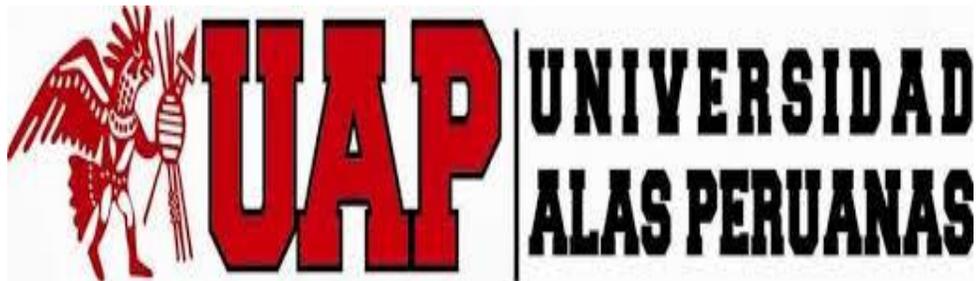


**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DERIVACIÓN COMPUESTO EN LA  
OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE PUZOLANA EN LA EMPRESA  
YURA S.A. DISTRITO – YURA, AREQUIPA, 2016**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
SANDRO CHIGUAY MAMANI  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AREQUIPA – PERÚ**

**2016**

Este trabajo se lo dedico a mis padres y  
hermanos, porque con su apoyo,  
comprensión y enseñanzas puedo seguir  
adelante

Agradezco a mis profesores y amigos con quienes pude aprender y complementar los conocimientos necesarios para la culminación de la carrera.

## RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de la complementación de los conocimientos adquiridos durante mis años como estudiante; aplicados de manera concertada en el diseño de un sistema de derivación compuesto que optimizará el proceso productivo dentro de la empresa YURA S.A.

El objetivo es diseñar e implementar un sistema bypass conformado por una banda transportadora, chutes de descarga y ductos de des-polvorización, que comuniquen dos líneas de producción directamente evitando su paso por un proceso adicional y no necesarios como es un molino secundario de molido.

En relación al nivel de investigación, es descriptiva; el presente trabajo está orientado a la aplicación de decisiones sobre un sistema existente que debe ser modificado para optimizar su funcionamiento.

Sobre los resultados obtenidos, se logró implementar el sistema de manera exitosa; incorporando algunas modificaciones sobre el sistema existente, pero asegurando su funcionalidad y operatividad.

La implementación de este sistema compuesto pudo bien optimizar la utilización de los recursos de manera eficiente y el ahorro de energía producto del consumo de los molinos secundarios que ya no será necesario su uso como parte de la línea de producción.

Este trabajo recoge la información de distintos textos, notas de autores y normativa internacional relacionado al sistema compuesto que se propuso en bien implementar. Estando seguro que esta investigación y procesamiento de información será de gran utilidad para la empresa y también para el amplio campo de la Ingeniería Mecánica; se les brinda a ustedes este material para su estudio.

## **ABSTRACT**

This work is the result of complementation of the knowledge acquired during my years as a student. Applied in a concerted manner in the design of a referral system will optimize the compound production process within the company YURA S.A.

The objective is design and implement a bypass system consists of a conveyor belt, discharge chutes and ducts communicate des-dusting, two production lines directly avoiding an additional process step and is not required as a secondary grinding mill.

Regarding the level of research is descriptive, the present work is aimed at the implementation of decisions on an existing system should be modified to optimize its performance.

On the results obtained, it was possible to implement the system successfully, incorporating some modifications on the existing system, but ensuring its functionality and operability.

The implementation of this composite system could further optimize the use of resources efficiently and saving energy consumer product side mills use as part of the production line will no longer be necessary.

This work collects information from different texts, notes author and international standards, related to the composite system was proposed in well implemented. Being sure that this investigation and processing of information will be useful for the company and for the broad field of mechanical engineering, it is given to you this material for study.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	ix

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción real del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial	2
1.2.2. Delimitación temporal	2
1.2.3. Delimitación cuantitativa	2
1.3. Problema de la investigación	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. Objetivo de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis de la investigación	4
1.5.1. Hipótesis general	4
1.5.2 Variables e indicadores	4

1.5.3. Operación y análisis de la hipótesis	5
1.6. Diseño de la investigación	6
1.7. Técnicas, material, fuentes, análisis y recolección	6
1.8. Justificación de la investigación	7
1.8.1. Justificación teórica	7
1.8.2. Justificación ambiental	7
1.8.3. Justificación económica	8
1.8.4. Justificación legal	8

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.1.2. Alcances de la investigación	9
2.2. Bases teóricas	12
2.3. Descripción general del proceso	16

## CAPÍTULO III

### CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

3.1. Bandas transportadoras: generalidades	21
3.2. Ductos de despolvorización	68
3.3. Tolvas de descarga (chutes)	89
3.4. Análisis Estructural: Criterios de diseño	95
3.5. Cargas variables: Teoría de fatiga	104

## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN

4.1. Cálculo de la banda transportadora	127
---	-----

4.2. Cálculo de los ductos de despolvorización	138
4.3. Cálculo de la tolva de descarga	162
4.4. Análisis de las cargas por fatiga	171
4.5. Diseño y cálculo de la estructura funcional del sistema	175

## CAPÍTULO V

### DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

5.1. Descripción de los alcances del proyecto	185
5.2. Descripción de las fabricaciones y montaje	185
5.3. Interpretación de planos	187
5.4. Evaluación del montaje	187
5.5. Sistemas de prevención y seguridad	188

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN

6.1. Descripción de costos de fabricación y montaje	190
---	-----

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	198
--------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	200
--------------	-----

MATRIZ DE CONSISTENCIA	201
------------------------	-----

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	202
--------------------------	-----

GLOSARIO DE TÉRMINOS	209
----------------------	-----

ANEXOS	211
--------	-----

Anexo 1. Tablas	211
-----------------	-----

Anexo 2. Figuras	218
------------------	-----

Anexo 3. Planos	225
-----------------	-----

Anexo 4. Plan de puntos de inspección	229
---------------------------------------	-----

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo titulado “Diseño de un sistema de derivación compuesto en la optimización del transporte de puzolana en la empresa Yura S.A. distrito – Yura, Arequipa, 2016” tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de derivación que comunique de manera directa dos líneas de producción sin alterar los tiempos, carga de material transportado y velocidad de transporte. Para lo cual se plantea el diseño y la implementación del sistema.

En relación al nivel de investigación es descriptiva. El presente trabajo está orientado a la aplicación de decisiones sobre un sistema existente que debe ser modificado para optimizar su funcionamiento.

Así mismo, para el desarrollo del proyecto se recoge información de distintos medios evocados al diseño, normativa vigente nacional e internacional, que es de carácter público y puede ser consultado de manera verídica y eficaz.

En el Capítulo I, encontramos la descripción del problema, el lugar de aplicación, la metodología de investigación usada, así como también los objetivos de la presente y la hipótesis planteada en solución al problema presentado.

En el Capítulo II y III, contrastamos la información usada para el presente trabajo. De manera general, definimos los alcances de la investigación y la descripción general del proceso. Y de manera específica, delimitamos cada elemento del sistema, funcionamiento, diseño y construcción.

El Capítulo IV, V y VI evoca los cálculos del sistema; individual y en conjunto, la descripción de la implementación, el montaje y el análisis de los costos del sistema de derivación.

Cabe mencionar que el presente trabajo tiene por bien brindar de manera general y específica un sistema que se podría modificar y maximizar, de manera que se conseguiría implementar en otros sistemas de similares características.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Velocidades del cinturón máximas recomendadas	22
Tabla 3.2. Fluidiez, ángulo de descarga y de reposo	24
Tabla 3.3. Descripción de la clasificación de los materiales	28
Tabla 3.4. Servicio de calidad de la cubierta de la faja	53
Tabla 3.5. Valores de tensión para fajas de pliegues	55
Tabla 3.6. Factor de corrección Kc (para el ejemplo)	118
Tabla 4.1. Datos de diseño	127
Tabla 4.2. Datos resaltantes dentro del sistema	138
Tabla 4.3. Tabla de datos	140
Tabla 4.4. Datos sobre accesorios (A)	148
Tabla 4.5. Datos sobre accesorios (B)	153
Tabla 4.6. Datos sobre accesorios (C)	159
Tabla 4.7. Ángulos para paredes de chutes y tolvas ( )	167
Tabla A. Característica del material y peso por pie cúbico	211
Tabla B. Peso de polea soldada de tambor de acero	212
Tabla C. Velocidades recomendadas para diseños de ductos	213
Tabla D. Selección de motores: marca SIEMENS	213
Tabla E. Factor de arrollamiento, Cw	214
Tabla F. Peso de faja estimado promedio con pliegues múltiples y reducidos, lb/pie	214
Tabla G. Peso promedio (lbs) de las partes rotatorias de rodillos abarquillados – rodillos de acero	215
Tabla H. Diámetros equivalentes para conductos regulares	215
Tabla I. Factor corregido Ky	216
Tabla J. Cálculo de diámetros y pérdidas de carga	217

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso productivo	20
Figura 2. Área de carga de la sección transversal	27
Figura 3. Nomenclatura de los componentes de una faja transportadora típica	31
Figura 4. Tipos de poleas para faja transportadora	58
Figura 5. Esquema de funcionamiento	80
Figura 6. Esquema de trabajo con múltiples colectores	87
Figura 7. Espaciamientos e Inclinaciones para transportadores	93
Figura 8. Momento de resistencia elástico o plástico	99
Figura 9. Diagrama elasto-plástico hasta rotura de un dintel metálico continuo en función de la clase de las secciones metálicas	100
Figura 10. Anchura eficaz	103
Figura 11. Esfuerzos variables en un eje girando sometido a un esfuerzo flector constante	105
Figura 12. Árbol de transmisión de potencia	106
Figura 13. Ensayo de fatiga por flexión giratoria y diagrama de WOHLER	108
Figura 14. Diagrama S-nc, para un material sin límite de fatiga	110
Figura 15. Factores de superficie para el acero	114
Figura 16. Sección "I"	116
Figura 17. Dispersión de los valores experimentales	117
Figura 18. Sistema de derivación bypass	126
Figura 19. Área de carga de la sección transversal	128

