} = 112.9 \text{ N/mm}$$

Por lo que se seleccionará una faja adecuada con valor superior para resistencia a la rotura a 112.9N/mm

Teniendo definido los parámetros importantes para poder seleccionar la faja adecuada para el sistema de transporte podemos seleccionar la siguiente faja:



Los datos de la faja seleccionada se podrán observar en el anexo 7.

5.1.1.4.-Esquema del diseño de la faja de recepción de concentrado de minerales.

El esquema del diseño final del sistema de recepción de concentrado de minerales se muestra en el anexo 2, en el se puede observar la torre y faja de recepción así como la torre de traspaso de concentrado hacia la faja tubular. Además también se puede observar el arreglo de ubicación de los equipos separación de metales, detección de metales y la balanza de control de flujo másico de concentrado.

5.1.2.-Sistema de separación y detección de metales.

5.1.2.1.-Sistema de separación de metales.

Todo sistema de transporte de concentrado de minerales debe ser pulcro en no transportar partículas metálicas que puedan generar daños en la faja tubular durante la caída de transferencia desde la faja de recepción y durante el proceso de cerramiento de la faja hasta adquirir la forma de tubo. Además de lo mencionado es importante para la exportación de concentrado que la mezcla sea pura y sin partículas extrañas que reduzcan la calidad total del producto. El separador de metales es un equipo magnético diseñado para la recuperación del material magnético del concentrado de minerales transportado. El equipo seleccionado para el proyecto es proporcionado por la empresa alemana IFE experto en el tema de separación magnética la que recomendó el modelo M30157P01.

5.1.2.2.-Sistema de detección de metales

Ante la posible presencia de un metal no magnético, adicionalmente se debe instalar un detector de metales, este es un equipo diseñado para detectar piezas metálicas no-magnéticas después de pasar por el separador de metales. Si una pieza de metal es detectada, el detector suelta una pieza de plástico de fácil visibilidad tal que permita ubicar rápidamente la zona donde estará el metal detectado, además se acciona una alarma y el sistema de transporte se detiene inmediatamente.

5.1.2.3.-Esquema del diseño del sistema de separación y detección de metales.

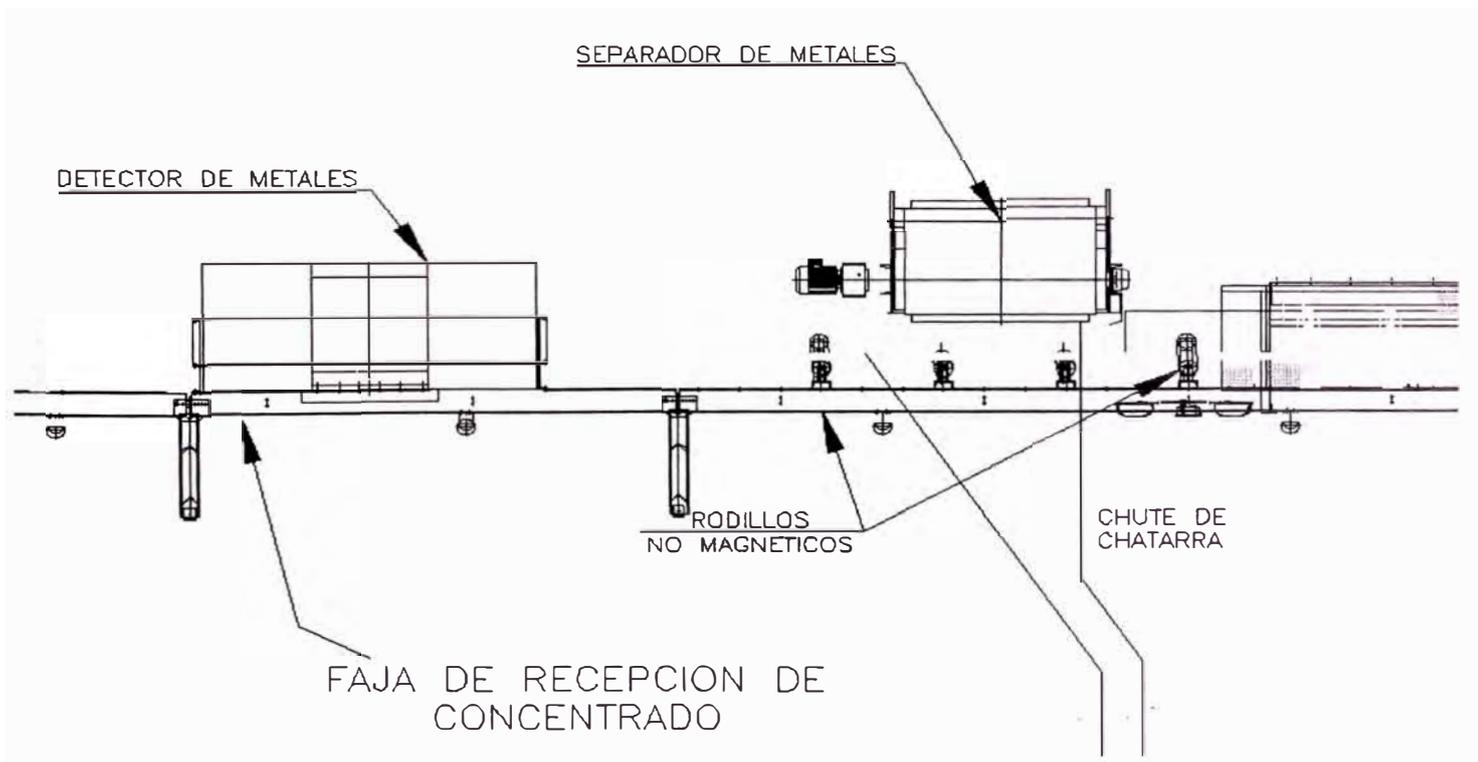


Fig. 5.5.- Arreglo de separador y detector de metales en la faja

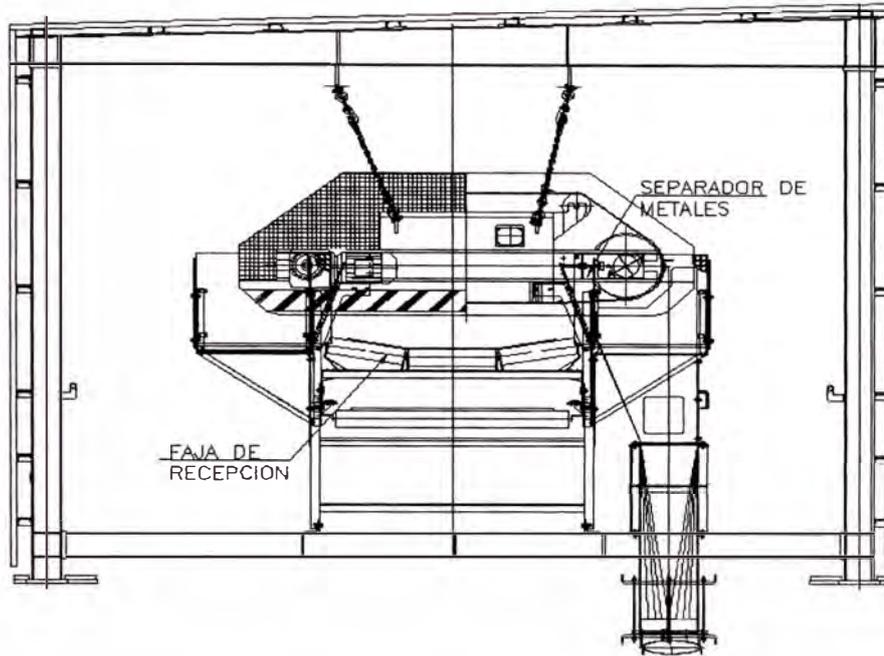


Fig. 5.6.- Arreglo de separador de metales – vista trasversal a la faja

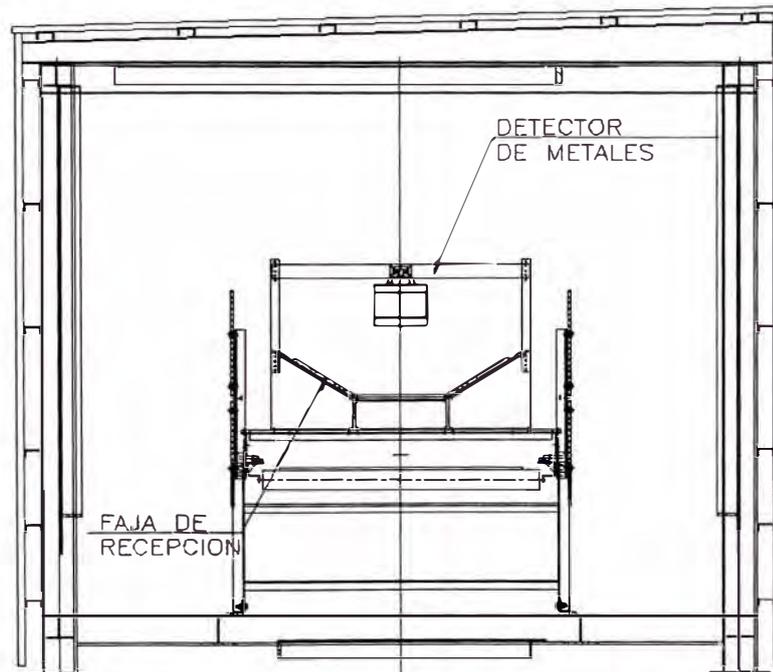


Fig. 5.7.- Arreglo de detector de metales – vista trasversal a la faja

5.1.3.-Diseño de un sistema de medición de flujo másico.

5.1.3.1.-Consideraciones para la selección de una balanza para la medición del flujo másico.

La medición del flujo másico se convierte quizá en el factor más importante en el transporte de concentrado durante su funcionamiento continuo del sistema y durante el negocio de exportación de concentrado de minerales. Es importante entonces seleccionar un equipo de medición de flujo o balanza para faja transportadora cuya precisión sea lo más exacta posible. Es entonces importante considerar que desviaciones en la medida concentrado generarían pérdidas económicas considerables a lo largo de los años.

Además del arreglo final de la faja de recepción de concentrado, se debe considerar para la selección del equipo lo siguiente:

Tabla 5.2.-Datos para seleccionar la balanza de faja transportadora.

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Material | Concentrados Cu,Pb, Zn |
| Ancho de Faja | 1400 mm |
| Capacidad máxima (picos) | 2500 Ton / hora |
| Velocidad | 2.0 m/s |
| Diámetro. polea cola | 610 mm |
| Distancia de polines | 1000 mm |
| Angulo de Inclinación de faja | 0° |

5.1.3.2.-Selección de una balanza para el sistema de medición de flujo másico.

En función a lo indicado en el ítem 5.1.3.1 se ha considerado el siguiente equipo “BALANZA” para la medición del flujo másico en el proyecto: Balanza para Faja Transportadora de 1000 mm e ancho marca “Thermo Scientific” modelo RAMSEY SERIE 14 de +/- 0.125% de exactitud. La Balanza está compuesta por lo siguiente:

- Puente de pesaje diseñado para soportar cuatro (04) estaciones de polines.
- Sensor digital de velocidad..
- Caja de Uniones para Celdas de Carga.
- Integrador, basado en microprocesador.

5.1.3.3.-Esquema del diseño de medición de flujo másico.

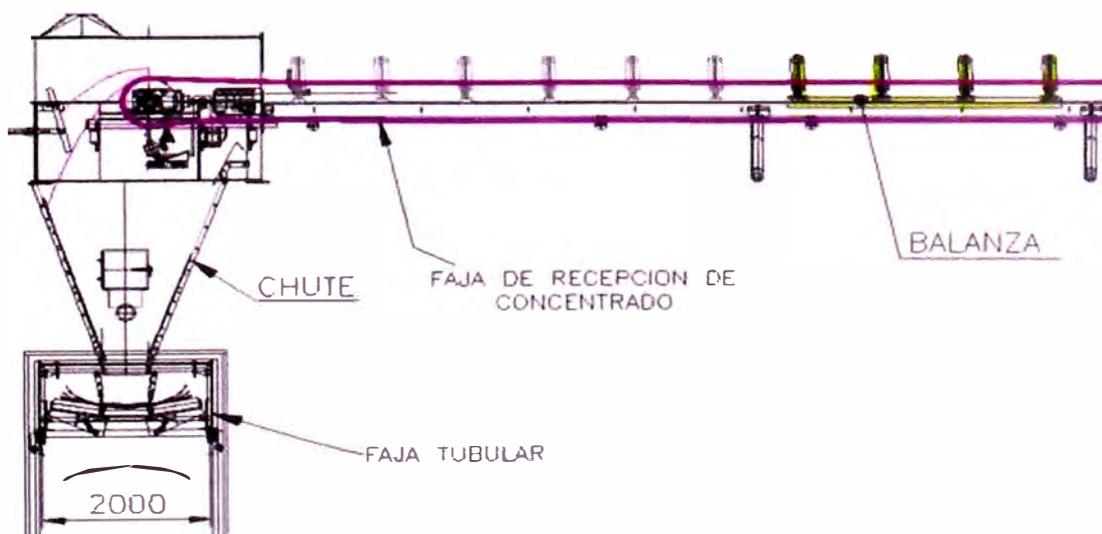


Fig. 5.8.- Ubicación de la balanza en faja alimentadora.

5.2.-Diseño de torre de transferencia de concentrado de mineral desde faja de recepción hacia la faja tubular.

5.2.1.-Diseño de chute de transferencia en la alimentación.

5.2.1.1.-Consideraciones para el diseño del chute de transferencia de concentrado de minerales.

Las consideraciones necesarias a ser tomadas se mencionan en el ítem 4.2.7. y se refieren al flujo másico del concentrado de mineral, la altura, las presiones que soportan las paredes, la abrasión sobre las paredes por parte del material transportado, el valor del ángulo máximo que forma las paredes del chute con la vertical en la zona de descarga y el del tamaño mínimo de la boca de salida.

5.2.1.2.-Esquema del diseño de chute de transferencia.

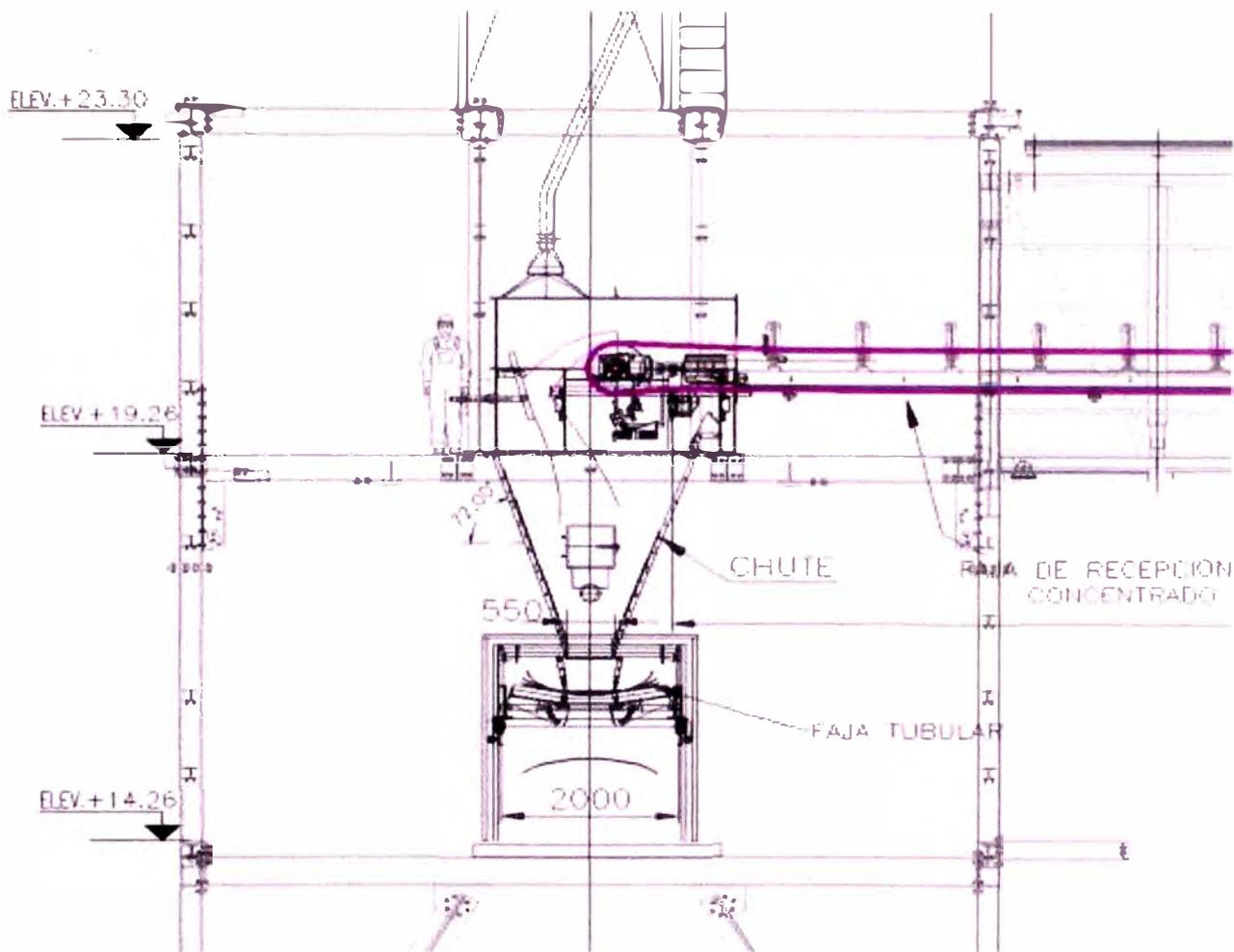


Fig. 5.9.-Vista del chute de transferencia hacia faja tubular.

5.2.2.-Sistema colector de polvo de concentrado de minerales originado durante la transferencia de concentrado.

5.2.2.1.-Consideraciones para el diseño del sistema colector de polvo.

Los dispositivos de desempolvado sirven para prevenir la propagación de polvo en los puntos de transferencia del material aspirando las partículas de polvo que se originan al caer el concentrado por el chute hacia otra faja. Estos equipos

colectores se componen de un filtro colector con mangas para retener el polvo, de un sistema de tubos que se encargan de succionar el polvo desde los puntos estratégicos, de un ventilador que funciona como extractor y de un sistema de limpieza de mangas que funciona con aire comprimido y que es controlado por un sistema de control automático.

5.2.2.2.-Sistema colector de polvo seleccionado.

En función al tipo de material, al flujo, a la velocidad de caída, a las características del chute (altura, ángulo de sus paredes) se puede determinar la cantidad de polvo que se podrá generar en la descarga del concentrado entre un punto a otro en una torre de transferencia. Esto permitirá seleccionar el equipo de aspiración adecuado que genere la presión negativa adecuada en los tubos seccionadores de tal manera que permitan un transporte limpio y libre de polvo que llegue al ambiente.

El equipo colector seleccionado en el proyecto y que se ubican en las torres de transferencia de material es de marca SCHEUCH, está compuesto por una carcasa con 35 mangas filtrantes instaladas en la parte superior de la carcasa, un sistema neumático de limpieza que incluye el suministro de aire presurizado y una unidad de control local para este sistema de limpieza. Los conductos o tuberías captan el polvo de mineral generado en la descarga del, el aire contaminado es absorbido al equipo colector de donde saldrá aire limpio al exterior. El extractor (ventilador radial) con

silenciador, el recolector de polvo con la válvula rotativa inferior, y estructuras de soporte de acero forman parte del equipo colector de polvo.

El equipo colector de polvo cuenta con una propia unidad de control local marca, la cual sirve exclusivamente para la limpieza del filtro a través de impulsos de aire comprimido. Un convertidor de presión diferencial de 20mBar, recibe como datos la presión de aire en la zona de filtrado (aire sucio antes de ser filtrado) y la presión de aire en el cabezal del equipo colector (aire limpio después de pasar por las mangas del filtro). Un ventilador radial marca Scheuch se ubica cerca del equipo colector y permite generar una presión de vacío en el cabezal del equipo, succionando el polvo de mineral (después de haber pasado por las mangas) y expulsándolo como aire limpio al exterior. Cuando las mangas del filtro estén muy sucias la diferencia de presión medida por el convertidor de presión diferencial aumenta hasta llegar a 20mBar, en este momento el convertidor de presión diferencial envía una señal a la unidad de control local ISTZ, la cual manda una señal a las electroválvulas que permiten el ingreso de aire comprimido a los tubos inyectoros, los que proporcionaran pulsos de aire a presión hacia las mangas en forma secuencial permitiendo el desprendimiento de material impregnado en ellas y limpiándolas dejándolas listas para seguir funcionando. El material desprendido de las mangas cae a la tolva y es evacuado continuamente a través de una válvula rotativa en posición abierta. Si por algún motivo el material no es evacuado y se acumula en la tolva, este es controlado por un sensor de nivel ubicado en la parte superior de la tolva. Si el sensor de nivel detecta un nivel alto de material se activa

una alarma, se debe detener el sistema de colección y revisar.

5.2.2.3.- Esquema del diseño del sistema colector de polvo.

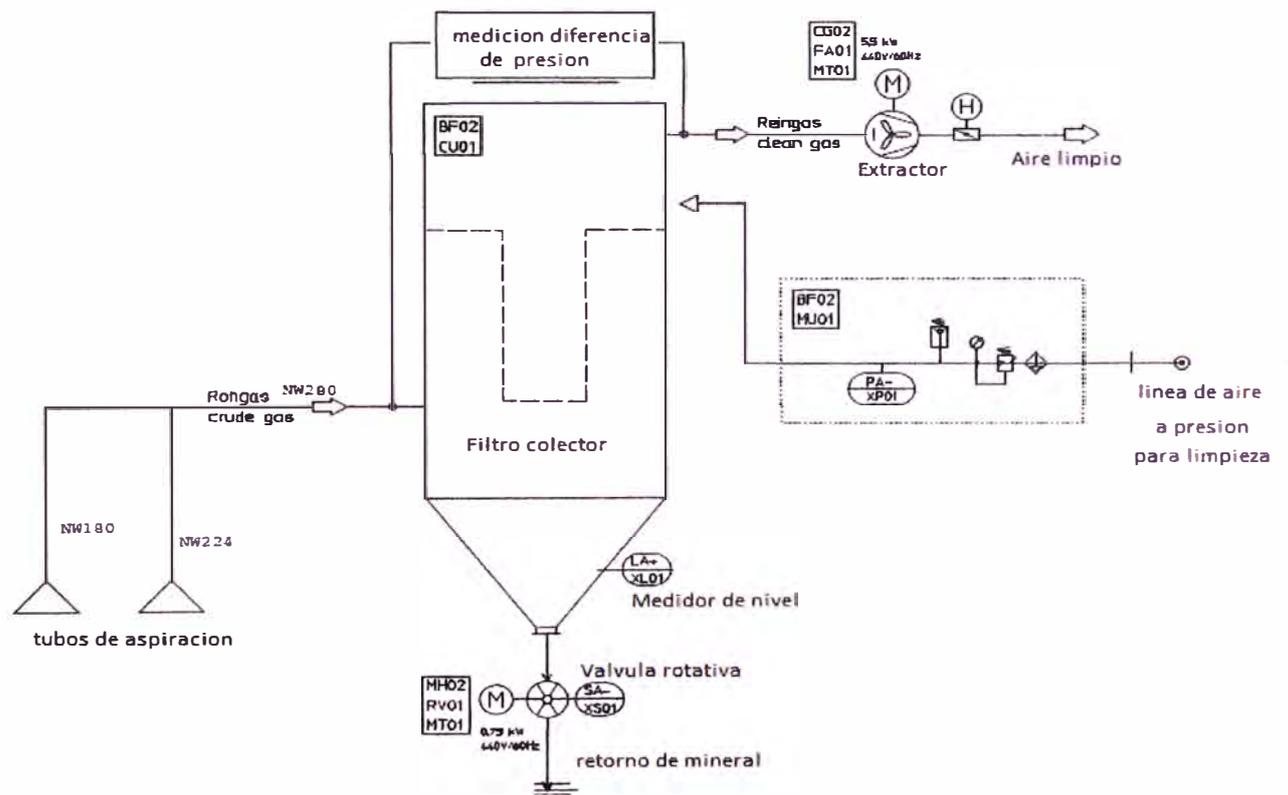


Fig. 5.10.-Diagrama de flujo del sistema de colección de polvo

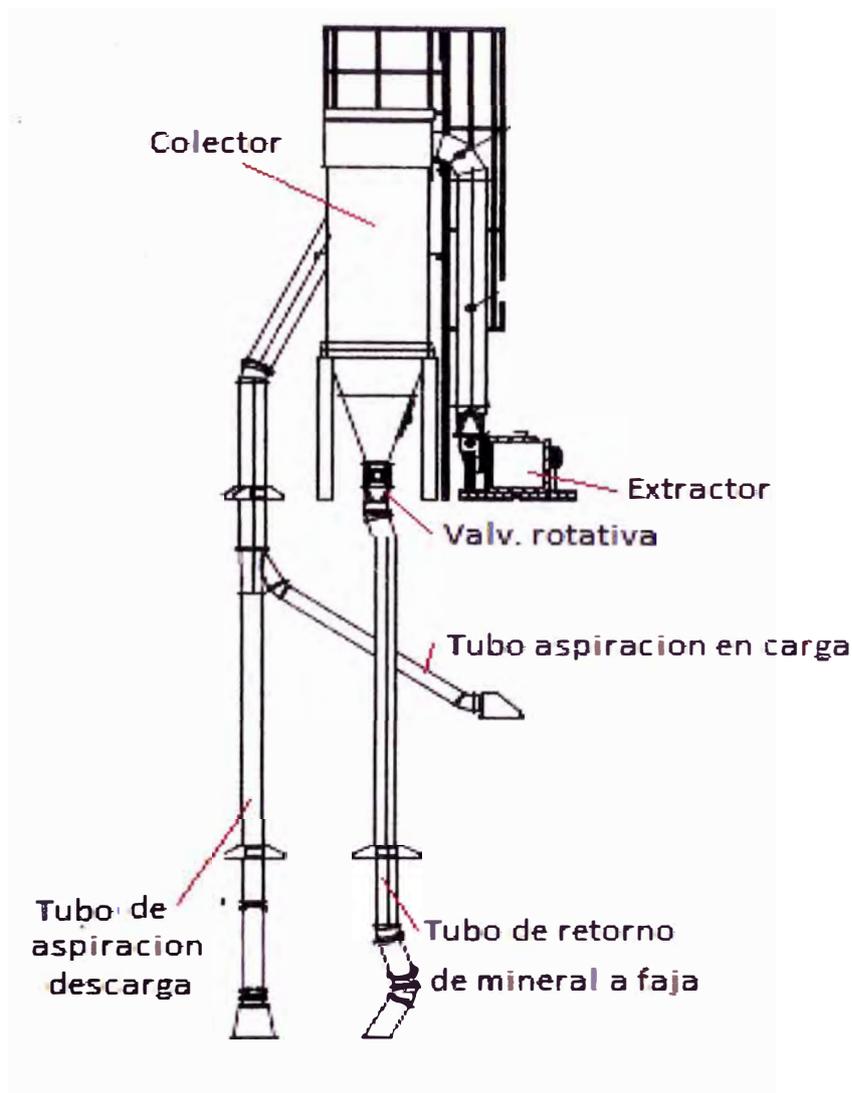


Fig. 5.10.-Sistema de colección de polvo

5.3.-Diseño del sistema de transporte de concentrado de minerales mediante la faja tubular.

5.3.1.-Consideraciones para el diseño de la faja tubular.

Iniciar con el diseño de la faja tubular implica tomar en cuenta que la información que es crucial para poder realizar un cálculo adecuado para la faja tubular según lo

indicado en el ítem 4.3.2.1 de este informe: Datos básicos de la ruta de transporte, datos del material transportado, condiciones climatológicas y ambientales. Además se debe tener en cuenta como datos de partida los requerimientos del cliente en función a su demanda proyectada o diferentes condiciones que se puedan presentar.

5.3.2.- Diseño de la faja tubular.

Calculo del diámetro de la faja tubular.