Figura 20. Dimensiones generales de la línea de despolvorización	140
Figura 21. Dimensionamiento para chutes de descarga	168
Figura 22. Dimensionamiento, distribución de agujeros en bridas y planchas anti-desgaste	169
Figura 23. Distribución de planchas anti-desgaste	170
Figura 24. Cálculo de la polea de cabeza para la banda transportadora	171
Figura 25. Puntos para el establecimiento de cargas en la polea	173
Figura 26. Elemento de sección circular con cambio de sección	174
Figura 27. Perfil adecuado para el soporte de la estructura	176
Figura 28. Vista lateral de faja transportadora	178
Figura 29. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 1	179
Figura 30. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 2	181
Figura 31. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 3	183
Figura A. Pérdidas por fricción en mmcda/mm	218
Figura B. Factor de corrección por rugosidad de conducto	219
Figura C. Coeficiente de pérdidas en codos de sección circular	220
Figura D. Coeficiente de pérdidas en codos de sección cuadrada y rectangular	220
Figura E. Coeficientes de pérdida en empalmes y sombreretes	221
Figura F. Ganancia de presión estática en ensanchamientos y estrechamientos	222
Figura G. Longitudes equivalentes de accesorios en metros	223
Figura H. Coeficientes y factores de pérdidas en entradas al sistema	224

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operación y análisis de la hipótesis	5
Cuadro 2. Análisis de costos de fabricación, chutes de transferencia y ductos de despolvorización	192
Cuadro 3. Análisis de costos de fabricación, ductos de despolvorización y faja transportadora	193
Cuadro 4. Análisis de costos de fabricación, acabado superficial y pintura, resumen de costos de fabricación	194
Cuadro 5. Análisis de costos de montaje, trabajos previos al montaje y chutes de transferencia	195
Cuadro 6. Análisis de costos de montaje, ductos de despolvorización y faja transportadora	196
Cuadro 7. Análisis de costos de la implementación del sistema de derivación, resumen de costos de fabricación y montaje	197
Cuadro 8. Matriz de consistencia	201
Cuadro 9. Obras preliminares: zona de fabricación	202
Cuadro 10. Obras de montaje y puesta en marcha	203
Cuadro 11. Matriz de identificación y evaluación de aspectos ambientales	204
Cuadro 12. Manejo de residuos sólidos	208

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción real del problema**

En la empresa Yura S.A. se implementó recientemente una chancadora primaria en la zona de canteras, lugar de extracción de materia prima para la producción del cemento; es el caso de la tiza, yeso y puzolana, siendo esta última el material base para la producción del cemento.

En la actualidad en la zona de canteras con la chancadora recientemente instalada, se produce puzolana granulada de 2 pulgadas, a lo que anteriormente se producía puzolana de 4". Con el tamaño de grano actualmente procesado, se evitaría el uso de molinos secundarios ubicados más adelante en la línea de producción con los molinos Krupp y O&K, que tienen la función de producir materia prima granulada a dos pulgadas. Una vez obtenido el material proveniente de canteras con las características propias, este se traslada mediante contenedores hacia el área de almacenaje nº1, para posteriormente ser trasladado mediante fajas transportadoras hacia el área de concentración para la obtención del Clíinker. Para lo cual, esta línea de producción debía pasar necesariamente por los

molinos secundarios Krupp y O&K antes de la última línea de almacenaje (materia prima para la obtención de Clinker). Por tanto, es necesaria diseñar e implementar un sistema Bypass, que evite a los molinos secundarios y alimente directamente la línea de descarga a Clínger.

Es por tal motivo que del problema observado se plantea el diseño e implementación de un sistema de derivación Bypass que optimizará la línea de producción. El cual está conformado por una banda transportadora, chutes de descarga y ductos de despolvorización que reduzcan la emanación de polvo al ambiente, siendo estos dos últimos elementos motivos de investigación, al existir escasa información sobre su funcionamiento y aplicación.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

Para la presente investigación, se tuvo que observar y recolectar información al interior de la empresa Yura S.A. que se ubica en el distrito de Yura, a las afueras de la ciudad de Arequipa, en el departamento de Arequipa, Perú.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

La investigación se ubica en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, del año dos mil catorce, tiempo en el cual se llevó a cabo la investigación, diseño, ejecución y puesta en marcha.

### **1.2.3. Delimitación social.**

El proyecto iniciara el 18 de julio y culminará el 19 de septiembre del año dos mil catorce (2014).

### **1.3. Problema de la investigación**

#### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera puedo optimizar el tránsito de los materiales de la zona de almacenamiento n° 1, hacia la línea de producción de clínker, evitando el consumo innecesario de energía de los molinos secundarios Krupp y O&K?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo diseñar un sistema de derivación Bypass conformado por una banda transportadora, tolvas de descarga y ductos de despolvorización de un modo adecuado?
- ¿De qué manera se optimizará el tránsito del material de la zona de almacenaje hacia la línea de producción?
- ¿De qué manera se implementará el sistema derivación compuesta Bypass, conformado por una banda transportadora, chutes de descarga y ductos de despolvorización?

### **1.4. Objetivo de la investigación**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar el sistema de derivación bypass, conformado por la banda transportadora, chutes de descarga y ductos de despolvorización, que comunique directamente la línea de descarga del almacén n°1 y la línea que descarga hacia el área de concentrado para la producción de Clínter evitando ese modo tránsito del material por los molinos secundarios y el consumo de energía generado por estos.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Demostrar el diseño del sistema de derivación - bypass es el más adecuado para ser implementado en esta línea de proceso.
- Optimizar el tránsito del material de la zona de almacenamiento n° 1 hacia la línea de producción.

- Analizar los diferentes tipos de sistemas de derivación que se pueden encontrar en el mercado y seleccionar una alternativa adecuada, considerando los cálculos previos a la implementación. Implementar un sistema que reduzca el consumo de energía al momento de transportar el material de un nivel superior hacia otro inferior sin pasar por los molinos secundarios, con el fin de no utilizarlos en el proceso, puesto que el consumo de energía de ambos molinos es de 345 Kwatts al mes lo que originaba un gasto de 68123.88 soles mensuales, durante un funcionamiento de 22 horas al día, durante los 7 días de la semana, salvo paradas planificadas para cambio de planchas dentadas o mantenimiento programado del equipo y/o sistema. Lo que implicaría la necesidad de implementar este sistema de derivación el cual es necesario para el transporte de material granulado de 2 pulgadas.

## **1.5. Hipótesis de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

En la empresa YURA S.A. el diseño e implementación de un sistema de derivación que comunique ambas líneas de descarga del almacén n°1 y concentrado para la obtención de Clinker, optimizaría la línea de producción reduciendo el consumo de energía al evitar que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&K.

### **1.5.2. Variables e indicadores**

#### **- Variable independiente**

Diseño e implementación de un sistema de derivación

#### **- Variable dependiente**

Evitar que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&K.

### 1.5.3. Operación y análisis de la hipótesis

Cuadro 1. Operación y análisis de la hipótesis

HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>En la empresa Yura S.A. el diseño e implementación de un sistema de derivación que comunique ambas líneas de descarga del almacén n°1 y concentrado para la obtención de Clíinker, evitaría que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&amp;K.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Diseño e implementación de un sistema de derivación</p>	<p>-Sistema de transporte de material; bandas transportadoras, chutes de descarga. -Sistemas colectores de partículas. -Resistencia de materiales. -Cálculo estructural. -Análisis de cargas aplicadas en la estructura.</p>
	<p><b>Variable dependiente</b> Evitar que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&amp;K.</p>	<p>-Identificación de la necesidad y requisitos del sistema. -Características funcionales de la estructura. -Características operativas, antes y durante. -Evaluación de costos -Representación en planos.</p>

Fuente: Elaboración Propia.

## **1.6. Diseño de la investigación**

### **1.6.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación según Fernández Sampieri es descriptiva.

### **1.6.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es de tipo Descriptiva.

### **1.6.3. Método de investigación**

El método de investigación aplicado es Cualitativa.

### **1.6.4. Orientación de la investigación**

La investigación está orientada a decisiones.

### **1.6.5. Tiempo de ejecución**

Según el tiempo de ejecución es sincrónico.

### **1.6.6. Grado de abstracción**

Según el grado de abstracción es aplicada.

## **1.7. Técnicas, material, fuentes, análisis y recolección de datos**

### **1.7.1. Técnicas**

- Observaciones en campo
- Verificación de los requisitos funcionales
- Registro fotográfico
- Hojas técnicas de equipos

### **1.7.2. Material bibliográfico y documental**

- Alcances de la investigación
- Representación en planos

### **1.7.3. Fuentes**

- Verificar requisitos funcionales
- Alcances de la investigación
- Presentación en planos de la ingeniería básica

#### **1.7.4. Análisis y recolección de datos**

Se ubicara las variables correspondientes para los cálculos de elementos de transporte; además de considerar las relaciones entre factores de velocidad, desgaste por rozamiento, impacto y fricción, cuadros comparativos, gráficas, conclusiones y recomendaciones.

### **1.8. Justificación de la investigación**

#### **1.8.1. Justificación teórica**

El enfoque de la investigación es el diseño del sistema compuesto por una banda transportadora, tolvas de descarga y ductos de despolverización que cumplirán la función de derivación de la línea de descarga de puzolana granulada de 2", hacia la línea de concentrado para la obtención de Clinker, evitando así el tránsito del material por los molinos secundarios Krupp y O&K y su funcionamiento adicional injustificado; debido a que ambos molinos cumplen la función de disgregar puzolana a un tamaño de grano de 2".

#### **1.8.2. Justificación práctica**

Dentro del sistema de derivación propuesto se tiene el diseño de ductos de despolverización que cumplen la función de mitigar las emisiones de material pulverizado de puzolana generadas por el tránsito del mismo, al interior de las tolvas de descarga y banda transportadora.

Los ductos de despolverización canalizan las partículas emitidas hacia el filtro de mangas ubicado en la zona de trabajo de los molinos donde el pulverizado se asienta y nuevamente se reingresa al proceso.

### **1.8.3. Justificación económica**

El diseñar e implementar el sistema de derivación reducirá el consumo de energía usada por los molinos secundarios Krupp y O&K, al evitar que el material transite por los molinos y de ese modo pase directamente hacia la línea de alimentación para concentrado de Clinker, optimizando la línea de producción en función del tiempo y costo del traslado de materiales granulados.

### **1.8.4. Justificación legal**

Para el diseño y cálculos, se tomó como referencia la Norma Técnica Peruana E. 90 proporcionada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, según la Norma Legal 320943.