Haciendo referencia a la formula obtenida del ítem 4.3.2.2.se tiene:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_{max}}{\pi \cdot \varepsilon \cdot \varphi_{min} v_f}}$$

Siendo

$$\varphi_{min} = 1.94 \frac{Ton}{m^3} \text{ (aplicado para el cobre según item 5.1.1.1)}$$

$$\dot{m}_{max} = 2500Ton/h$$

$$v_f = 4.5m/s$$

$$\varepsilon = 70\%$$

Se obtiene:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_{max}}{\pi \cdot \varepsilon \cdot \varphi_{min} v_f}} = \sqrt{\frac{4 \times 2500ton/h}{\pi \times 0.7 \times 1.94ton/m^3 \times 4.5m/s}} = 380.4mm$$

Se selecciona valor entero superior

$$\varnothing=400mm$$

De la tabla 4.5 se puede seleccionar la banda en función del diámetro.

| Diámetro de la tubería (mm) | De ancho de banda (mm) | Resistencia a la rotura (n/mm) | capa de tela | Espesor de la cubierta de goma (mm) | Espesor de la banda (mm) |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 100 | 430 | 250 | 1 | 3.0 & veces; 1.5 | 5.2 |
| 150 | 600 | 160 | 2 | 3.0 & veces; 2.0 | 7.5 |
| | | 315 | | | 7.9 |
| 200 | 750 | 500 | 2 | 5.0 & veces; 2.0 | 9.4 |
| | | 315 | | | 8.9 |
| | | 500 | | | 8.6 |
| 250 | 1000 | 400 | 2 | 3.0 & veces; 2.0 | 9.0 |
| | | 500 | | | 10.1 |
| | | 400 | | | 10.4 |
| 300 | 1100 | 400 | 2 | 3.0 & veces; 2.0 | 9.1 |
| | | 500 | | | 9.5 |
| | | 500 | | | 10.6 |
| 350 | 1300 | 630 | 3 | 5.0 & veces; 2.0 | 11.9 |
| | | 800 | | | 12.5 |
| | | 800 | | | 13.1 |
| 400 | 1600 | 800 | 4 | 5.0 & veces; 2.0 | 13.1 |
| | | 1000 | 5 | | 13.9 |

Podemos obtener que las características recomendadas para la faja a seleccionar son las siguientes:

Ancho=1600mm

Numero de capas= 4 o 5.

Resistencia a rotura > 1000N/mm

Espesor de banda > 13.9mm

Calculo de la resistencia a la rotura requerida.-

$$R_{rot} = \frac{S \times T}{b}$$

Donde el factor de seguridad es 11 de acuerdo a tabla 4.6:

| Coeficientes de Seguridad para Bandas de Carcasa textil (norma DIN 22101) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| Número de Capas (z) | de 3 a 5 | de 6 a 9 | más de 9 |
| Coeficiente Seguridad (S) | 11 | 12 | 13 |

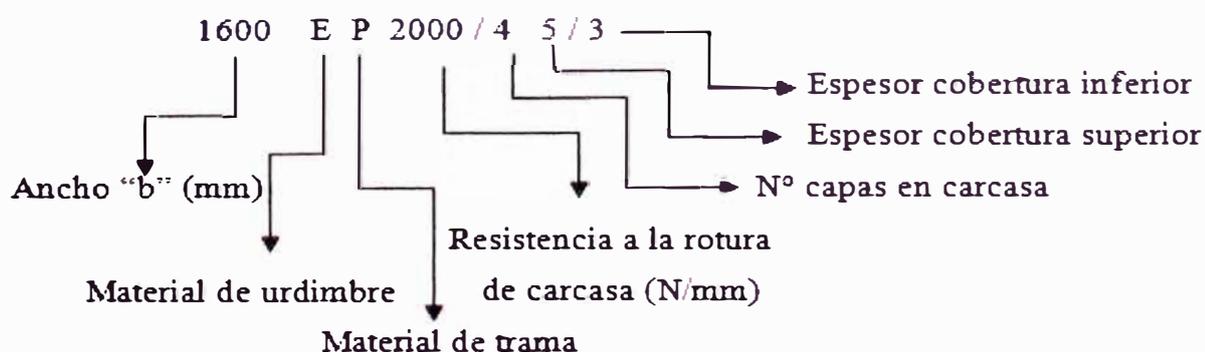
La tensión máxima ha sido calculada en el ítem 5.3.3 y el ancho de la faja ya es conocido $b=1600\text{mm}$.

Luego

$$R_{rot} = \frac{11 \times 280 \text{KN}}{1600} = 1925 \text{N/mm}$$

Por lo que se seleccionará un valor para resistencia a la rotura de 2000N/mm

Teniendo definido los parámetros importantes para poder seleccionar la faja adecuada para el sistema de transporte podemos seleccionar la siguiente faja:



Los datos de la faja seleccionada se podrán observar en el anexo 7

5.3.3.- Cálculo de la potencia de transporte de la faja tubular.

Cálculo de la resistencia al movimiento de la faja tubular.

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

Para el cálculo de la resistencia total es importante tomar en cuenta identificar la trayectoria o recorrido de la faja transportadora diferenciando los sectores por las siguientes características:

- Sectores curvos o rectos.
- Sector llano o inclinado (pendiente o rampa)

La faja a lo largo de su recorrido es acogida en diferentes galerías de aproximadamente 30 m de longitud, cada unión o junta de dos galerías es sostenida por un soporte denominado apoyo.

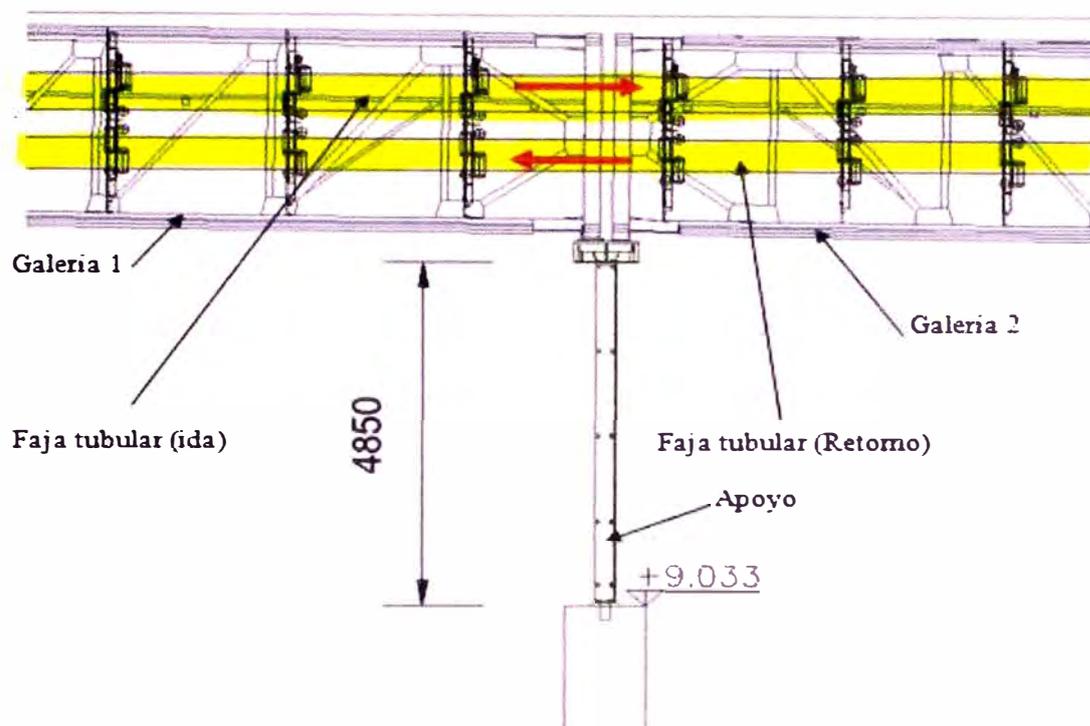


Fig. 5.11.-Esquema de recorrido de la faja tubular

El cálculo estructural de las galerías y los soportes no forma parte de este informe y por lo tanto nosotros consideraremos correctos los valores y diseño de la estructura definida y mostrada en los anexos del presente informe.

Habiendo identificado la trayectoria de la faja transportadora la cual es presentada en los anexos “3” y “4” podremos dividir todo el recorrido en 15 sectores diferenciados de tal forma que el cálculo sea lo más exacto y acorde con lo requerido en campo.

Para el cálculo de la masa de material en una determinada longitud “L” de la faja deduciremos la siguiente fórmula: (NO importa el tipo de material, esta fórmula se basa en el flujo másico requerido)

Se sabe:

$$m_m = \frac{\dot{m} \times L}{v_f}$$

Siendo:

flujo másico requerido $\dot{m} = 2300 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$

Velocidad de faja $v_f = 4.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$m_m = \frac{2300 \text{ Ton/h} \times L}{4.5 \text{ m/s}}$$

| |
|-------------------------------|
| $m_m = 141.97 L \text{ (kg)}$ |
|-------------------------------|

Para el cálculo de la masa de los rodillos en una determinada longitud “L” de la faja deduciremos la siguiente fórmula

$$m_r = \#rod \cdot \frac{L}{l_0} \cdot m_{rodillo}$$

Donde:

$\#rod$ = número de rodillos en las estaciones ida y retorno

l_0 = distancia entre estaciones de rodillos

$m_{rodillo}$ = masa de un rodillo

La masa de cada rodillo a lo largo de las estaciones de la faja tubular y la separación de estas estaciones es definida en el ítem 5.3.4, con estos datos podemos proceder a calcular m_r .

$$m_r = \frac{12 \times 8.4}{2.2} L$$

$$m_r = 45.81 L (Kg)$$

La masa de la faja para una longitud L de la trayectoria es definida según las características técnicas de la misma. Esto se conoce después de seleccionarla según el ítem 5.3.2

$$m_f = 2x \varphi_f . L$$

$\varphi_f =$ masa de faja por metro de longitud

Luego:

$$m_f = 2 \times 32.5 . L$$

$$m_f = 65 . L (kg)$$

Habiendo definido las formulas para el cálculo de las masas en función de la longitud de la trayectoria como:

$$m_m = 141.97 L (kg)$$

$$m_r = 45.81 L (Kg)$$

$$m_f = 65 . L (kg)$$

Se puede a proceder a realizar el cálculo de la resistencia al movimiento para cada sector:

Sector 1.- Apoyo 1 hasta apoyo 13 - recorrido llano y recto – Longitud: 363.6m

$$F_{w1} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \cdot L \text{ (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 363.6 + (65 \times 363.6 + 141.97 \times 363.6) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 28.816 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 28.816$$

$$F_n = 1.44 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 1:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 28.816 + 1.44 + 0$$

$$F_{w1} = 30.257 \text{ KN}$$

Sector 2.- Apoyo 13 hasta apoyo 21- recorrido llano y con curva – Longitud: 225.8m

$$F_{w2} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \text{cos} \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 225.8 + (65 \times 225.8 + 141.97 \times 225.8) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 19.194 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 19.194$$

$$F_n = 0.9597 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 2:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 19.194 + 0.9597 + 0$$

$$F_{w2} = 20.153 \text{ KN}$$

Sector 3.- Apoyo 21 hasta apoyo 23 - recorrido llano y recto – Longitud: 54.76m

$$F_{w3} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \cdot L \text{ (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 54.76 + (65 \times 54.76 + 141.97 \times 54.76) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 4.339 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 4.339$$

$$F_n = 0.2169 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (Trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 3:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 4.339 + 0.2169 + 0$$

$$F_{w3} = 4.555 \text{ KN}$$

Sector 4.- Apoyo 23 hasta apoyo 32- recorrido llano y con curva – Longitud: 233.9m

$$F_{w4} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \text{cos} \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 233.9 + (65 \times 233.9 + 141.97 \times 233.9) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 19.883 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 19.883$$

$$F_n = 0.994 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 4:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 19.883 + 0.994 + 0$$

$$F_{w4} = 20.877 \text{ KN}$$

Sector 5.- Apoyo 32 hasta apoyo 34- recorrido con pendiente $\delta = 0.53^\circ$ y recto –

Longitud: 56.11m

$$F_{w5} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 56.11 + (65 \times 56.11 + 141.97 \times 56.11) \cdot \cos 0.53^\circ]$$

$$F_h = 4.446 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 4.446$$

$$F_n = 0.2223 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0.53^\circ \text{ (trayectoria con pendiente)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen} 0.53^\circ$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 56.11 + 65 \times 56.11) \cdot \text{sen} 0.53^\circ$$

$$F_{st} = 1.053 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 5:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 4.446 + 0.2223 + 1.053$$

$$F_{w5} = 5.721 \text{ KN}$$

Sector 6.- Apoyo 34 hasta apoyo 41 - recorrido con pendiente $\delta = 1.61^\circ$ y con curva – Longitud: 179.1m

$$F_{w6} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m)] \cdot \text{cos} \delta$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 179.1 + (65 \times 179.1 + 141.97 \times 179.1) \cdot \cos 1.61^\circ]$$

$$F_h = 15.218 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 15.218$$

$$F_n = 0.7609 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 1.61^\circ \text{ (trayectoria con pendiente)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen} 1.61^\circ$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 179.1 + 65 \times 179.1) \cdot \text{sen} 1.61^\circ$$

$$F_{st} = 10.216 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 6:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 15.218 + 0.7609 + 10.216$$

$$F_{w6} = 26.195 \text{ KN}$$

Sector 7.- Apoyo 41 hasta apoyo 43 - recorrido con rampa $\delta = -0.38^\circ$ y con curva

– Longitud: 76.64m

$$F_{w7} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 76.64 + (65 \times 76.64 + 141.97 \times 76.64) \cdot \cos(-0.38^\circ)]$$

$$F_h = 6.514 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 6.514$$

$$F_n = 0.3257 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = -0.38^\circ \text{ (trayectoria con rampa)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen}(-0.38^\circ)$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 76.64 + 65 \times 76.64) \cdot \text{sen}(-0.38^\circ)$$

$$F_{st} = -1.032 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 7:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 6.514 + 0.3257 - 1.032$$

$$F_{w7} = 5.807 \text{ KN}$$

Sector 8.- Apoyo 43 hasta apoyo 53 - recorrido con rampa $\delta = -0.32^\circ$ y recto -