#### **Título:**

**“Diseño de un sistema de derivación compuesto en la optimización del transporte de puzolana en la empresa YURA S.A. distrito – YURA, AREQUIPA, 2016”.**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Elmer David Gonzales Orozco (2007). “Diseño y Montaje de una Cinta Transportadora de Sal en la Planta de la Empresa QUIMOALCALI, S.A. Ubicada en el Parcelamiento Santa Isabel Puerto San José”. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. Escuintla – Guatemala.

#### **2.1.2. Alcances**

Durante la observación de los múltiples sistemas de transporte y descarga de puzolana granulada, recolectada desde la zona de canteras y enviada hacia la zona de producción de Clinker, se presentan distintos elementos funcionales: como bandas transportadoras, tolvas de descarga, generalmente conocidas por su traducción en inglés como chutes, ductos de despolvorización, elevadores de cangilones y las unidades de transporte móvil conocidas como tampers (camiones con tolvas modificadas para el transporte de agregados).

Los sistemas que encontramos a lo largo de la línea de producción me dan a entender las características y requisitos que deben

cumplir los modelos que se deban implementar a la posteridad. Los cuales poseen indicadores generales: desgaste de bandas por uso e impacto, desgaste y fluidez del material en chutes de descarga evitando su atoro y mantenimiento prematuro, mitigación de emisiones de material pulverizado (polvo), capacidad de transporte, entre otros indicadores.

Teniendo presente estos requisitos podemos converger en soluciones que contribuyan a optimizar el proceso y no alterar o disminuir su estándar. Asumiendo estas características, se presenta el modelo de un sistema de derivación (bypass), ubicado en la zona de descarga de los molinos secundarios Krupp y O&K.

La función del modelo del sistema de derivación (bypass) es de transportar puzolana granulada de 2" de la línea de descarga del almacene n°1, hacia la línea de concentrado de materia prima para la obtención del Clinker, para lo cual debemos trabajar en base a ciertos requisitos que se encuentran implícitos en el sistema como la capacidad de transporte que debe ser de 900 tph, que es la capacidad que transporta la línea de descarga del material, además de la velocidad que debe de ser 1.8 mps y el largo total de la faja que es de 7 824 mm entre ejes de ambas líneas.

Los datos mencionados anteriormente se deben considerar para iniciar la investigación, planteamiento del modelo, ejecución del diseño e implementación del sistema.

Elmer David Gonzales Orozco (2007). "Diseño y Montaje de una Cinta Transportadora de Sal en la Planta de la Empresa QUIMOALCALI, S.A. Ubicada en el Parcelamiento Santa Isabel Puerto San José".

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. Escuintla – Guatemala.

La presente investigación plantea la elaboración de un diseño de banda transportadora para el transporte de sal al interior de la empresa QUIMOALCALI S.A., la cual también pretende su montaje y/o instalación de acuerdo a los estándares que se mencionan a detalle en esta investigación.

En la investigación, se observan distintos temas. En el Capítulo I, se da una introducción de las funciones, ejecución del material que procesa la empresa que como es la sal.

En el Capítulo II, podemos encontrar la descripción del proceso que se desarrolla con la materia prima como transporte, procesamiento al interior de la empresa, el ciclo que se da en la línea de producción para terminar luego así con su posterior embarque.

En el Capítulo III, se describe las características; descripción de la máquina; componentes de la cinta; característica de los elementos principales: motor, tambores, poleas, polines, banda, entre otros: además, la relación que presentan en un esquema de funcionamiento.

En el Capítulo IV, se presenta el diseño de la banda transportadora; los criterios y características iniciales para el inicio del modelo, como son la tensión que debe vencer la cinta para iniciar el movimiento, en vacío y con carga; determinar la potencia necesaria para iniciar el movimiento y su funcionamiento, capacidad de carga, peso de la carga, peso de los componentes, velocidad de la banda y cálculo de la estructura que soportara al sistema.

En el Capítulo V, abarca la descripción de la implementación y montaje, descripción de los alcances del proyecto, interpretación de los planos de evaluación de las fabricaciones y montaje, sistemas de prevención y de seguridad

El Capítulo VI, menciona los costos de la fabricación y el montaje. Como esta investigación presenta además del diseño la implementación del sistema, los temas que encontramos son las especificaciones técnicas, los factores técnicos, administrativos y económicos, además de considerar la seguridad y prevención de accidentes al estar en contacto con el modelo de diseño implementado.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Importancia de la investigación**

El modelo de diseño planteado para implementar en el sistema de descarga de puzolana, tiene el objetivo de optimizar la producción sin alterar la capacidad y velocidad de transporte del material.

Anteriormente, la línea de producción comprendía el tránsito del material por los molinos secundarios los cuales tenían la función de triturar la materia prima proveniente de canteras con una medida de granulado de 4", y convertirla así a un tamaño de 2", que es el requisito para el molino de rodillos que se encarga de la trituración y mezcla de los componentes como son la piedra caliza, yeso, puzolana, y pizarra para la obtención del Clinker de cemento.

Actualmente con la implementación de una nueva chancadora primaria en la zona de las canteras ubicada a 25 kilómetros de la planta cementera se ha logrado obtener materia prima granulada a 2"

optimizando la producción; es decir, se obviaría a los molinos secundarios que entregaban material granulado de 2" ubicados más adelante en la línea de producción.

Motivo por el cual se propone la investigación de un modelo de sistema de derivación (bypass), que permita el tránsito del material entre la línea de descarga de puzolana de 2" y la línea de alimentación para el concentrado de Clinker.

Este sistema contará con una banda transportadora, chutes de descarga y ductos de despolverización que mitiguen la emisión del material pulverizado al ambiente. La banda transportadora debe contar a su vez con un accesorio para aminorar el desgaste por impacto provocado por la caída de puzolana que será direccionada por los chutes de descarga a una pendiente de 55° (según norma técnica), recibidos de la línea de descarga de materia prima.

Acerca de los chutes de descarga y ductos de despolverización, la información para su cálculo y selección es escasa; esta investigación pretende también proporcionar información acerca del diseño, cálculo y selección de estos elementos y su funcionamiento dentro de un sistema de transporte de agregados.

### **2.2.2. Proceso de extracción**

La empresa Yura S.A. es un grupo empresarial dedicada a la producción de materiales de construcción como yeso, cemento portland tipo IP, cemento portland tipo HE, cemento portland tipo HS y Estucoflex. Estos productos en su particularidad tienen como componentes básicos a la piedra caliza, yeso, puzolana y pizarra, que son materiales obtenidos en sus canteras, las cuales se ubican

a unos 25 kilómetros de la planta cementera en el distrito de Yura, a las afueras de la Ciudad de Arequipa.

La explotación de estos materiales es tipo cielo abierto que para su obtención se utiliza explosivos y equipos mecánicos que permiten la extracción de la materia prima. Posteriormente, la materia prima extraída en estado natural, se procesa mediante molinos primarios y secundarios que tienen la función de homogenizar el tamaño del grano para poder ser trasladado y procesado más adelante.

En la zona de canteras podemos encontrar también trituradoras de impacto que cumplen similar función que los molinos, siendo otro proceso de triturado del material. Una vez que el material es granulado a las medidas requeridas este es transportado mediante unidades de transporte móvil como son los camiones con tolvas modificadas llanos tampers, los cuales llevan el material de la zona de canteras hacia la planta cementera para continuar con el proceso. Allí descargan el material en tolvas subterráneas que mediante bandas transportadoras trasladan el material a islas de almacenaje, para luego pasar hacia las líneas de concentrado para la obtención del Clinker.

Es en este tramo de la línea que se encuentran a dos molinos secundarios Krupp y O&K que al igual que los molinos de la canteras también tienen la función de homogenizar el tamaño del grano. Una vez ubicado el material en la zona de concentrado para la obtención del Clinker esta pasa a tolvas de contención vertical, donde se ubican los componentes para la mezcla, como son la tiza, pizarra, puzolana, piedra caliza y quinta tolva que contiene material mejorado para optimar la calidad del Clinker y la del cemento.

### **2.2.3. Impacto ambiental**

Dentro del proceso para la obtención del cemento se puede observar la emisión de material pulverizado en las distintas líneas de producción, molinos, transporte, mezcla, almacenaje, ensacado entre otros. Motivo por el cual se ve implementado en la mayoría de los procesos la colocación de filtros de mangas y ductos para despolvorización, los cuales tienen la función de canalizar el polvo hacia los filtros para luego reingresarlos nuevamente al proceso, cumpliendo entonces dos objetivos: optimización y reducción de emisiones.

No obstante, la mitigación de las emisiones no neutraliza por completo la emisión de las partículas de polvo, lo que originaría un daño a la salud al estar en contacto con estos elementos. El daño más próximo que puede darse es padecer de enfermedades respiratorias, como alergias, infecciones y neumoconiosis, siendo esta última considerada una enfermedad ocupacional, cuya condición se origina por la inhalación de polvos orgánicos o partículas de carbón que conllevan a la infección del tejido pulmonar.

#### **Prevención**

Para el trabajador expuesto durante su jornada laboral a respirar polvo que contenga o pueda contener sílice cristalina se hacen necesarias una serie de recomendaciones que deberá seguir. Es importante recordar que la neumoconiosis y silicosis son enfermedades que no tiene cura pero con la obligada información y las medidas correctas puede evitarse. Recomendaciones:

- Higiene personal: siempre tratando de estar expuesto el menor tiempo posible al polvo. Lavarse las manos con frecuencia es muy

aconsejable. Bañarse y cambiarse de ropa al acabar la jornada es de suma importancia. La ropa utilizada en el trabajo debe quedarse en el trabajo.

- Evite comer en espacios que puedan contener sílice.

No obstante, también se ha implementado otros sistemas que mitigan estas emisiones, como son los faldones y cubiertas los cuales se ubican a lo largo de las bandas transportadoras reduciendo aún más las emisiones. Otra implementación que optimiza y reduce el impacto de estos materiales pulverizados sobre los trabajadores es la sistematización y control de los procesos desde lugares remotos que reduzcan el contacto directo con el proceso.

#### **2.2.4. Efecto e impacto sobre el medio ambiente**

- Emisión de material pulverizado al ambiente
- Contaminación de la atmósfera
- Contaminación del medio ambiente
- Generación de enfermedades ocupacionales
- Residuos

### **2.3. Descripción general del proceso**

#### **2.3.1. Materiales**

##### **a. La puzolana**

Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la antigüedad Romana hasta la invención del cemento Portland en el

siglo XIX. Hoy en día el cemento puzolánico se considera un eco material.