Longitud: 301.5m

$$F_{w8} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \text{cos} \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 301.5 + (65 \times 301.5 + 141.97 \times 301.5) \cdot \cos(-0.32^\circ)]$$

$$F_h = 23.894 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 23.894$$

$$F_n = 1.1947 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = -0.32^\circ \text{ (trayectoria con rampa)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen}(-0.32^\circ)$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 301.5 + 65 \times 301.5) \cdot \text{sen}(-0.32^\circ)$$

$$F_{st} = -3.4189 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 8:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 23.894 + 1.1947 - 3.4189$$

$$F_{w8} = 21.669 \text{ KN}$$

Sector 9.- Apoyo 53 hasta apoyo 61 - recorrido con rampa $\delta = -0.4^\circ$ y recto -

Longitud: 224.8m

$$F_{w9} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 224.8 + (65 \times 224.8 + 141.97 \times 224.8) \cdot \cos(-0.4^\circ)]$$

$$F_h = 17.815 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 17.815$$

$$F_n = 0.890 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = -0.4^\circ \text{ (trayectoria con rampa)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen}(-0.4^\circ)$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 224.8 + 65 \times 224.8) \cdot \text{sen}(-0.4^\circ)$$

$$F_{st} = -3.1864 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 9:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 17.815 + 0.890 - 3.1864$$

$$F_{w9} = 15.518 \text{ KN}$$

Sector 10.- Apoyo 61 hasta apoyo 80 - recorrido con rampa $\delta = -0.22^\circ$ y recto -

Longitud: 570m

$$F_{w10} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \cdot L \text{ (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 570 + (65 \times 570 + 141.97 \times 570) \cdot \cos(-0.22^\circ)]$$

$$F_h = 45.174 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 45.174$$

$$F_n = 2.258 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = -0.22^\circ \text{ (trayectoria con rampa)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen}(-0.22^\circ)$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 570 + 65 \times 570) \cdot \text{sen}(-0.22^\circ)$$

$$F_{st} = -4.443 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 10:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 45.174 + 2.258 - 4.443$$

$$F_{w10} = 42.989 \text{ KN}$$

Sector 11.- Apoyo 80 hasta apoyo 88 - recorrido con rampa $\delta = -0.3^\circ$ y con curva

- Longitud: 232.2m

$$F_{W11} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 232.2 + (65 \times 232.2 + 141.97 \times 232.2) \cdot \cos(-0.3^\circ)]$$

$$F_h = 19.738 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 19.738$$

$$F_n = 0.9869 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen}\delta$$

Siendo:

$$\delta = -0.3^\circ \text{ (trayectoria con rampa)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen}(-0.3^\circ)$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 232.2 + 65 \times 232.2) \cdot \text{sen}(-0.3^\circ)$$

$$F_{st} = -2.468 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 11:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 19.738 + 0.9869 - 2.468$$

$$F_{w11} = 18.256 \text{ KN}$$

Sector 12.- Apoyo 88 hasta apoyo 99-recorrido llano y con curva—Longitud: 309.89m

$$F_{w12} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03428$ (dato brindado por el proveedor para sectores curvos)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65 \cdot L \text{ (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03428 \times 9.81 \times [45.81 \times 309.89 + (65 \times 309.89 + 141.97 \times 309.89) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 26.3426 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 26.342$$

$$F_n = 1.317 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 12:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 26.342 + 1.317 + 0$$

$$F_{w12} = 27.6591 \text{ KN}$$

Sector 13.- Apoyo 99 hasta apoyo 102- recorrido llano y recto – Longitud: 89m

$$F_{w13} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos \delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 89 + (65 \times 89 + 141.97 \times 89) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 7.053 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 7.053$$

$$F_n = 0.3526 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen}0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 13:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 7.053 + 0.3526 + 0$$

$$F_{w13} = 7.405 \text{ KN}$$

Sector 14.- Apoyo 102 hasta apoyo 109 - recorrido con pendiente $\delta = 1.33^\circ$ y recto

– Longitud: 210m

$$F_{w14} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \text{cos}\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 210 + (65 \times 210 + 141.97 \times 210) \cdot \cos 1.33^\circ]$$

$$F_h = 16.6387 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 16.6387$$

$$F_n = 0.831.937 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 1.33^\circ \text{ (trayectoria con pendiente)}$$

Luego:

$$F_{st} = 9.81(141.97L + 65L) \cdot \text{sen} 1.33^\circ$$

$$F_{st} = 9.81(141.97 \times 210 + 65 \times 210) \cdot \text{sen} 1.33^\circ$$

$$F_{st} = 9.896 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia total en el sector 14:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 16.638 + 0.831 + 9.896$$

$$F_{w14} = 27.365 \text{ KN}$$

Sector 15.- Apoyo 109 hasta apoyo 112 - recorrido llano y recto – Longitud: 66.78m

$$F_{w15} = F_h + F_n + F_{st}$$

Calculo de resistencia primaria:

$$F_h = f_w \cdot g \cdot [m_r + (m_f + m_m) \cdot \cos\delta]$$

Siendo: $f_w = 0.03196$ (dato brindado por el proveedor)

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$m_m = 141.97 \text{ L (kg)}$$

$$m_r = 45.81 \text{ L (Kg)}$$

$$m_f = 65. \text{ L (kg)}$$

Luego:

$$F_h = 0.03196 \times 9.81 \times [45.81 \times 66.78 + (65 \times 66.78 + 141.97 \times 66.78) \cdot \cos 0^\circ]$$

$$F_h = 5.292 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia secundaria:

$$F_n = (C - 1) \cdot F_h$$

Siendo:

$$C = 1.05 \text{ según la tabla 4.7 (ítem 4.3.2.3)}$$

Luego:

$$F_n = (1.05 - 1) \cdot 5.292$$

$$F_n = 0.2646 \text{ KN}$$

Calculo de resistencia a la gradiente:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} \delta$$

Siendo:

$$\delta = 0^\circ \text{ (trayectoria llano)}$$

Luego:

$$F_{st} = g \cdot (m_m + m_f) \cdot \text{sen} 0^\circ$$

$$F_{st} = 0$$

Calculo de resistencia total en el sector 15:

$$F_w = F_h + F_n + F_{st}$$

$$F_w = 5.292 + 0.2646 + 0$$

$$F_{w15} = 5.556 \text{ KN}$$

Calculo de la resistencia total en la faja tubular:

Calculo de $F_w \text{ total} = F_{w1} + F_{w2} + F_{w3} + \dots + F_{w15}$

$$F_w \text{ total} = 30.257 + 20.153 + 4.555 + 20.877 + 5.721 + 26.195 + 5.807 + 21.669 \\ + 15.518 + 42.899 + 18.256 + 27.659 + 7.405 + 27.365 + 5.556$$

| |
|---|
| $F_w \text{ total} = 279.98 \text{ KN}$ |
|---|

Calculo de la potencia mínima necesaria en el motor para vencer la resistencia al movimiento

$$P_w = F_w \cdot v_f$$

$$P_w = 279.98 \text{KN} \times 4.5 \text{m/s}$$

$$P_w = 1260 \text{Kw}$$

Siendo la eficiencia mecánica de transmisión entre todos los elementos entre el motor y polea

$$\eta_m = 0.85$$

$$P_m = \frac{1260}{0.85}$$

$$P_m = 1482.35 \text{ Kw}$$

Tomando en cuenta un factor de seguridad 1.25

Luego: la potencia mecánica instalada será :

$$P_m = 1852.93 \text{ Kw}$$

Estado de funcionamiento irregular: Análisis de la puesta en marcha con la faja llena de concentrado.

La puesta en marcha es considerada un estado de funcionamiento irregular, asume que el sistema de transporte esta detenido y debe empezar a funcionar estando

la faja tubular con material dentro. Surge entonces en el recorrido superior de la faja una fuerza de resistencia “Fa” llamada resistencia a la aceleración la cual podríamos definir como la fuerza necesaria para romper la inercia.

La Norma DIN 22101 define a la fuerza “Fa” de la siguiente manera:

$$F_a = a \cdot (C_{ri} \cdot m_r + m_f + m_m)$$

Siendo:

a = *aceleracion de puesta en marcha*

C_{ri} = *Coeficiente de masa de rodillos (= 0.90)*

m_r = *masa de partes giratorias de rodillos y tambores*

m_f = *masa de la faja trasportadora(superior y retorno)*

m_m = *masa de material transportado*

El movimiento de puesta en marcha se realiza a una aceleración “a” la cual debe ser tal que “Fa” no sea un valor elevado, es importante tomar en cuenta que la aceleración no puede ser tan reducida tal que el tiempo de puesta en marcha exceda el límite de tiempo térmicamente aceptable.

La norma DIN 22101 define el factor de puesta en marcha “ p_a ” que relaciona las fuerzas periféricas en todas las poleas motrices en la puesta en marcha “ F_{pm} ” con las fuerzas periféricas en todas las poleas motrices que existen en un estado de funcionamiento continuo “ F_w ”.

$$p_a = \frac{F_{pm}}{F_w} \quad \text{siendo} \quad F_{pm} = F_w + F_a$$

Las recomendaciones para la magnitud de las fuerzas periféricas de la polea “ F_{pm} ” especialmente para fajas transportadoras muy largas según la norma DIN 22101 son las siguientes:

$$p_a \leq 1.7 \text{ para evitar tensiones altas en la correa}$$

- El tiempo de la puesta en marcha de la transmisión no debe exceder el límite de tiempo térmicamente aceptable.
- Las fuerzas periféricas se deben limitar de tal manera que no se dañe la fricción de agarre entre el material transportado y la faja transportadora.
- Las fuerzas periféricas se deben transmitir a la faja tan despacio como fuese posible para limitar la intensidad de las vibraciones longitudinales.

Análisis gráfico de la puesta en marcha.

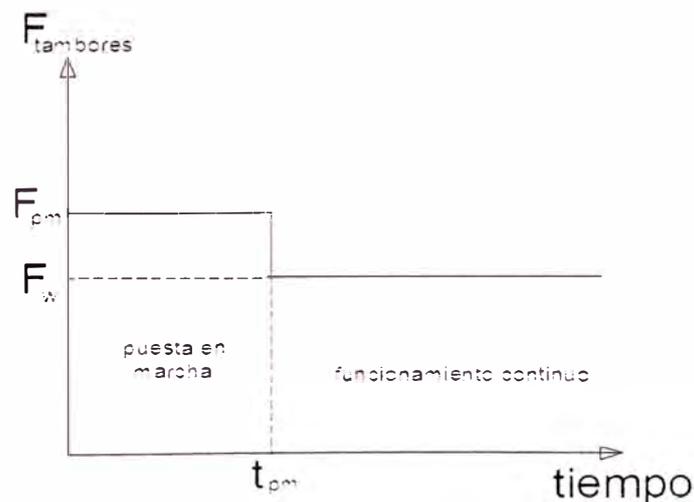


Fig. 5.12.- Gráfico F_{tambor} VS Tiempo

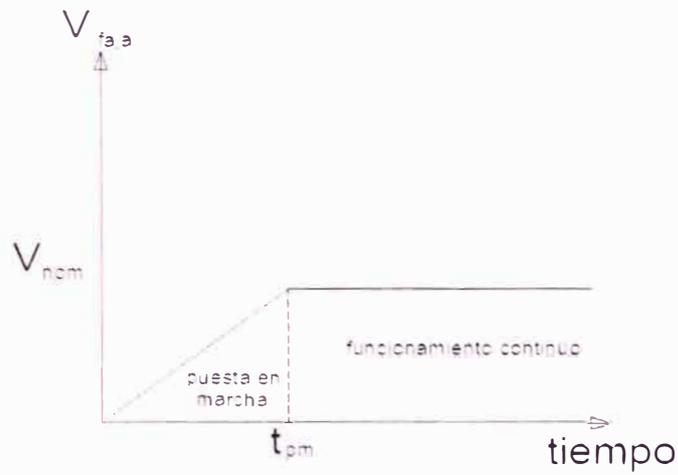


Fig. 5.13.- Gráfico *Velocidad faja* VS Tiempo

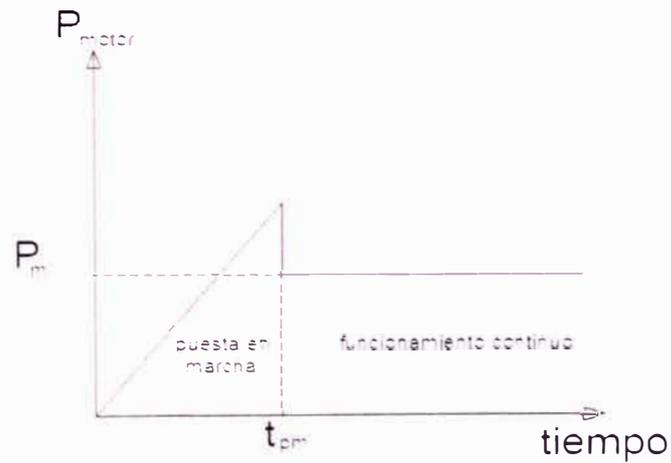


Fig. 5.14.- Gráfico *Potencia_motor* VS Tiempo

Calculo de la fuerza periférica en los tambores motrices durante la puesta en marcha

Tomando en cuenta las recomendaciones según la norma DIN 22101 se selecciona

$$p_a = 1.3$$

$$p_a = \frac{F_{pm}}{F_w}$$

$$p_a = \frac{F_w + F_a}{F_w}$$

Calculo de F_a a lo largo de toda la faja tubular $L=3200$ m

$$F_a = a. (C_{ri} \cdot m_r + m_f + m_m)$$

Donde:

$$m_m = 141.97 L (kg)$$

$$m_r = 45.81 L (Kg)$$

$$m_f = 65. L (kg)$$

$$F_a = a. (0.90 \times 45.81 L + 65 L + 141.97 L)$$

$$F_a = a. (0.90 \times 45.81 \times 3200 + 65 \times 3200 + 141.97 \times 3200)$$

$$F_a = 794236.8 a$$

Siendo además:

$$F_w = F_{w \text{ total}} = 279.98 KN$$

Por lo tanto:

$$p_a = \frac{F_w + F_a}{F_w}$$

$$1.3 = \frac{279.98 KN + 794236.8 a}{279.98 KN}$$

$$a = 0.1 m/s$$

Siendo el tiempo de puesta en marcha:

$$t_{pm} = \frac{v_f}{a} = \frac{4.5}{0.1} = 45 \text{ seg}$$

Conociendo la aceleración se puede calcular

$$F_a = a \cdot (C_{ri} \cdot m_r + m_f + m_m)$$

$$F_a = 794236.8 a$$

$$F_a = 794236.8 \times 0.1$$

$$F_a = 79.42 \text{ KN}$$

Siendo las fuerzas periféricas en el tambor **durante la puesta en marcha**.

$$F_{pm} = F_w + F_a$$

$$F_{pm} = 279.98 \text{ KN} + 79.42 \text{ KN}$$

$$F_{pm} = 359.47 \text{ KN}$$

Calculo de la potencia requerida en el motor:

$$P_m = \frac{F_{pm} \cdot v_f}{\eta_m}$$

$$P_m = \frac{359.47 \text{ KN} \times 4.5 \text{ m/s}}{0.85}$$

$$P_m = 1903 \text{ Kw}$$

Observar que la potencia requerida en la puesta en marcha es ligeramente mayor a la potencia calculada para los motores en funcionamiento continuo.