El término se aplica popularmente a las áreas de frenado para salidas de pista durante competiciones automovilísticas, principalmente de fórmula 1, pues originalmente eran de puzolana, si bien hoy día se emplean otros materiales como grava calibrada de distinto origen.

## **b. Principales tipos de puzolana**

### **Puzolanas naturales**

- Rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, las tobas, la escoria y obsidiana.
- Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

### **Puzolanas artificiales**

- Cenizas volantes: las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: por ejemplo, residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla

que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.

- Escorias de fundición: principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- Cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

### **c. Propiedades de la puzolana**

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión, y el tiempo de residencia del material.

Si la temperatura de combustión está en el rango entre 400-760 °C, hay garantía de que la sílice se forma en fases amorfas, de mucha reactividad. Para temperaturas superiores comienzan a formarse fases cristalinas de sílice, poco reactivas a temperatura ambiente.

#### **d. Usos de la puzolana**

- Filtro natural de líquidos por su elevada porosidad.
- Sustrato inerte y aireante para cultivos hidropónicos.
- Fabricación de hormigones de baja densidad (como ya se ha señalado en el caso del Panteón de Roma).
- Drenaje natural en campos de fútbol e instalaciones deportivas.
- Absorbente (en el caso del agua del 20 al 30 % del peso de árido seco) y preparación de tierras volcánicas olorosas.
- Aislante Térmico (0,21 Kcal / Hm<sup>2</sup> C)
- Arqueología. Protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación de restos (por construcción sobre ellos o con carácter temporal).
- Jardinería. En numerosas rotondas, jardines. Sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego.
- Abrasivo. Usado como ingrediente en algunos detergentes abrasivos.

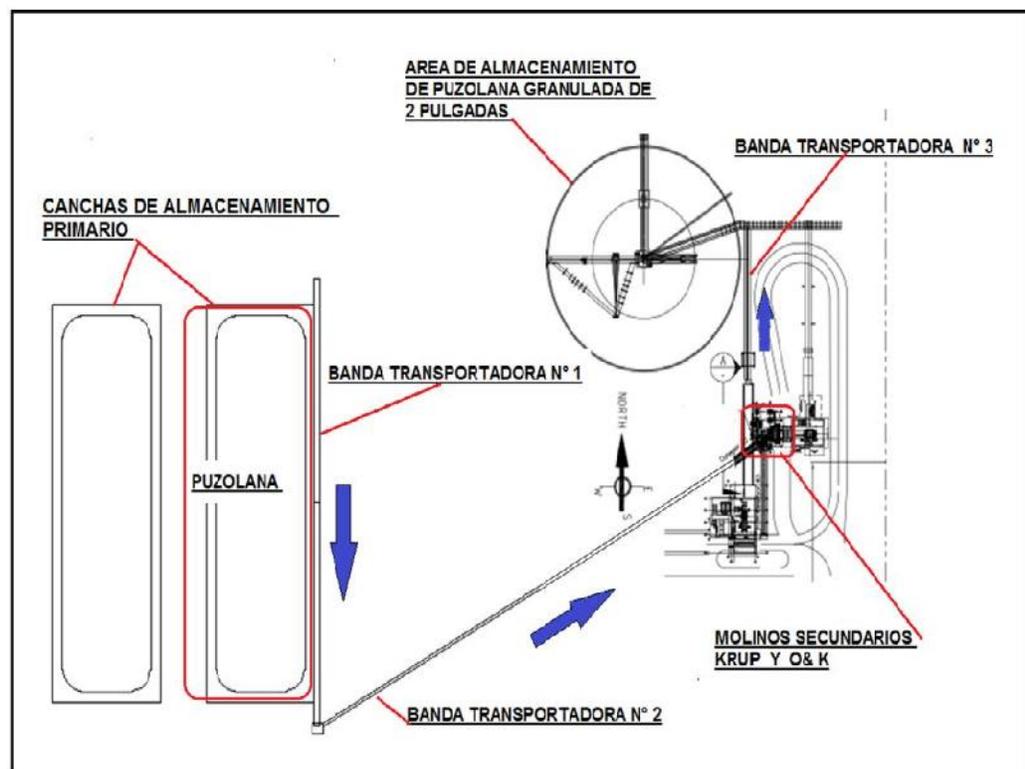
#### **2.3.2. Esquema del proceso productivo**

El proceso de producción de puzolana inicia en las canteras a 25 kilómetros de la planta productora de cemento. Allí mediante métodos de extracción como son dinamitados y mediante maquinaria pesada, para posteriormente ser trituradas en las chancadoras primarias, dándole una granulación uniforme. Una vez extraída la puzolana en estado natural, es cargada en vehículos acondicionados para el transporte (llamados Tamper), los cuales transportan la puzolana hacia la planta productora de cemento.

Una vez ubicada allí, la descarga se realiza sobre tolvas subterráneas que transportan mediante fajas, el material hacia las

zonas de acopio como son los almacenes primarios (chanchas de almacenamiento). Posteriormente mediante una faja de distribución es derivada hacia los molinos secundarios para ser triturados y darle la uniformidad necesaria antes de ingresar al proceso de clinkerizado.

Figura 1. Esquema del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO III**

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**

#### **3.1. Bandas transportadoras: generalidades**

Las fajas transportadoras han logrado una posición dominante transportando los materiales a granel, debido a ventajas inherentes tales como su economía y seguridad de funcionamiento, fiabilidad, versatilidad, y el rango prácticamente ilimitado de capacidades. Además, son convenientes para realizar las numerosas funciones del proceso en relación con su propósito normal de proporcionar un flujo continuo de material mientras funciona. Recientemente, su conformidad a los requisitos medioambientales ha mantenido un incentivo extenso para la selección de fajas transportadoras por encima de otros medios de transporte.

Los fabricantes de fajas transportadoras se han anticipado a las necesidades de la industria de forma consistente con mejoras en los diseños y con componentes que han excedido todos los requerimientos conocidos. La fiabilidad y las seguridades son ahora excelentes debido a que las fajas disponibles son más resistentes y durables, así como las partes mecánicas grandemente mejoradas y mandos eléctricos, dispositivos de seguridad muy sofisticados.

### 3.1.1. Capacidad de transporte

Para una velocidad dada, las capacidades de la faja transportadora aumentan como el aumento del ancho de faja. También, la capacidad de una faja depende del ángulo de sobrecarga y de la inclinación de los rodillos laterales de los arreglos acanalados de tres rodillos.

Tabla 3.1. Velocidades del cinturón máximas recomendadas

Material que se Transporta	Velocidad de la Faja (ppm)	Ancho de la Faja (pulgadas)
Granos u otros materiales no abrasivos de buena fluidez	500	18
	700	24 – 30
	800	36 – 42
	1000	48 – 96
Hulla, arcilla húmeda, mineral suave, capas de desperdicio, piedra chancada fina.	400	18
	600	24 – 36
	800	42 – 60
	1000	72 – 96
Mineral pesado, duro, de bordes afilados, piedra chancada de cuarzo	350	18
	500	24-36
	600	mayor de 36
Arena de Fundición, preparada o húmeda; arena molida con pequeños núcleos, con o sin pequeñas piezas de fundición (no tan calientes como para dañar la faja)	350	Cualquier ancho
Arena de fundición preparada y materiales húmedos similares (o secos, abrasivos) descargados de la faja por desviadores de bordes de caucho.	200	Cualquier ancho
Materiales no abrasivos descargados de la faja por medio de desviadores.	200, salvo pulpa de madera dónde 300 a 400 son preferibles	Cualquier ancho
Fajas Alimentadoras, planas o acanaladas para alimentar materiales finos, no abrasivos o medianamente abrasivos, de tolvas y recipientes.	50 a 100	Cualquier ancho

Fuente: Manual CEMA. Características y transportabilidad de los materiales a granel.

La sección transversal nominal del material en una faja es medida en un plano normal a la faja. En un transportador inclinado de pendiente positiva o negativa, el material tiende a formar un ángulo de sobrecarga como el que se mide en un plano vertical. Esto disminuye el área,  $A_s$ , con el coseno del ángulo de pendiente del transportador. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la pérdida real de capacidad es muy pequeña.

Asumiendo una alimentación uniforme al transportador, el área de la sección transversal de la carga en la faja transportadora es el factor determinante de la capacidad de la faja transportadora. De modo tal que el área de la sección transversal se basa en las dos condiciones siguientes: Primero, la carga del material en la faja acanalada no se extiende de los bordes de la faja. La distancia de los bordes del material cargado a los bordes de la faja se fija como "distancia normal de borde", que se define como  $0.055b + 0.9$  pulgadas, donde  $b$  es el ancho de la faja en pulgadas. La distancia normal del borde se asume a menos que se especifique por otro medio. Segundo, la cima de la carga del material es el arco de una tangente al círculo, en los bordes de la carga, al ángulo de sobrecarga.

### **3.1.2. Adaptabilidad al terreno**

El diseño exitoso de una faja transportadora debe empezar con la apreciación exacta de las características del material a transportar. Unas pocas características importantes requieren definición.

El ángulo de reposo es el ángulo que forma la superficie de montón normal, libremente constituido con la horizontal.

El ángulo de sobrecarga es el ángulo la superficie del material, toma el material estando en reposo relativo a la faja transportadora en movimiento. Este ángulo normalmente es 5° a 15° menor que el ángulo de reposo, aunque en algunos materiales puede ser hasta 20° menor.

La fluidez se determina por características de los materiales, tales como: el tamaño y forma de las partículas finas y los trozos, la rugosidad o suavidad de la superficie de las partículas, la proporción fina y de trozos presentes, y humedad contenida en el material. La Tabla 3.2 ilustra y define la relación normal de las propiedades anteriores y las características generales de los materiales.

Tabla 3.2. Fluidez, ángulo de descarga y de reposo

Fluidez muy libre 1*	Fluidez libre 2*	Fluidez promedio 3*		Pesada 4*
Angulo de sobrecarga 5°	Angulo de sobrecarga 10°	Angulo de sobrecarga 20°	Angulo de sobrecarga 25°	Angulo de sobrecarga 30°
				
0° - 19° Angulo de reposo	20° - 29° Angulo de reposo	30° - 34° Angulo de reposo	35° - 39° Angulo de reposo	40° a mas Angulo de reposo
Características de Material				
Tamaño uniforme, partículas redondeadas muy pequeñas, tanto si estan húmedas o muy secas; piedra sílice seca, cemento, concreto húmedo	Partículas pulidas, redondeadas, secas, de peso medio: granos sin pelar y frejoles.	Materiales irregulares, granulados o en trozos de peso medio, tales como antraciza y carbón de piedra, semilla de algodón, arcilla, etc.	Materiales comunes típicos: carbón bituminoso, piedra, mayoría de minerales	Materiales irregulares, fibrosos que pueden atorar: astillas de madera, bagazo, arena de fundición templada.

Fuente: Manual CEMA. Las características y transportabilidad de los materiales a granel.

Debe darse también los datos referidos al peso por pie cúbico del material; su pulverización, humedad, adherencia, abrasión, su acción química corrosiva, y su temperatura. En la Tabla 3.3 se da información general que involucra estas propiedades para muchos materiales. La Tabla A (ver anexo 1) da una lista de materiales con sus características físicas y una clasificación del código de designación. Debe entenderse que los datos comprendidos en esta tabla son para condiciones promedio y para materiales promedio. Cada característica puede variar en casos específicos, sobre todo los ángulos de reposo y las máximas inclinaciones del transportador. Estos materiales deben ser considerados apropiadamente, las características varían bajo distintas condiciones de manejo, humedad atmosférica, época, o periodos de almacenamiento largos. En algunos casos, la exactitud puede requerir que se realicen pruebas cuidadosas para establecer las características del material, bajo las condiciones requeridas. Los materiales o características omitidas en la Tabla B pueden ser estimados aproximadamente por comparación, con los materiales listados del mismo tipo.

### **Comportamiento de los materiales sobre la faja en movimiento**

Se debe prestar atención al hecho que las características normales de materiales son influenciadas considerablemente por el movimiento, la pendiente, y la velocidad de la faja transportadora que los lleva.

Al pasar la faja consecutivamente, sobre cada rodillo, el material se agita correspondientemente. Esta agitación tiende a llevar los pedazos más grandes a la superficie de la carga y las partículas más pequeñas o finas al fondo. También tiende a allanar la

pendiente de superficie del material (es decir, el ángulo de sobrecarga) y se explica porque este ángulo es menor que el de reposo.

Cualquier diferencia entre la velocidad del material cuando es cargado y de la faja transportadora que está recibéndolo debe igualarse por medio de la aceleración del material. Esta aceleración causa turbulencia en el material.

Cualquier componente vertical de la velocidad del material durante su carga, debe absorberse por la elasticidad de la construcción de la faja transportadora y por los rodillos de impacto, usados bajo puntos de carga. En este proceso, se produce un aumento excesivo en la turbulencia del material.

Estas tres influencias son enfatizadas cuando la faja transportadora está en pendiente o declive, y también cuando se opera a altas velocidades. Estas influencias se enfatizan aún más, cuando el material manejado está suelto y contiene trozos redondeados grandes, como la grava gruesa lavada, su tendencia es rebotar y rodar sobre la faja transportadora.

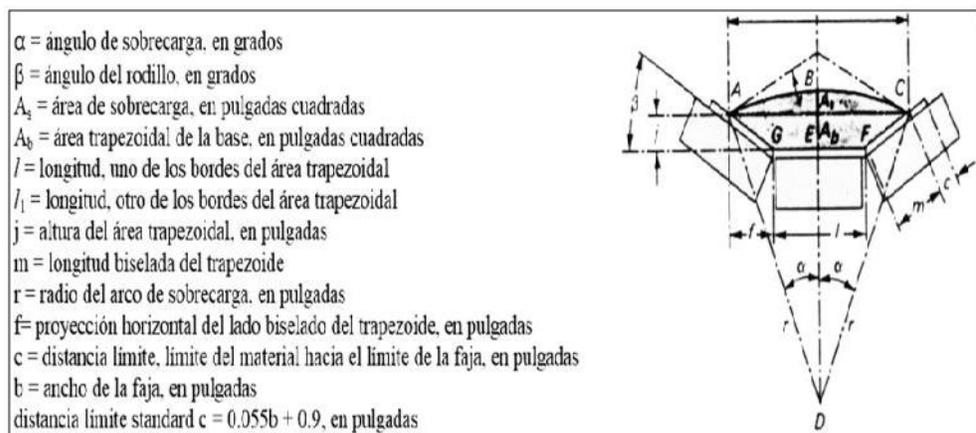
### **Efecto de pendientes y declives**

La sección transversal nominal del material en una faja transportadora horizontal se mide en un plano normal a la faja. En una pendiente o declive de la faja transportadora, la gravedad hace necesario que la sección transversal real de la carga sea considerada en un plano vertical. Para mantener el ancho total del material cargado en la faja y para mantener los ángulos de la sobrecarga inalterados, la sección transversal posible en una faja en pendiente o declive debe ser menor que para una faja

horizontal. Refiriéndose al diagrama usado en la variación de capacidad de la faja transportadora (Figura 2) aunque el área  $A_s$  disminuya con el coseno del ángulo de la pendiente del transportador. El efecto total está influenciado por el ángulo de sobrecarga al que el material irá sobre la faja transportadora. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la pérdida real en la capacidad es menos del 3%.

Las siguientes tres precauciones deben ser bien observadas: los trozos están más próximos a rodar fuera de los bordes de faja transportadora inclinada que en la horizontal; para las fajas de pendiente constante, el derrame de material es más probable que ocurra inmediatamente después del punto de carga; los materiales sé que airean excesivamente, tales como algunos granos muy finos de cemento, o materiales en los que la proporción de agua es tan alta que se crea un slurry (lodo líquido), debe llevarse en cuenta y a tales velocidad de faja que la tendencia del material a resbalar sea compensada totalmente.

Figura 2. Área de carga de la sección transversal



Fuente: Manual CEMA. Consideraciones de diseño.

Tabla 3.3. Descripción de la clasificación de los materiales

	Características del material	Código
Tamaño	Muy fino: hasta la malla 100	A
	Fino: hasta 1/8"	B
	Granular: hasta 1/2"	C
	En trozos: de más de 1/2"	D
	Irregular: fibrosos, que se pueden atorar, enredado	E
Fluidez, Angulo de Reposo	Fluidez muy buena – Angulo de reposo menor a 19°	1
	Fluidez buena: Angulo de reposo entre 20 a 29°	2
	Fluidez promedio - Angulo de reposo entre 30 a 39°	3
	- Angulo de reposo entre 40° a más.	4
Abrasividad:	No abrasivo	5
	Abrasivo	6
	Muy abrasivo	7
	Muy afilado: corta o deshace la cubierta de la faja	8
Características Variadas (a veces mas de una propiedad puede aplicarse)	Muy polvoriento	L
	Aireado o que desarrolla propiedades de fluido	M
	Contiene polvo explosivo	N
	Contaminable, afecta su uso o venta	P
	Degradable, afecta su uso o venta	Q
		R
	Altamente Corrosivo	S
	Medio Corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Que se atora	V
	Presenta aceites o químicos que pueden afectar productos de caucho	W
	Empacado bajo presión	X
	Muy liviano y , puede dispersarse con el viento	Y
Temperatura elevada.	Z	
Por ejemplo: Un material muy fino, de buena fluidez, abrasivo, y que contiene polvo explosivo, tendrá una designación: Clase A26N		

Fuente: Manual CEMA. Las características y transportabilidad de los materiales a granel.

### **3.1.3. Confiabilidad y disponibilidad**

La confiabilidad de las fajas transportadoras ha sido probada durante décadas y en prácticamente cada industria. Ellas operan con una confiabilidad absoluta, en muchos casos sirven a unidades de proceso vitales cuyo éxito depende del funcionamiento continuo, como el manejo del carbón en las plantas de energía, y transportando la materia prima a granel en las siderúrgicas, cementeras, fábricas de papel, y desde las embarcaciones en puertos donde el tiempo de retraso es muy costoso.

Las fajas transportadoras se operan al toque de un botón, en cualquier momento del día o de la semana. Cuando se requiera, pueden y a menudo operan continuamente, turno tras turno. Pueden alojarse para que ambos, los transportadores y el material transportado, sean protegidos de elementos que impidan el movimiento de camiones y otros medios de transporte.

### **3.1.4. Ventajas ecológicas**

Las fajas transportadoras son ecológicamente más aceptadas que otros medios de transporte de materiales a granel; no contaminan el aire, ni ensordecen. Ellos operan silenciosamente, a menudo en sus propios ambientes que, cuando se desea, puede localizarse en situaciones de confusión y que comprometen la seguridad, en superficies de tráfico o en pequeños túneles fuera del alcance de la vista y el oído.

Además, no contaminan el aire con polvo o hidrocarburos. En las transferencias, el polvo puede contenerse dentro de los chutes de transferencia o recolectado con el equipo conveniente

(filtros de mangas y ductos de despolvorización), si fuera necesario. Finalmente, los sistemas de faja por encima del nivel del suelo pueden diseñarse para adaptarse en el paisaje; produciendo una operación tranquila, silenciosa y libre de polución.

Las cubiertas tubulares se están convirtiendo en un modelo usado frecuentemente debido a sus capacidades de tramos largos, rasgos ecológicos, estética y la capacidad de comprarse ensambladas con componentes para reducir los costos de construcción en el campo.

### **3.1.5 Consideraciones de diseño**

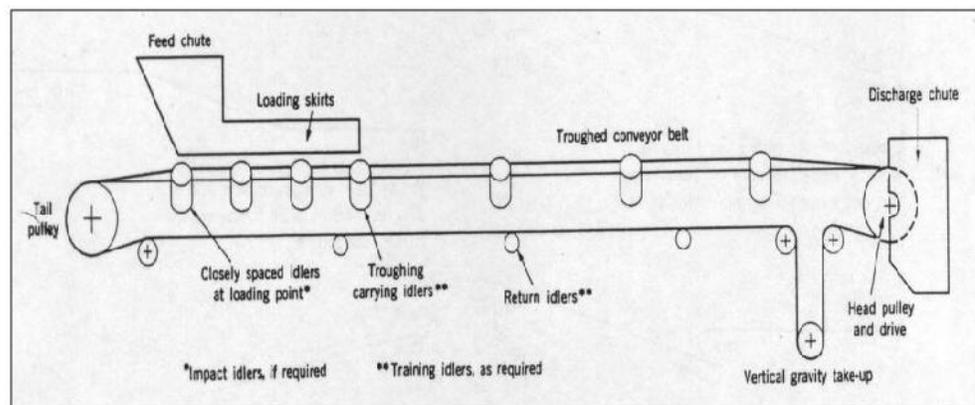
Los transportadores de faja pueden montarse de tal modo que sigan un número infinito de recorridos o caminos de viaje. Entre estos, están los horizontales, inclinados con pendiente positiva o negativa, o incluso con curvas cóncavas y convexas, o cualquier combinación de estas. También existen numerosas posibilidades para la carga y descarga del transportador.