Selección del sistema motriz – Diseño del sistema transportador tubular

Un sistema transportador con faja tiene definido el tambor de cabeza en la zona de descarga de la faja, este tambor tiene instalada la potencia motriz con la que funcionara el sistema de transporte, sin embargo en sistemas transportadores cuya longitud es muy larga $L > 2000\text{m}$ es recomendable repartir la potencia motriz instalada entre la polea de cabeza y la polea de retorno ubicada en la zona de retorno lo que favorece en reducir la tensión en la faja durante el transporte.

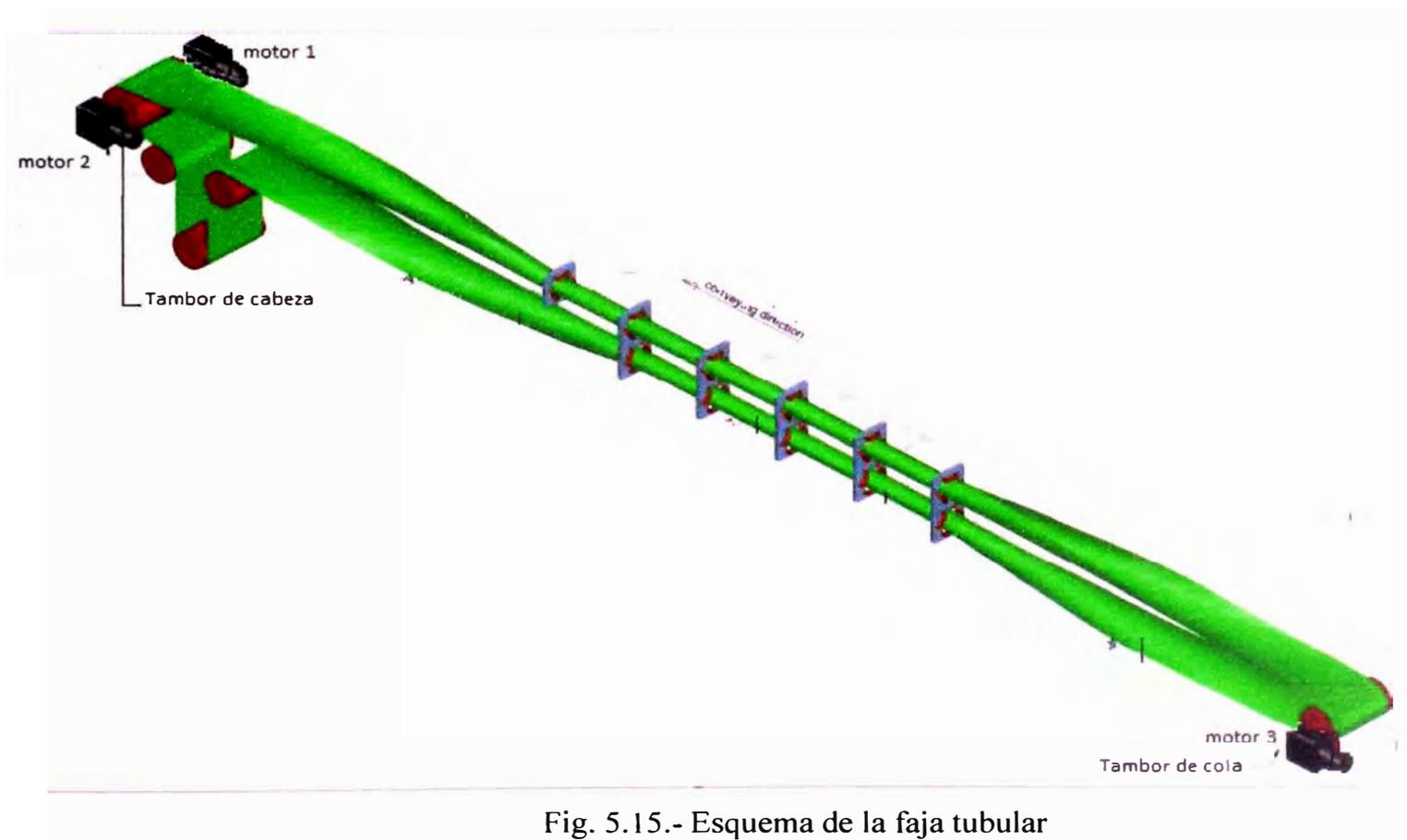


Fig. 5.15.- Esquema de la faja tubular

Resultado del cálculo- diseño

Se ha diseñado en sistema de transporte con tres motores ubicados dos en la zona de cabeza (tambor de cabeza) y uno en la zona de retorno (Tambor de cola). Siendo la potencia motriz instalada para el diseño la calculada durante la puesta en marcha en caso de partir con la faja cargada.

$$P_m = 1903 \text{ Kw}$$

Repartida entre 3 motores

$$P_{motor} = 634.3 \text{ Kw}$$

Para la selección se elige uno de mayor potencia nominal:

| |
|------------------------------|
| $P_{motor} = 644 \text{ Kw}$ |
|------------------------------|

Para desplazamientos de faja de larga longitud es recomendable repartir la fuerza motriz en las poleas de cabeza y de cola esto permitirá reducir las tensiones de la faja a lo largo de su recorrido (ida y vuelta) distribuyendo de manera regular estas tensiones a lo largo de toda la faja evitando que las mayores tensiones de la faja se formen cerca a la polea de cabeza. Además se ha seleccionado tres motores proyectándose a que si después de algunos años el concesionario decide ampliar la potencia de la faja esto se podrá realizar con mucha facilidad agregando un cuarto motor a la polea de cola. (Las características del motor seleccionado se muestran en el anexo 8 de este informe.)

5.3.4.-Cálculo y selección de los componentes del sistema de transporte.

Para la selección de los componentes del sistema de transporte emplearemos la teoría presentada en el capítulo 4 ítem 4.3.2.4.-

a).-Selección de rodillos (polines).- Según la tabla 4.8 para el ancho de banda 1600 mm el diámetro apropiado para el rodillo puede ser 133 o 159, se selecciona 133 mm.

| Ancho B de Correas en mm | Diámetro d_r de polín exterior en mm | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | 63.5 | 69 | 108 | 133 | 159 | 194 |
| 400 | 5.0 / 4.2 / 3.2 | 7.5 / 6.4 / 5.2 | | | | |
| 500 | 5.6 / 4.6 / 3.6 | 8.4 / 7.4 / 6.0 | | | | |
| 650 | 6.3 / 5.2 / 4.4 | 9.6 / 8.5 / 7.2 | 12.2 / 10.7 / 8.9 | | | |
| 800 | | 11.1 / 9.8 / 8.8 | 14.1 / 12.3 / 10.9 | | | |
| 1000 | | 12.6 / 12.0 / 10.4 | 16.0 / 15.0 / 12.8 | 24.6 / 21.6 / 17.4 | | |
| 1200 | | | 18.6 / 16.9 / 15.3 | 27.6 / 24.0 / 20.4 | 34.5 / 30.0 / 25.1 | |
| 1400 | | | 20.4 / 18.8 / 17.2 | 30.0 / 26.4 / 22.8 | 37.5 / 32.8 / 28.0 | |
| 1600 | | | | 32.4 / 28.8 / 25.3 | 40.5 / 38.6 / 30.9 | |
| 1800 | | | | | 46.2 / 40.4 / 34.6 | 79.1 / 71.9 / 62.4 |
| 2000 | | | | | 49.5 / 43.2 / 37.5 | 86.7 / 78.8 / 67.4 |
| 2200 | | | | | 51.9 / 47.6 / 41.9 | 92.4 / 84.0 / 74.9 |
| 2400 | | | | | | 97.9 / 89.0 / 80.4 |
| 2600 | | | | | | 103.4 / 94.1 / 85.9 |
| 2800 | | | | | | 108.9 / 98.9 / 91.4 |
| 3000 | | | | | | 114.4 / 103.9 / 96.9 |
| 3200 | | | | | | 120.0 / 109.1 / 102.4 |

b).-Cálculo de separación entre estaciones. Según la fórmula establecida en el apartado b del ítem 4.3.2.4.-

$$l_0 = \sqrt{\frac{y_b \cdot 800 \cdot T}{(m'_m + m'_f) \cdot g}}$$

Donde:

$l_0 =$ distancia entre rodillos

$y_b =$ flecha de la faja

$T =$ tension de banda

$m'_m =$ masa e material por unidad de longitud

$m'_f =$ masa de faja por metro d longitud

$g =$ gravedad

La flecha de la faja depende de las exigencias del diseñador, Para este sistema se ha considerado 2% de l_0 .

$$l_0 = \sqrt{\frac{y_b \cdot 800 \cdot T}{(m'_m + m'_f) \cdot g}}$$

Luego:

Calculo de separación entre estaciones superiores:

$$y_b = 2\% \text{ de } l_0$$

$$T = 285.4 \text{KN (Calculado en ítem 5.3.5)}$$

$$m'_m = 141.97 \text{Kg/m (Calculado en ítem 5.3.3)}$$

$$m'_f = 32.5 \text{Kg/m (Según datos de la faja)}$$

Resolviendo:

$$l_0 \leq \sqrt{\frac{0.02l_0 \times 800 \times 285.4 \times 10^3}{(141.97 + 32.5) \times 9.81}}$$

$$l_0 = 2.6 \text{m}$$

Que es la separación máxima que debe considerarse, por lo que debe considerarse un valor menor 2.2m o 2.4m. Para el proyecto **se ha seleccionado 2.2m** de separación entre las estaciones de rodillos en la zona superior. Siendo por ser una faja tubular la misma separación que se aplicará en el retorno de la faja.

c).-Selección de los tambores o poleas.

El diametro minimo de la poleas que forman el sistema se ha determinado según lo establecido en la teoria del item 4.3.2.4:

Componente tensor

$$D_{Tr} = d_{Gk} \cdot C_{Tr}$$

Donde:

$$D_{Tr} = \text{componte tensor}$$

$$d_{Gk} = \text{espesor de carcasa}$$

$$C_{Tr} = \text{coeficiente de material de carcasa}$$

Siendo

$$d_{Gk} = 17.8 - 5 - 3 = 9.8$$

C_{Tr} se calculara en funcion al material de la carcasa, sabemos que las características de la faja son: 1600 E P 2000 / 4 / 3. Donde: material del componente tensor o urdimbre es "E" (poliester) define el valor de C_{Tr} a traves de la tabla 4.9:

| Material del componente tensor | Coefficiente C_{Tr} |
|--------------------------------|-----------------------|
| B (algodón) | 80 |
| E (poliéster) | 108 |
| P (poliamida) | 90 |
| St (cable de acero) | 145 |

Luego:

$$C_{Tr} = 108$$

$$D_{Tr} = 9.8 \times 108 = 1058.4$$

Se selecciona un D_{Tr} de valor superior $D_{Tr} = 1250$

Factor de carga de la polea

$$\text{Factor de carga} = \frac{T_{max}}{T_{Nominal}} \cdot 8.100 \%$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{285.4 \times 1000}{2000 \times 1600} \cdot 8.100 \%$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{285.4 \times 1000}{2000 \times 1600} \cdot 8.100 \%$$

$$\text{Factor de carga} = 71.35 \%$$

Con el factor de carga de las poleas (entre 60 y 100%) y el componente tensor se puede seleccionar el diámetro de las poleas tipo A, B y C que se emplearán en el sistema transportador por faja a través de la tabla 4.10

| $D_{T=}$ $C_T - d_{ca}$ | Diámetro mínimo de polea en mm (sin carga) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|------|------|-------------------------------|------|------|------------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|
| | Factor de carga de la polea $\frac{k_{max}}{k_N} \cdot 8 \cdot 100$ en % | | | | | | | | | | | |
| | $\geq 100\%$ grupo de poleas | | | 60% a 100% grupo de poleas | | | 30% a 60% grupo de poleas | | | $\leq 30\%$ grupo de poleas | | |
| | A | B | C | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 100 | 125 | 100 | | 100 | | | | | | | | |
| 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 100 | | 100 | | | | | |
| 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 100 | | 100 | 100 | |
| 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 125 | 100 | 125 | 125 | 100 |
| 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 160 | 125 | 160 | 160 | 125 |
| 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 200 | 160 | 200 | 200 | 160 |
| 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 250 | 200 | 250 | 250 | 200 |
| 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 315 | 250 | 315 | 315 | 250 |
| 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 400 | 315 | 400 | 400 | 315 |
| 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 500 | 400 | 500 | 500 | 400 |
| 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 630 | 500 | 630 | 630 | 500 |
| 1250 | 1400 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 800 | 630 | 800 | 800 | 630 |
| 1400 | 1600 | 1400 | 1000 | 1400 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 1000 | 800 |
| 1600 | 1800 | 1600 | 1250 | 1600 | 1250 | 1000 | 1250 | 1000 | 800 | 1000 | 1000 | 800 |
| 1800 | 2000 | 1800 | 1250 | 1800 | 1400 | 1250 | 1600 | 1250 | 1000 | 1250 | 1250 | 1000 |

Por lo tanto se ha seleccionado los diámetros de las poleas:

Polea motriz=1250mm

Polea deflectora=800mm y 1000mm

Polea Tensora=1000mm

5.3.5.-Diseño del sistema de tensado de la faja tubular.