La nomenclatura de los componentes típicos de las fajas transportadoras se ilustra debajo (Figura 3). Además, los apiladores de las fajas transportadoras pueden conectarse a la línea principal del transportador para acumular el material a varios pies ya sea en uno o a ambos lados en canchas de cualquier tamaño práctico. Una combinación apilador-recuperadora puede usarse para acumular el material o recuperarlo y devolverlo a la faja transportadora principal.

Prácticamente, se pueden diseñar transportadores de la faja para cualquier recorrido deseado; limitados solamente por el esfuerzo de la faja, el ángulo de inclinación o el espacio disponible. Algunos de los perfiles mostrados abajo son más recomendables que

otros. Por ejemplo, la transferencia entre los transportadores debe evitarse donde sea posible; debido al desgaste adicional de las fajas en los puntos de carga, al levantamiento de polvo y la posible obstrucción en los chutes de transferencia.

Figura 3. Nomenclatura de los componentes de una faja transportadora típica



Fuente: Manual CEMA. Bandas transportadoras.

### 3.1.6. Elementos de las bandas transportadoras

Dentro de los elementos más resaltantes en las bandas transportadoras, que comúnmente encontramos en la industria, se tienen las siguientes partes:

Polea de cabeza o polea motriz. Es la polea encargada que se conecta al motor con la finalidad de originar el movimiento.

Polea de cola. Se ubica al otro extremo la banda transportadora. La función varía de acuerdo a la longitud de la banda; para una banda de longitud corta, además de servir de guía sirve para dar la tensión requerida por el trabajo; en el caso de longitudes largas, cumple la función de final de faja y nivelado de faja.

Bancada o truss. Es la estructura que contendrá a los elementos guía de la banda, como los polines, sensores, camas de impacto, cubiertas, entre otros.

Polines y estaciones de carga. Los polines de carga se ubican en la parte superior del truss, y entre la polea de cabeza y polea de cola se ubican en secuencia a cierta distancia; estos polines están en contacto con la banda ya sea que esté con carga o sin ella. De acuerdo a las dimensiones y al trabajo de la banda, las estaciones podrán contener una cantidad de polines de entre 2 hasta 4 polines por estación.

Polines y estaciones de retorno. Tan igual como los polines de carga, estos elementos están en contacto con la banda; a diferencia de su función, solo esta para servir de apoyo en el recorrido de retorno de la faja, por lo general lo integran solo un polín por bastidor.

Polines y bastidores autoalienantes. En casos donde los recorridos a realizar por las bandas deben ser de longitudes o tramos largos, se hace necesaria la ubicación de estaciones con polines que cumplan la función de alinear la banda evitando que en el camino se desestabilice y se aproxime demasiado hacia un lado llegando en algunos a salirse del contacto con los polines. Este tipo de polines se ubican tanto en la parte superior como en la parte inferior, y se les distribuye dependiendo de la longitud de la banda.

Sistema de tensionado de la faja. Este sistema se incorpora para tramos de longitudes de banda largos, los cuales tienen la función de tensionar de acuerdo a los cálculos establecidos previamente; los sistemas más usados en la actualidad son los sistemas por

contrapeso. Este sistema hace uso de la gravedad, de manera sencilla; la línea o el recorrido de la banda pasa por una polea adicional que se ubica en sentido vertical o perpendicular al recorrido de la banda y para garantizar la tensión, esta polea está sujeta a un contrapeso de carga controlada que pende de la propia polea (unidos ambos a un carril guía), que proporciona la tensión necesaria.

Cama de impacto. Las camas de impacto son un accesorio tan igual como los sistemas de limpieza. Estas camas de impacto se ubican en lugares entre la polea de cabeza y cola, su finalidad es de reducir el impacto del material que cae y golpea a la banda cuando se realiza un sistema de transporte entre bandas o entre líneas de producción.

Cubiertas. Las cubiertas son una mejora del sistema de traslado de material; se ubican en la parte superior de la banda de sección semicircular, cubren el recorrido de la banda desde la polea de cabeza hasta la polea de cola, con la finalidad de reducir las emisiones de polvo al ambiente contribuyendo de manera eficiente en temas de medio ambiente y espacio laboral.

### **3.1.7. Característica y transportabilidad de los materiales**

El diseño exitoso de una faja transportadora debe empezar con la apreciación exacta de las características del material a transportar. Unas pocas características importantes requieren definición.

El ángulo de reposo es el ángulo que forma la superficie de montón normal, libremente constituido con la horizontal.

El ángulo de sobrecarga es el ángulo en la superficie del material, toma el material estando en reposo relativo a la faja transportadora

en movimiento. Este ángulo normalmente es 5° a 15° menor que el ángulo de reposo, aunque en algunos materiales puede ser hasta 20° menor.

La fluidez del material se mide por su ángulo de reposo y sobrecarga, y determina la sección transversal del material cargado que puede llevarse en una faja, de forma segura. También es un índice del ángulo seguro de inclinación de la faja transportadora.

La fluidez se determina por características de los materiales, tales como: el tamaño y forma de las partículas finas y los trozos, la rugosidad o suavidad de la superficie de las partículas, la proporción fina y de trozos presentes, y humedad contenida en el material.

### **Características de los materiales sobre la faja**

Se debe prestar atención al hecho que las características normales de materiales son influenciadas considerablemente por el movimiento, la pendiente y la velocidad de la faja transportadora que los lleva.

Al pasar la faja consecutivamente sobre cada rodillo, el material se agita correspondientemente. Esta agitación tiende a llevar los pedazos más grandes a la superficie de la carga y las partículas más pequeñas o finas al fondo. También tiende a allanar la pendiente de superficie del material (es decir, el ángulo de sobrecarga) y se explica porque este ángulo es menor que el de reposo.

Cualquier diferencia entre la velocidad del material cuando es cargado y de la faja transportadora que está recibéndolo debe

igualarse por medio de la aceleración del material. La aceleración causa perturbación en el material transportado.

Cualquier componente vertical de la velocidad del material durante su carga, debe absorberse por la elasticidad de la construcción de la faja transportadora y por los rodillos de impacto, usados bajo puntos de carga. En este proceso, se produce un aumento excesivo en la turbulencia del material.

Estas tres influencias son enfatizadas cuando la faja transportadora está en pendiente o declive, y también cuando se opera a altas velocidades. Estas influencias se enfatizan aún más, cuando el material manejado está suelto y contiene trozos redondeados grandes como la grava gruesa lavada; su tendencia es rebotar y rodar sobre la faja transportadora.

#### **a. Inclinaciones y pendientes**

La sección transversal nominal del material en una faja transportadora horizontal se mide en un plano normal a la faja. En una pendiente o declive de la faja transportadora, la gravedad hace necesario que la sección transversal real de la carga sea considerada en un plano vertical. Para mantener el ancho total del material cargado en la faja y para mantener los ángulos de la sobrecarga inalterados, la sección transversal posible en una faja en pendiente o declive debe ser menor que para una faja horizontal.

El efecto total está influenciado por el ángulo de sobrecarga al que el material irá sobre la faja transportadora.

Las siguientes tres precauciones deben ser observadas: los trozos están más próximos a rodar fuera de los bordes de faja transportadora inclinada que en la horizontal; para las fajas de pendiente constante, el derrame de material es más probable que ocurra inmediatamente después del punto de carga; los materiales que airean excesivamente tales como algunos granos muy finos de cemento o materiales en los que la proporción de agua es tan alta que se crea un lodo líquido, debe llevarse en rampas y a tales velocidades de faja que la tendencia del material a resbalar es comprensiblemente alta.

### **3.1.8. Tensión de faja, potencia y sistemas de transmisión**

La aplicación de ingeniería más remota de las fajas transportadoras estuvo en una considerable extensión, supeditada a soluciones empíricas que fueron desarrolladas por varios fabricantes y consultores en este campo. El análisis de ingeniería, la información y las fórmulas de las fajas transportadoras presentadas para este análisis representan las recientes mejoras en los conceptos y datos que se han desarrollado durante años, aprovechando las observaciones en el funcionamiento de las fajas transportadoras actuales y la mejor teoría matemática.

De esta manera se presentan las fórmulas de potencia y tensión, incorporando sucesivamente todos los factores que afectan la fuerza total necesaria para accionar la faja y su carga, de manera que permita la evaluación separada del efecto de cada factor.

### 3.1.8.1. Requerimientos básicos de potencia: cálculos de tensión de faja

La potencia requerida (Hp), en el accionamiento de la faja transportadora, se deduce de las libras de la tensión efectiva (Te) requerida en la polea motriz para impulsar o frenar el transportador cargado a la velocidad de diseño de la faja (V) en ppm:

$$HP = \frac{Te * V}{33000} \dots\dots (1)$$

Donde:

Hp: Potencia Requerida (Hp)

Te: Tensión efectiva (lb)

V : Velocidad (ppm)

Para determinar la tensión efectiva, Te, es necesario identificar y evaluar cada una de las fuerzas individuales que actúan en la faja transportadora y que contribuyen a la tensión requerida para el accionamiento de la faja mediante la polea motriz. Te es la sumatoria final de las tensiones de la faja producidas por fuerzas tales como:

1. La carga gravitatoria para elevar o bajar el material a transportar.
2. La fuerza de fricción de los componentes del transportador, transmisión y todos los accesorios, cuando se opera a la capacidad de diseño.
3. La fuerza de fricción del material cuando se transporta.
4. La fuerza requerida para acelerar continuamente el material que se carga al transportador desde un chute o alimentador

La fórmula básica para calcular la tensión efectiva es:

$$T_e = LK_t (K_x + K_y W_b + 0.015 W_b) + W_m (LK_y H) + T_p + T_{am} + T_{ac} \dots (2)$$

Donde:

$T_e$  : Tensión Efectiva en Lb.

$L$  : Longitud del Transportador en Pies.