Para el cálculo de las tensiones que soportará la faja tubular es importante:

- Definir el diseño del arreglo de la faja tubular.
- Arreglo del sistema tensor.
- Número y disposición de poleas motrices.
- Agarre por fricción en las poleas durante la transmisión.
- Angulo de contacto entre polea y faja.

Arreglo de la faja tubular.

El arreglo es el siguiente:

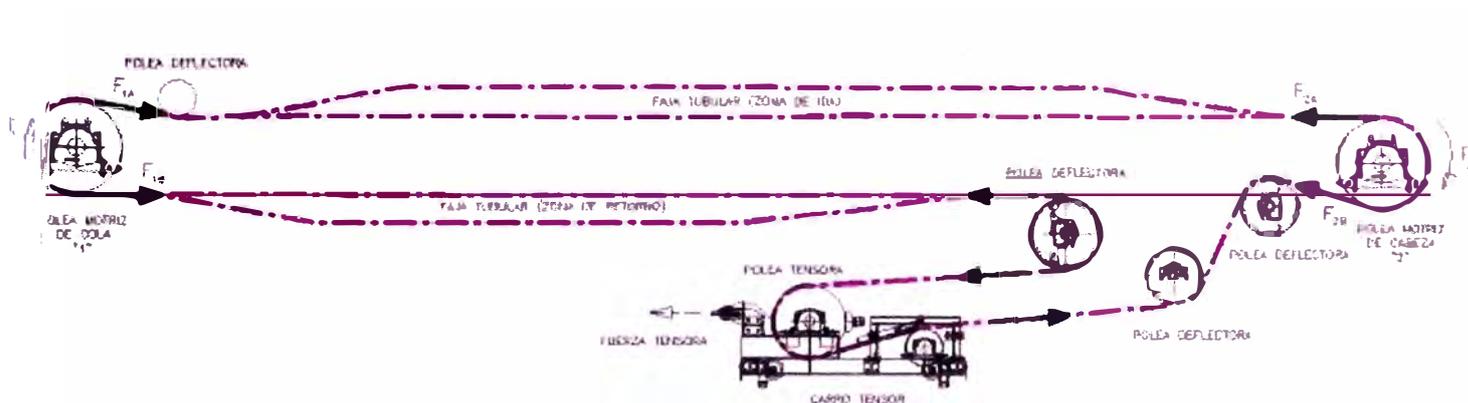


Fig. 5.16.- Esquema arreglo sistema tensor de la faja tubular

Para el cálculo de las tensiones en la faja se toma en cuenta lo definido en el ítem 4.3.1.3 del presente informe.

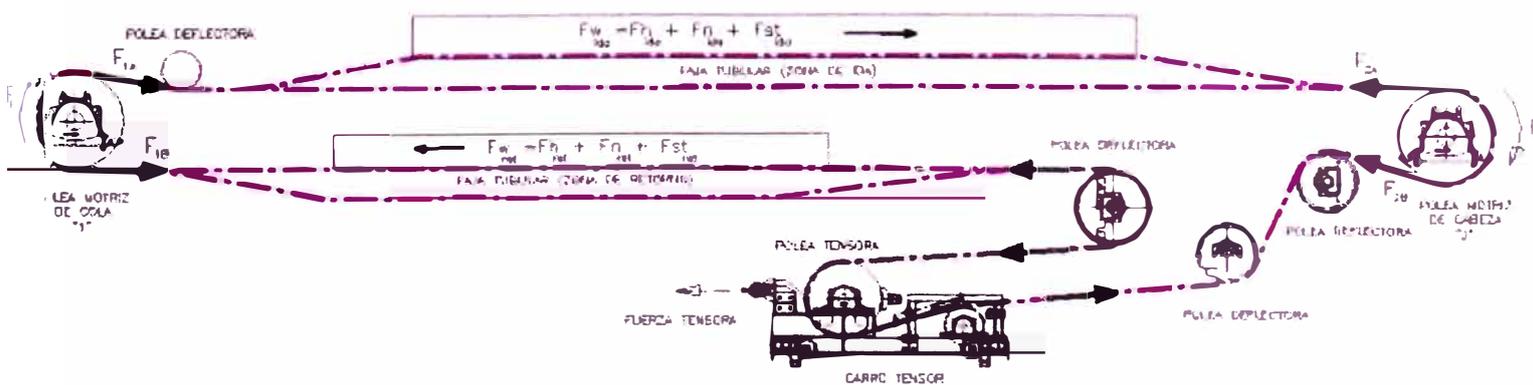


Fig. 5.17.- Tensiones en la faja Vs resistencia al movimiento ida y retorno

Luego:

$$F_{2A} - F_{1A} = F_{w\ ida}$$

$$F_{1B} - F_{2B} = F_{w\ ret}$$

De donde sumando se obtiene:

$$F_{2A} - F_{1A} + F_{1B} - F_{2B} = F_{w\ ida} + F_{w\ ret}$$

Además:

$$F_2 = F_{2A} - F_{2B}$$

$$F_1 = F_{1B} - F_{1A}$$

$$F_{w\ ida} + F_{w\ ret} = F_{pm} = 359.47KN$$

$$F_1 + F_2 = 359.47KN$$

Pero además se sabe que $F_2 = 2F_1$ debido a que según el diseño en la polea 2 habrán dos motores y en la polea 1 un motor (los tres de las mismas características lo que genera que la fuerza periférica en la polea 2 sea el doble que la fuerza perimétrica en la polea 1)

Resolviendo

$$F_2 = 239.64$$

$$F_1 = 119.82$$

de la ecuación de Euler-Eytelwein se tiene:

$$F_{2A} = \frac{e^{u \cdot \alpha}}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_2$$

$$F_{2B} = \frac{1}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_2$$

$$F_{1B} = \frac{e^{u \cdot \alpha}}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_1$$

$$F_{1A} = \frac{1}{e^{u \cdot \alpha} - 1} \cdot F_1$$

De la tabla 4.4 se obtiene $u = 0.35$

| TIPO DE TENSOR | | | |
|----------------|------------------|---------------|------------------|
| A tornillo | | A contrapeso | |
| Tambor normal | Tambor revestido | Tambor normal | Tambor revestido |
| 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 |

Y del arreglo mecánico según diseño se sabe:

$$\alpha = 210^\circ = 3.66 \text{ rad}$$

Calculando:

$$F_{2A} = \frac{e^{0.35 \times 3.66}}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \times 239.47 = 1.384 \times 239.47 = 331.42 \text{ KN}$$

$$F_{2B} = \frac{1}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \times 239.47 = 0.384 \times 239.47 = 91.95 \text{ KN}$$

$$F_{1B} = \frac{e^{0.35 \times 3.66}}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \times 119.82 = 1.384 \times 119.82 = 165.83 \text{ KN}$$

$$F_{1A} = \frac{1}{e^{0.35 \times 3.66} - 1} \times 119.82 = 0.384 \times 119.82 = 46 \text{ KN}$$

Tensión en la faja superior (ida)

$$F_{2A} - F_{1A} = 331.42 - 46 = 285.4KN$$

Tensión en la faja inferior (retorno)

$$F_{1B} - F_{2B} = 165.83 - 91.95 = 73.88$$

Calculo de fuerza tensora:

$$F_{tensora\ minima} > 2 F_{2B}$$

$$F_{tensora\ minima} > 2 \times 91.95$$

$$F_{tensora\ minima} > 183.9KN$$

Se selecciona un peso tensor de 200KN.

5.3.6.-Sistema de control e instrumentación de la faja tubular.

El funcionamiento del sistema de transporte es fácilmente de monitorizar a través de un sistema de control cuyos instrumentos los describimos a continuación: un detector de rotura de faja en el área de carga de alimentación de la faja tubular y otro en la zona de descarga y final de la guía del material de la faja tubular.

Interruptores de atoro en los chutes: La función será detectar el atoro de material en los chutes si existiese algún bloqueo en la faja o si por algún motivo el material se acumula en el chute hasta alcanzar niveles altos.

Interrupciones de desalineamiento de la faja tubular: Cerca a las poleas de accionamiento en cola y cabeza habrán un par de interruptores de desalineamiento que aseguren que las fajas estén correctamente centradas sobre las poleas. Sensor de sobrecarga de material: Después de la carga del material en la faja tubular, la altura del material que sale de las guías de material, es monitoreado por un sensor de nivel cuya función es evitar la sobre carga de material. Detector de velocidad cero: Se equipará a dos poleas libres (sin accionamiento) con un detector de velocidad cero (una al inicio y otra al final). Como cada polea es una polea libre, solo girará arrastrado por la faja cuando el sistema este funcionando. Si por algún motivo fuera de lo normal (la faja se afloja) la polea se detiene o pierde velocidad a pesar de que el sistema este en actividad entonces el sensor de velocidad ubicado en la polea detectará la falla. Detectores de proximidad (Interruptores de límite de posición). El recorrido del carro tensor en la torre de tensión estará limitado por interruptores de límite regulables. Un sistema de PLC monitorea todas las señales de los instrumentos y permiten monitorear el correcto funcionamiento de la faja.

5.3.7.-Esquemas del diseño de la faja tubular.

Los esquemas que permiten visualizar la trayectoria o recorrido de la faja tubular se presentan en los anexo 3, 4, 5 y 6.

5.4.- Diseño de torre de transferencia en la descarga de concentrado de mineral de la faja tubular hacia la faja del muelle.

5.4.1.-Diseño de chute de transferencia en la descarga.

5.4.1.1.-Consideraciones para el diseño del chute de transferencia de concentrado de minerales.

Las consideraciones para el diseño de chutes los podemos observar en el ítem 5.2.1.1. Sin embargo para el diseño de este chute se ha considerado que durante un frenado de emergencia la faja correrá aproximadamente 10 a 12 segundos antes de detenerse debido a la inercia del movimiento, por lo que es necesario que el chute este diseñado con mayores dimensiones con el segundo objetivo de almacenar el material descargado por la faja tubular durante este tiempo.

5.4.1.2.-Esquema del diseño de chute de transferencia.

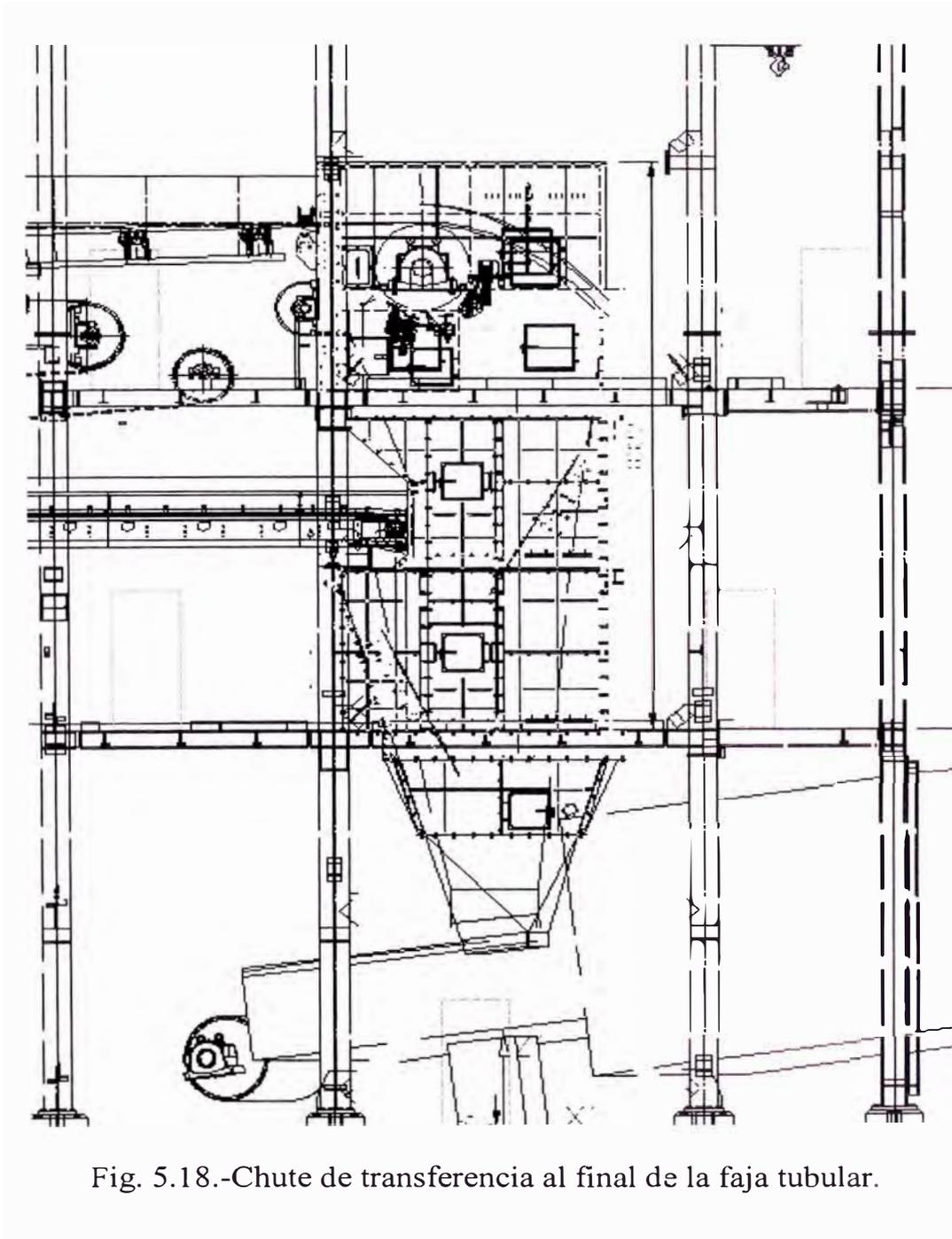


Fig. 5.18.-Chute de transferencia al final de la faja tubular.

5.5.-Diagrama de flujo mecánico general del diseño

El Diagrama de flujo general de funcionamiento del sistema de transporte de concentrados se presenta en el anexo 9.

Conclusiones

1.-Resulta factible a través de la aplicación directa de las formulas y procedimientos de cálculo establecidos en las normas DIN, diseñar y calcular un sistema de transporte a través de fajas alimentadora y tubular obteniéndose los mismos resultados que se obtiene por aplicación directa del programa computacional de diseño de sistemas transportadores propia de las empresas especialistas.

2.-De los procedimientos de cálculo de tensiones en las fajas aplicados en los items 5.1.1.2 y 5.3.5 del presente informe podemos concluir si la potencia motriz es instalada en ambas poleas (cola y retorno) esto reducirá las tensiones de la faja durante el transporte.

3.-Del procedimiento de cálculo para obtener la distancia de separación adecuada para las estaciones de rodillos aplicada en el ítem 5.3.4 apartado “b”, se puede concluir que a mayor tensión de faja es mayor la distancia requerida entre las estaciones de rodillos, por lo tanto significa ahorro en Numero de rodillos y estaciones estructurales para estos.

4.-Al iniciar el diseño de un sistema transportador por faja, existen factores importantes que deben ser definidos en función al análisis, la experiencia y los requerimientos del cliente: como por ejemplo la velocidad de la faja, la flecha que se forma en la faja entre estaciones de rodillos, el % de llenado de la faja tubular, el flujo másico requerido para el diseño, etc.

5.-De los cálculos de las tensiones en la faja alimentadora o de recepción, presentada en el ítem 5.1.1.2 se puede concluir que la resistencia al movimiento en la zona de retorno de la faja alimentadora tiene valores No apreciables (aproximadamente 3.6% de la resistencia total). Esto se debe a la disposición extendida que hace que la zona de retorno brinde muy poca resistencia al movimiento.

6.-De los cálculos de las tensiones en la faja tubular presentados en el 5.3.5 se puede concluir que la resistencia al movimiento en la zona de retorno de la faja tubular tiene valores muy apreciables (aproximadamente 20% de la resistencia total). Esto se debe a la gran longitud de la faja pero principalmente al hecho que las estaciones (de rodillos) de retorno son exactamente iguales en número y oposición al movimiento de la faja que las estaciones superiores de ida.

7.-El peso tensor cumple una función muy importante durante el transporte, permite un buen contacto entre las poleas y la faja, mejora notablemente la adherencia e influye directamente en el coeficiente de fricción faja – polea, tal como se puede apreciar en la tabla 4.4.

Recomendaciones

1.-Un sistema de transporte de concentrado de minerales a través de una faja tubular que una los almacenes del callao y el muelle y además un equipo cargador de barcos especializado para tal fin ubicado en el muelle, resultan una alternativa técnicamente posible y permitirá solucionar el problema de contaminación en el puerto que está pendiente hace muchas décadas.

2.-El “flujo másico” es el principal parámetro de medición durante el transporte y permite conocer la cantidad de concentrado de mineral que se exporta, por lo que se hace necesario que el equipo seleccionado para tal fin cuente con una precisión muy adecuada.

Anexos

Anexo 1: Partes de un sistema de faja transportadora

Anexo 2: Sistema de recepción de concentrado de minerales y alimentación
hacia faja tubular

Anexo 3: Vista de planta – Trayectoria de faja tubular

Anexo 4: Vista de elevación – Recorrido de faja tubular

Anexo 5: Estación inicial – Faja tubular

Anexo 6: Estación final – Faja tubular

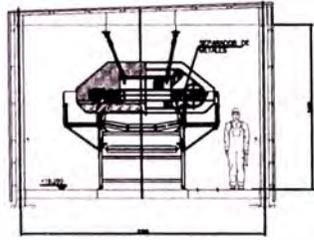
Anexo 7: Hojas de datos faja tubular y faja alimentadora

Anexo 8: Hoja de datos motor de faja tubular

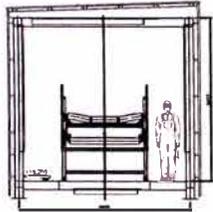
Anexo 9: Diagrama de flujo mecánico recepción de concentrado y faja tubular

H

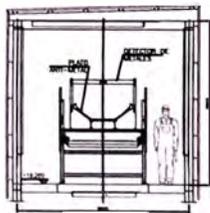
C



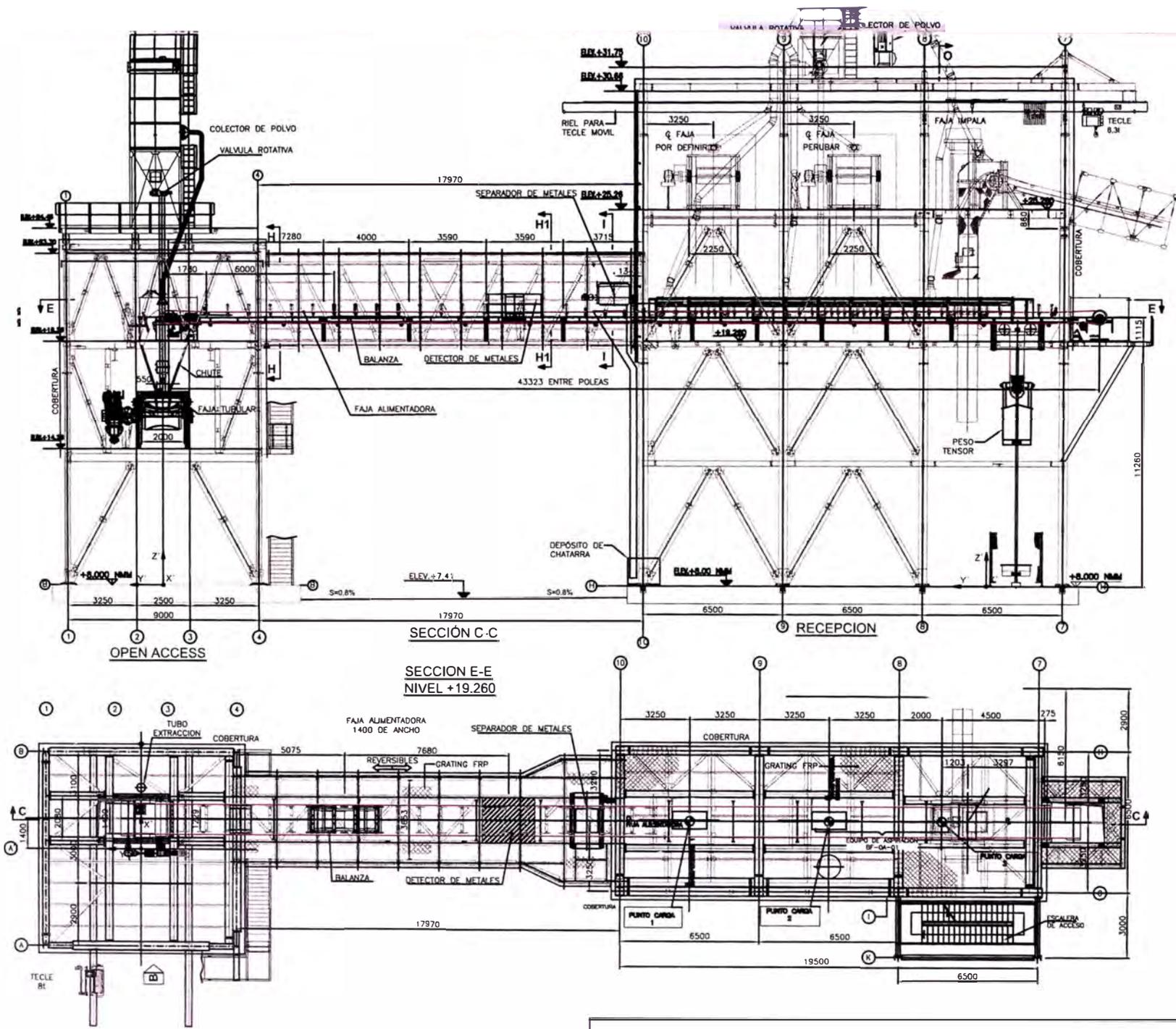
SECCIÓN I-I



SECCIÓN H-H

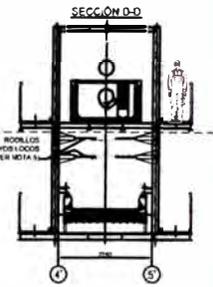
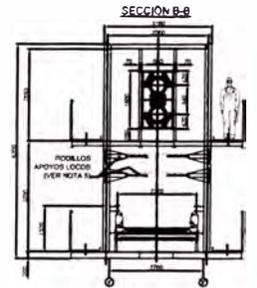
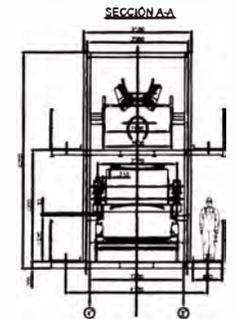
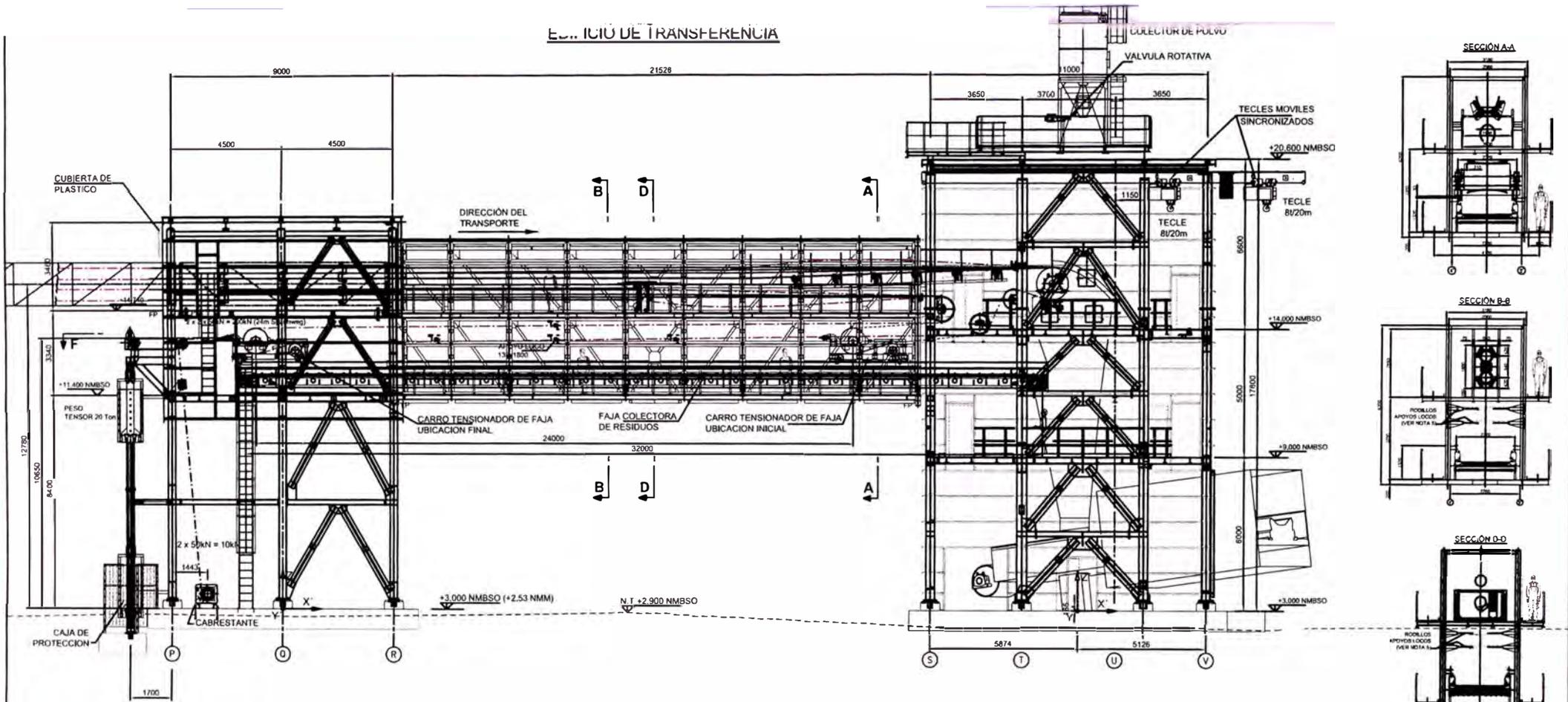