$K_t$ : Factor de Corrección de Temperatura = 1.0

$K_x$ : Factor de Fuerza de Fricción de los Rodillos = Lb/pie

$K_y$ : Factor de Resistencia de Faja Lb/pie

$W_b$ : Peso de Faja en Lb/pie

$W_m$ : Peso de Material en lb/pie

$H$ : Distancia vertical del Material en Lb.

$T_p$ : Tension Resultante en Lb

$T_{am}$ : Tensión Resultante de la fuerza para acelerar el material en libras

$T_{ac}$ : Total de Tensiones de los Accesorios en Lb.

### **3.1.8.2. Fórmula de potencia CEMA, relaciones de la polea motriz, arreglos de transmisión**

La ecuación 1 proporciona los medios para el cálculo de la potencia requerida por la faja transportadora que tiene una tensión efectiva en la polea motriz y una velocidad del diseño de la faja como sigue:

$$HP = \frac{Te * V}{33000}$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2), la potencia requerida por la carga puede expresarse como sigue:

$$HP = \frac{[LKt Kx + Ky Wb + 0.015Wb + Wm LKy \pm H + Tp + Tam + Tac]}{33000}$$

El motor que accionará la faja transportadora totalmente cargada sin sobrecalentarse no podrá ser capaz de acelerar el transportador cargado desde el reposo hasta la velocidad de diseño. Para asegurar la capacidad de arranque adecuada, deben darse las condiciones siguientes. Primero, el torque del rotor enclavado del motor debe exceder la suma del torque exigido para elevar el material, más aproximadamente dos veces el torque requerido para superar la fuerza de fricción de todo el transportador, a pesar de cualquier posible deficiencia del suministro de voltaje que pueda existir durante el periodo de aceleración. Esto no puede ser posible en grandes transportadores, horizontales o inclinados.

Segundo, la curva velocidad-torque del motor no debe caer por debajo de la línea dibujada desde el requerimiento de torque del rotor enclavado hasta el requerimiento de la potencia de movimiento a toda velocidad.

También es posible llegar a una aproximación muy cercana de la potencia requerida para operar la faja transportadora por medio de

una solución gráfica. Este método, usado bajo las condiciones apropiadas, es rápido y relativamente simple. Generalmente, una solución gráfica proporcionará un valor algo conservador de la potencia requerida. Sin embargo, debe reconocerse que es impráctico incorporar todos los elementos de diseño de la faja transportadora en una solución gráfica simple. Por consiguiente, los gráficos deben usarse basados en una comprensión completa de todos los aspectos del método analítico del cálculo de la tensión y la potencia de la faja para luego permitir el ajuste de los resultados a considerar en situaciones inusuales. Se recomienda que el diseño final se base en cálculos hechos por el método analítico. El método gráfico para el diseño de transportadores también es usado para el diseño y el modelado de la ubicación y funcionamiento.

### **3.1.8.3. Tensiones de la faja máxima y mínima**

Para los modelos de transportadores y accionamientos comunes ilustrados, las tensiones máximas y mínimas serán discutidas y se darán los procedimientos para calcular la tensión de la faja en cualquier punto del transportador. Las fórmulas aplicables se indican con varios modelos y accionamiento donde se involucran poleas motrices simples. Las tensiones involucradas en las poleas motrices múltiples se tratan separadamente.

#### **Tensión máxima de la faja**

Tensión Máxima de Operación. Se define como la tensión máxima en la faja, que ocurre cuando la faja está llevando la carga de diseño continuamente desde el punto de carga hasta el punto de descarga.

La tensión máxima de operación normalmente ocurre en el punto de descarga, en los transportadores horizontales o inclinados y en el punto de carga en los transportadores en declive regenerativos. En los transportadores compuestos, la tensión máxima de operación ocurre frecuentemente en otro punto. Debido a que la tensión máxima de operación debe conocerse para seleccionar la faja, se deben determinar tanto su ubicación como su magnitud; para los detalles en las tensiones de la faja.

Los transportadores que tienen secciones horizontales y de pendiente negativa u horizontal y de pendiente positiva, pueden tener las tensiones máximas en puntos distintos al de la polea terminal. En este caso, las tensiones de la faja pueden calcularse, considerando las secciones horizontales e inclinadas como transportadores separados.

### **Tensión máxima de operación transitoria**

Es la tensión máxima que solo ocurre para los periodos cortos de tiempo. Por ejemplo, un transportador con un perfil que contiene una cuesta, un declive y luego otra cuesta, puede generar una tensión superior de operación cuando solo las cuestas están cargadas y el declive está vacío. Estas tensiones máximas de operación transitoria deben ser consideradas en la selección de la faja y la maquinaria del transportador.

### **Tensión máxima de arranque y parada**

El torque de arranque de un motor eléctrico puede ser mayor a 2 1/2 veces el valor del motor a plena carga. Semejante torque transmitido a una faja transportadora podría producir tensiones de arranque varias veces mayor al valor de la tensión de operación

escogida. Para prevenir el debilitamiento progresivo de los empalmes y la consecuente falla, tales tensiones máximas de arranque deben evitarse, Igualmente, si la faja se lleva al reposo muy rápidamente, sobre todo en los transportadores en declive, la inercia de la faja cargada puede producir altas tensiones.

El valor máximo, generalmente recomendado, para la tensión de arranque de la faja es 150% de la tensión de trabajo aceptable en la faja. En los transportadores con tensiones por debajo de 75 lbs por pulgada de pliegue o su equivalente, el máximo puede aumentarse a valores tan altos como 180%. Para valores permisibles de diseño finales, se debe consultar a los fabricantes del equipo transportador o de faja de caucho.

### **Tensión mínima de la faja, $T_{min}$**

Para transportadores que no sobrecargan el accionamiento, la tensión mínima de la faja en el tramo de transporte ocurrirá normalmente en el extremo de cola (alimentación). Para transportadores que sobrecargan su accionamiento, la tensión mínima ocurrirá, generalmente, en la cabeza (descarga). La ubicación y la magnitud de la tensión mínima se dan, en relación con el perfil del transportador y el accionamiento.

Se verá que la tensión mínima está influenciada por la tensión  $T_2$  requerida en el accionamiento, sin el deslizamiento de la faja sobre la polea, y por la tensión  $T_0$  requerida para limitar la flecha de la faja en el punto de tensión mínima. La tensión mínima se calculada para ambos casos y se toma el valor mayor. Si  $T_0$  que limita la flecha de la faja es mayor que  $T_{min}$ , producida por la tensión  $T_2$  necesaria para accionar la faja sin deslizamiento, una nueva tensión

$T_2$  se calcula, usando  $T_0$  y considerando la tensión de la cuesta,  $T_b$ , y la fricción del tramo de retorno de la faja,  $T_{yr}$ . Las fórmulas para los cálculos de  $T_2$  teniendo  $T_0$ ,  $T_b$ , y  $T_{yr}$  se dan para cada uno de los perfiles de los transportadores y arreglos de accionamientos.

#### **3.1.8.4. Fuerzas de aceleración y desaceleración**

La investigación de las fuerzas de aceleración y de desaceleración es necesaria por las razones siguientes:

##### **Esfuerzo de la faja**

La economía del diseño indica la selección de una faja que tenga un esfuerzo de armazón sobre o cerca al valor de las tensiones de operación normales. Por consiguiente, las fuerzas adicionales, resultado de aceleración o desaceleración, pueden sobre esforzar la faja o sus empalmes; particularmente, si se usan empalmes mecánicos. Mientras este problema es el más probable de existir con respecto a la faja, hay también la posibilidad de sobre esforzar los componentes mecánicos como poleas, ejes, rodamientos, tensores, etc.

##### **Curvas verticales**

Pueden encontrarse dos problemas diferentes con las curvas verticales. En el caso de curvas cóncavas, el centro de curvatura cae sobre la faja; si las tensiones de la faja son demasiado altas durante el arranque, la faja se elevará por encima de los rodillos abarquillados. Es necesario analizar este problema cuando la carga sea total, parcial y cuando esté vacía.

En el caso de curvas convexas, el centro de curvatura cae debajo de la faja; hay la posibilidad de cargar excesivamente a ciertos rodillos.

### **Pérdidas en el valor de la tensión**

Durante la aceleración y la desaceleración existe la posibilidad de perder el valor  $T_1/T_2$  requerido, necesario para mantener el control adecuado en el contacto entre faja y polea motriz. Esto es particularmente cierto, si el tensor se localiza lejos del accionamiento.

Si se usa un tensor de tornillo y se ajusta de manera inadecuada, o el espacio para el tensor de gravedad es demasiado limitado; el valor necesario de  $T_1/T_2$  puede reducirse en el intento por acelerar la faja transportadora.

Durante la desaceleración, el efecto de inercia de la carga puede causar una pérdida del valor de  $T_1/T_2$  necesario para transmitir las fuerzas de frenado de la polea a la faja. Esto permitiría el movimiento continuado de la faja y de la carga, después de que la polea se haya detenido.

### **Condiciones de carga en la faja**

La faja transportadora puede operar satisfactoriamente durante la parada o el arranque, si está completamente cargado o vacío. Esto, sin embargo, no puede ser así, si solo determinadas porciones del transportador están cargadas. Por consiguiente, el portador tiene que ser analizado bajo varias condiciones de carga.

Por ejemplo, cuando una faja transportadora tiene una curva cóncava, una condición crítica de arranque puede ser el levantamiento de la faja en la curva durante la aceleración debido a que la porción de la faja delante de la curva vertical cóncava está cargada, mientras el resto de la faja no. Esto no será cierto, si el transportador es regenerador. Tales condiciones requieren un análisis cuidadoso.

### **Movimiento de los tensores**

Durante los ciclos de aceleración y de desaceleración, donde se usan los tensores de contrapeso, el recorrido del tensor puede ser insuficiente a menos que estas fuerzas sean consideradas. El ingeniero no solo debe considerar el recorrido, sino, también el valor de la longitud de este recorrido; particularmente donde se involucren mandos hidráulicos, eléctricos o neumáticos.

### **Efecto del material transportado**

En ciertos casos, el valor del arranque y de la parada puede ejercer influencias en el material que den por resultado condiciones intolerables. Obviamente, ciertos materiales pueden acelerarse o disminuir su velocidad más eficazmente que otros. Por ejemplo, si una faja transportadora descendente manejando mineral de hierro en gránulos se detiene demasiado rápido, el material puede empezar a rodar sobre la superficie de la faja y producir un amontonamiento en el punto de la descarga. Similarmente, en el arranque de una faja ascendente, demasiado rápido pueden causar que el material ruede hacia atrás.