SECCIÓN H1-H1

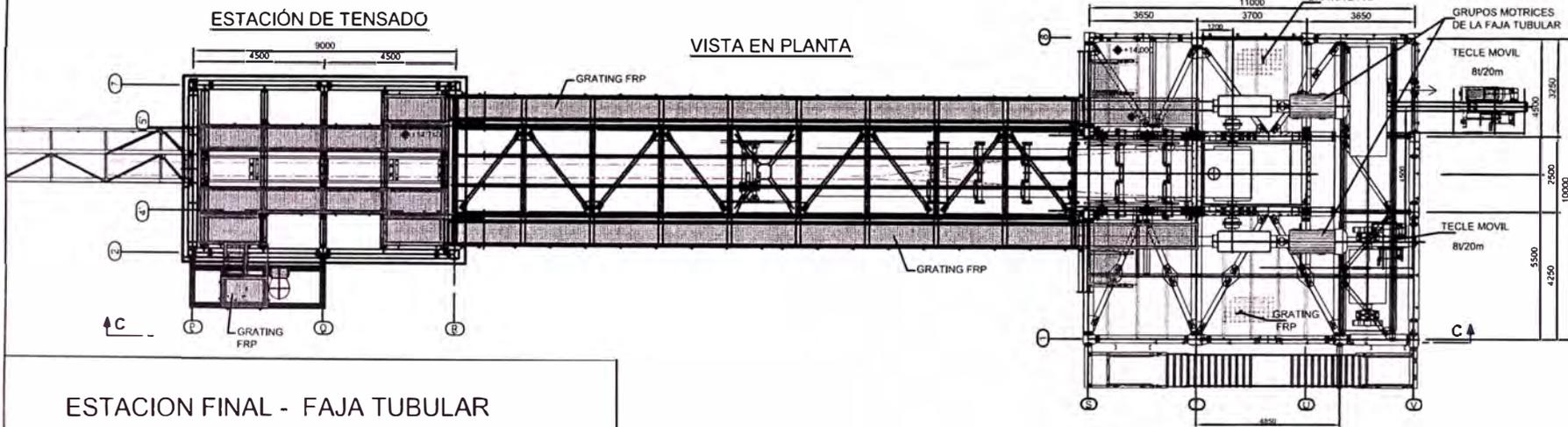


SISTEMA DE RECEPCION DE CONCENTRADO DE MINERALES Y ALIMENTACION HACIA FAJA TUBULAR

ESTACION DE TRANSFERENCIA



ESTACION DE DESCARGA
NIVEL +14.000



ESTACION FINAL - FAJA TUBULAR

TECHNICAL DATA

Company: _____

PHOENIX Textile Conveyor Belt

1600 E P 2000 / 4 5/1,5/3 Pipe X

| | | | | |
|-----------|--|---------------------------|-------------|-------------------|
| 1. | Belt Sizes | Standard | | |
| 1.1 | Width | DIN 22 102 | 1600 | ± 16mm |
| 1.2 | Thickness | | 17,8 | -1,7/+1,7mm |
| 1.3 | Number of Plies | | 4 | |
| 1.4 | Belt Weight | appr. | 32,5 | kg/m |
| 2. | Belt Characteristic | | | |
| 2.1 | Breaking Strength | | ≥ 2000 | N/mm |
| 2.2 | Elongation at Break | | ≥ 10 | % |
| 2.3 | Reference Elongation [at 10% Breaking Force] | | ≤ 3,0 | % |
| 3. | Cover Rubber | | | |
| 3.1 | Thickness of Top Cover | DIN 22 102 | 5 | -0,3mm |
| 3.2 | Thickness of Bottom Cover | DIN 22 102 | 3 | -0,2mm |
| 3.3 | Tensile Strength | DIN 53 504 | ≥ 22,0 | N/mm ² |
| 3.31 | Tensile Strength after 7d/70°C | DIN 53 508 | ≥ 16,5 | N/mm ² |
| 3.4 | Elongation at Break | DIN 53 504 | ≥ 450 | % |
| 3.41 | Elongation at Break after 7d/70°C | DIN 53 508 | ≥ 337 | % |
| 3.6 | Hardness | DIN 53 505 | 60 ± 5 | ° Shore A |
| 3.7 | Abrasion | DIN 53 516 | ≤ 110 | mm ³ |
| 3.8 | Density | DIN 53 479 | 1,09±0,02 | g/cm ³ |
| 4. | Adhesion (as Received / after Thermal Treatment 7d/70°C) | | | |
| 4.1 | Top Cover / Ply | DIN 22 102 | ≥ 4,5 / 3,4 | N/mm |
| 4.2 | Between the Plies | DIN 22 102 | ≥ 5,0 / 3,8 | N/mm |
| 4.3 | Bottom Cover / Ply | DIN 22 102 | ≥ 4,5 / 3,4 | N/mm |
| 5. | Belt Splice (recommended) | acc. to DIN 22 102 Part 3 | | |
| 5.1 | Number of Steps | | 3 | |
| 5.2 | Step Length / Splice Length | | 350 / 1150 | mm |
| 5.3 | Surplus per Splice optional: +0,3xBelt Width (if required) | | 500 | mm |
| 5.4 | Nominal Strength of Splice (% of the Nominal Belt Breaking Strength acc. to DIN 22 102 part 1) min. | | 75 | % |

Date: 15-Mai-12 *Labes* skorwad



Dr. Nordmann GmbH

EP 630/4-8+3

DESCRIPTION:

Heavy duty conveyor belt, rubber with E (polyester) P (polyamide) fabric plies.

MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES:

| | | |
|-----------------------------|---|------------------------------|
| Number of plies | : | 4 |
| Top cover thickness | : | ± 8 mm |
| Bottom cover thickness | : | ± 3 mm |
| Total thickness | : | ± 15 mm |
| Hardness | : | ± 60° Shore A |
| Specific weight | : | ± 1,15 gr. / cm ³ |
| Abrasion | : | < 150 mm ³ |
| Tensile strength lengthways | : | > 630 kg. / cm |
| Adhesion fabric to fabric | : | 11 kg. / cm |
| Adhesion rubber to fabric | : | 9 kg. / cm |
| Rubber quality | : | Y |
| Profile height | : | - |
| Profile width | : | - |
| Profile drawing | : | - |



hoja de datos de motores

Datasheet for three-phase motors

datos de pedido 1PQ8403-4PB90-Z

Ordering data: A64+A80+C21+G50+H88+K09/K10+K45+K57+L2X+M27+M51+Y54+Y81+Y82

número de pedido del cliente / *Client-order-*

número de pedido Siemens / *Order-no.:*

número de oferta / *Offer-no.:*

observación / *Remarks:*

número de ítem / *Item-no.:*

número de envío / *Consignment-no.:*

proyecto / *Project:*

Datos eléctricos / Electrical data:

null / Type data:

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| null | 644 kW |
| Motor power P | |
| clase de temperatura / utilización | 155(F) to 155(F) |
| Thermal class / utilisation | 155(F) to 155(F) |
| tensión nominal U D/Y | abnormal voltage |
| Rated motor voltage U D/Y | - / - VY / 440 VD |
| frecuencia f | 60 Hz |
| Frequency f | |
| velocidad n | 1792 1/min |
| Speed n | |
| par M | 3436 Nm |
| Motor torque M | |
| corriente I | VY VD |
| Motor current I | 992 A |

datos nominales / Ratings:

| | |
|--|---------------------------|
| potencia nominal P _n | 644 kW |
| Rated motor power P _n | |
| clase de temperatura / utilización | 155(F) to 155(F) |
| Thermal class / utilisation | 155(F) to 155(F) |
| factor de servicio | 1.0 |
| Service factor | |
| velocidad nominal n _n | 1792 1/min |
| Rated motor speed n _n | |
| par nominal M _n | 3436 Nm |
| Rated motor torque M _n | |
| corriente nominal I _n | VY VD |
| Rated motor current I _n | null |
| corriente arranque/nominal/I ₁ | 6.50 |
| Starting-/rated motor current I ₁ | |
| par máximo/nominal/M ₁ | 2.70 |
| Breakdown-/rated motor torque M ₁ /M _n | |
| par de arranque/nominal/M ₁ | 1.90 |
| Starting-/rated motor torque M ₁ /M _n | |
| clase de eficiencia IE según 60034-30 | none |
| IE Efficiency class in acc. to 60034-30 | none |
| carga parcial P/P _n | 5/4 4/4 3/4 2/4 |
| Partial load P/P _n | |
| null | 96.4 96.6 96.2 |
| Efficiency η in % in acc. to IEC 60034-2-1 | |
| factor de potencia | 0.89 0.88 0.88 0.83 |
| Power factor cos φ | |

Datos mecánicos / Mechanical data:

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| momento de inercia J _{rot} | 13.0 kg*m ² |
| Moment of inertia J _{rot} | |
| material rotor | Al |
| Rotor winding material | |
| diseño rodamientos | ball bearing |
| Bearing design | ball bearing |
| tipo rodamiento LA/LCA | 6224 C3 / 6224 C3 |
| DE/NDE bearing design | |
| sentido de giro | right |
| Direction of rotation | right |
| null | 6000 h / 40 g |
| Relubrication interval/quantity | |

Condiciones ambientales / Site conditions:

| | |
|-------------------------------------|---------|
| temperatura ambiente K _a | 40 °C |
| Coolant temperature K _a | |
| altura sobre el nivel del mar | 1,000 m |
| Altitude above sea level | |

Los datos técnicos de pedido están sujetos a cambios. Podrían haber discrepancias entre los valores calculados y los datos de placa!
 Technical and ordering data are subject to change. There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

Datos generales / General data:

| | |
|----------------------------|--|
| null | 400 |
| Frame size | |
| null | IC 416 - air, rib cooled, external fan |
| Method of cooling | |
| clase de servicio | converter w/o filter |
| Type of operating | converter w/o filter |
| forma constructiva | IM B3 |
| Type of construction | IM B3 |
| tipo de protección | IP55 |
| Degree of protection | |
| peso total | 2900 kg |
| Total weight | |
| pintura | special coating |
| Coating | special coating |
| color | see at special configurations |
| Colour | |
| tipo de protección ATEX | none |
| Type of ex-protection | none |
| normas/especificaciones | IEC, DIN, ISO, VDE, EN |
| Standards / specifications | IEC, DIN, ISO, VDE, EN |

Caja de bornes / Terminal box:

| | |
|---|-------------------------|
| tipo de caja de bornes | 1XB1 631 |
| Type of terminal box | |
| máxima sección de cable a conectar | 240 mm ² |
| Max. cable cross-sectional area | |
| rosca del tornillo de contacto | M16 |
| Terminal screw thread | |
| diámetro de cables de entrada de... a □ | 56,0 ... 68,5 |
| Cable diameter from ... to ... | |
| entradas de cable | 4 x M80x2 + 2 x M25x1,5 |
| Cable entry | |

versiones especiales y pruebas Special configurations and tests

| | |
|---------|--|
| L2X | 440 VD 60 Hz, potencia en placa 60Hz 440 VD 60 Hz, 60-Hz-output |
| A64 | 6 resistance thermometers PT 100 Pt 100 for 3- or 4- wire connection from auxiliary terminal box without lightning arresters for round wire winding 6 resistance thermometers PT 100 Pt 100 for 3- or 4- wire connection from auxiliary terminal box without lightning arresters for round wire winding |
| A80 | 2x 2 resistance thermometers Pt100 for 3- wire connection from auxiliary terminal box for rolling-contact bearing 2x 2 resistance thermometers Pt100 for 3- wire connection from auxiliary terminal box for rolling-contact bearing |
| G50 | Adaptador para medidor de vibraciones en rodamientos SPM Shock pulse measurement (SPM), measuring nipple |
| H88 | Montaje de encoder HOG 11 DN 1024 I (16mm) con protección especial para la corrosión Encoder HOG 11 DN 1024 I (16mm) with special corrosion protection |
| K09/K10 | Caja de bornes lateral a la derecha (K09) / izquierda (K10) Terminal box on right-hand side (K09) / left-hand side (K10) |
| K45 | Resistencia de calefacción 230V Anti-condensation heater, rated voltage 230 V |
| K57 | Prensaestopas DIN 89280, equipamiento máximo Cable entry DIN 89280 |
| M27 | Tomillería externa de acero inoxidable External bolts made of stainless steel |
| Y54 | RAL 9005 - Pintura especial en otros colores RAL special coating in RAL |
| Y81 | 440V / 60HZ - Ventilación forzada con otra tensión y/o frecuencia Special voltage, frequency of motor for separately driven fan, V/Hz |
| Y82 | 611-0310 - Placa adicional con datos indicados por el cliente Additional rating plate, with customer's specifications |
| M51 | Caja de bornes 1XB9015 (Stainless-Steel) Auxiliary Terminal Box 1XB9015 (Stainless-Steel) |
| C21 | 2 electrically separate winding systems |

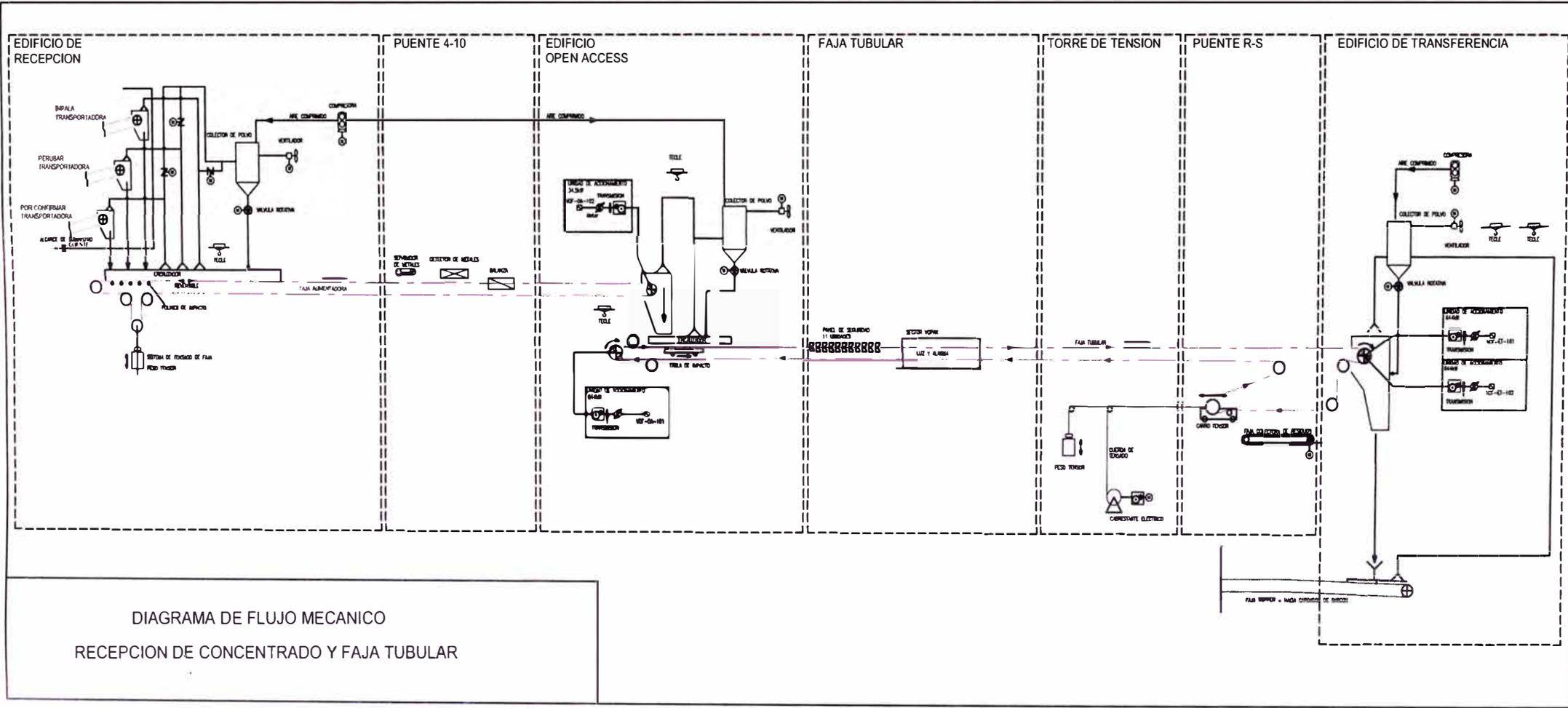


DIAGRAMA DE FLUJO MECANICO
 RECEPCION DE CONCENTRADO Y FAJA TUBULAR