## **Encorvamiento**

Sin la apropiada consideración de las fuerzas de arranque y parada, es posible que las tensiones de la faja pueden caer en un punto, en alguna parte de la línea, donde la faja se encorvará (alabeado). Por ejemplo, una faja con declive del extremo de cola y un tramo ascendente en la cabeza, puede que solo se cargue en el extremo de cola. Si el frenado se aplica a la polea de cabeza, la tensión de la faja puede tener un valor de cero o incluso una parte floja en el tramo de transporte. El resultado obvio es el derrame de la carga, el enredamiento o la pérdida de alineamiento, etc.

## **Falla de la Potencia**

En el caso de la falla de la potencia, la tensión de faja resultante de las fuerzas de frenado se da en una dirección opuesta a la del accionamiento de la faja. Dependiendo del perfil y de las condiciones de carga; el tiempo requerido para que las fuerzas de fricción detengan la faja, puede ser intolerablemente largo o corto. En el caso de un transportador regenerador, puede descargarse completamente. En un sistema de transportadores, es probable un amontonamiento del material en los puntos de transferencia. Por consiguiente, es obvio que la parada controlada, en caso de falla de la potencia, es muy importante.

## **Tensiones de frenado absorbidas por el tramo de retorno y la polea de cola**

Cuando la desaceleración se efectúa por medio de un freno, la tensión de la faja resultado de la fuerza de frenado se da en una dirección opuesta al accionamiento de la faja.

Por ejemplo, si el accionamiento está en el extremo de cabeza de un transportador horizontal o ascendente; la potencia se transmite de la polea motriz hacia el tramo de transporte de la faja cuando se energiza el motor. Al desacelerar con un freno conectado a la polea motriz y con el motor desenergizado, la fuerza de frenado se puede transmitir de la polea motriz al tramo de retorno de la faja.

En consecuencia, la aplicación del freno puede ser significativa en la determinación de la cantidad de contrapeso, diseño del tensor y la medida del eje.

Estos son algunos de los problemas que resultan cuando se ignora las fuerzas de aceleración y de desaceleración se ignoran o se evalúan inadecuadamente. Como también pueden existir otras dificultades, los factores discutidos anteriormente son suficientes para indicar la importancia de una consideración y análisis apropiados.

#### **3.1.8.5. Análisis de fuerzas de aceleración y de desaceleración: consideraciones de diseño**

Las fuerzas de aceleración y de desaceleración que actúan en una faja transportadora durante el periodo de arranque y de parada son las mismas en cualquier caso. Sin embargo, la magnitud y los signos algebraicos que gobiernan estas fuerzas cambian con los medios para relacionarlas.

#### **Aceleración**

La aceleración de la faja transportadora se realiza por medio de algún tipo de accionado primario, normalmente por un motor

eléctrico. Las fuerzas resultantes en un transportador horizontal se determinan por la inercia más la fricción; en un transportador ascendente, por la inercia más la fricción, y la elevación de la carga; en un transportador descendente, por la inercia más la fricción menos el descenso de la carga.

### **Desaceleración**

La desaceleración de la faja transportadora se realiza por algún tipo de freno. Las fuerzas resultantes en un transportador horizontal se determinan por la inercia menos la fricción; en un transportador ascendente, por la inercia menos la fricción menos la elección de la carga; en un portador descendente, por la inercia menos la fricción más el descenso de la carga.

Si el transportador contiene varias porciones con diferente pendiente (positiva o negativa), puede resultar una combinación de estas condiciones.

### **Cálculo de las fuerzas de aceleración y de desaceleración**

El diseñador de la faja transportadora afronta, entonces, la necesidad de considerar la inercia de todas sus partes móviles: la inercia de la carga en la faja, las fuerzas totales de fricción y las fuerzas que causan la elevación o el descenso de la carga y faja. Para ser prácticos, las primeras dos cantidades tienen que ser convertidas a una fuerza en libras, en la línea de la faja.

Ya que la aceleración se define como la segunda derivada del desplazamiento con respecto al tiempo, y la desaceleración es la aceleración negativa; el tiempo es la variable básica en el cálculo

de la fuerza. Para calcular el tiempo, se usa la segunda ley de Newton. La secuencia básica es como sigue:

$$F_a = M * a \dots \dots (3)$$

Dónde:

$F_a$  = Fuerza de aceleración o desaceleración, lbs

$M$  = Masa, slugs =  $W_e/g$

$W_e$  = Peso equivalente de las partes móviles del transportador y la carga, lbs.

$g$  = Aceleración de la gravedad = 32.2  
pies/s<sup>2</sup>

$a$  = Aceleración pie/s<sup>2</sup>

La fuerza necesaria para lograr la aceleración o desaceleración siempre es directamente proporcional a la masa (o al peso) de las partes y material en movimiento.

Para propósitos de cálculo, puede asumirse que la faja y la carga en ella se mueven en línea recta. Otras partes importantes del sistema, sin embargo, rotan. Esto es cierto, para todas las poleas (incluyendo las de los tensores y desviadores de faja), todos los rodillos, y todas las partes rotativas del accionamiento.

Parece conveniente usar la ecuación para el movimiento lineal como la base para el cálculo de las fuerzas de aceleración y desaceleración. Esto hace necesario convertir las propiedades físicas de los componentes rotativos del sistema a la forma en que pueden usarse en la relación lineal básica.

En otras palabras, se debe encontrar el "Peso Equivalente" de las partes rotatorias. Para los cuerpos rotatorios, la masa realmente distribuida alrededor del centro de rotación es equivalente; en su efecto, a la masa completa concentrada a una distancia, K, (radio de giro polar, en pies) de ese centro.

$WK^2$  es el peso del cuerpo multiplicado por el cuadrado del radio de giro. Si  $WK^2$  es conocido para los componentes rotativos del transportador; el peso equivalente de estos componentes, en la línea de faja, puede encontrarse resolviendo la ecuación.

Peso equivalente en libras:

$$WK^2 = \frac{2p*rpm^2}{v} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

$WK^2$  = Peso del cuerpo multiplicado por el radio de giro

V = Velocidad de la faja en ppm

P = Factor de conversión

El valor de  $WK^2$  (se expresa en lb-pie<sup>2</sup>), el cual es difícil de calcular excepto para formas muy simples, debe ser obtenido para cada componente del fabricante del transportador, del motor, de los elementos de la transmisión, etc.

Hasta ahora se han considerado las fuerzas en el sistema causadas por la inercia de las partes móviles del transportador, las partes móviles de la transmisión y la carga móvil. Otras dos fuerzas están incluidas. Estas son: (1) la fuerza resultante de fricción. (2) la fuerza resultante de elevar o bajar la carga de la faja. Estas

simplemente representan las componentes del peso del material y de la faja, en la dirección del movimiento de la faja, en varias porciones del transportador.

### **3.1.9. Selección de faja, poleas y ejes**

#### **3.1.9.1. Selección de fajas**

Si hablamos de selección de fajas, tendríamos que abarcar temas extendidos de la gran variedad que se pueden encontrar en el mercado, de las actividades a las que están sujetas y de las mejoras que se presentan según sea el caso. Es así que la selección de fajas que se realice en base a estos datos, solo estará sujeta a estos parámetros; habiendo por tanto muchos otros sistemas y métodos a tratar, debido a los continuos desarrollos en los campos de los elastómeros y de las fibras sintéticas usadas en las fajas transportadoras.

Para aplicaciones mayores de faja transportadora, deben analizarse el requerimiento de servicios completos del transportador para satisfacer las especificaciones finales.

Un análisis completo del sistema transportador por determinar las especificaciones de la faja transportadora requiere la consideración de los detalles de diseño siguientes:

- Material a transportar
- Valor de carga máxima o capacidad de carga requerida (tpm)
- Ancho de la faja en pulgadas
- Velocidad de la faja en ppm
- Perfil del Transportador
- Accionamiento

- Diámetros de la polea, estos pueden variar según requerimientos de la faja
- Tensores, dependen del modelo de la faja y la longitud.
- Tipo de arreglo de carga
- Temperatura de operación, dependiendo del clima en que se aplican
- Tipo de empalme de faja usado

Debido a que el sistema de la faja transportadora está compuesta de muchas partes importantes, ninguno es más económicamente importante que la propia faja; en la mayoría de los casos, representará una parte sustancial del costo inicial. Por consiguiente, la selección de la faja debe hacerse con gran cuidado.

En general, una faja transportadora consiste de tres elementos: la cubierta superior, el armazón y la cubierta inferior. El propósito principal de las cubiertas es proteger el armazón de la faja contra el daño y cualquiera de los factores de deterioro que puedan presentar en el ambiente donde funcionan. El armazón de la faja lleva las fuerzas de tensión necesarias en el arranque y el movimiento de la faja cargada, absorbe la energía de impacto del material de carga, y proporciona la estabilidad necesaria para la alineación apropiada y soporte de carga sobre los rodillos bajo todas las condiciones de carga.

Aunque estos elementos son tratados aquí como componentes separados, el funcionamiento exitoso depende de su funcionamiento en conjunto para proporcionar las características de faja globales necesarias.

Tabla 3.4. Servicio de calidad de la cubierta de la faja

Grado de la cubierta	Ventajas principales			Aplicaciones Generales
	Resistencia al corte y al impacto	Resistencia a la abrasión	Resistencia al aceite	
Grado 1	Excelente	Excelente	No recomendado	Grandes trozos de mineral, materiales de bordes cortantes, servicio extremadamente fuerte
Grado 2	Bueno	Excelente	No recomendado	Materiales clasificados con acción cortante limitada mayormente abrasión. Para operaciones de servicio pesado.
<b>Servicio Químico</b>				
Resistencia al aceite de cloropreno (neopreno)	Bueno	Muy Bueno	Muy buena para aceites de petróleo, suave para aceites vegetales y minerales.	Carbón rociado con aceite pesado (aceites de petróleo con más de 20% de aromáticos, Combustible Diesel 2)
Resistencia aceites N	Bueno	Bueno	Muy buena para aceites de petróleo, vegetales y minerales.	Servicio para Granos o semillas Aceitosas (glicina, maíz molido). Manejo Alimenticio. Carbón grasoso rociado con aceite pesado (aceite de petróleo con más de 40% de aromáticos, Aceite de Cocina 2)
Resistencia media a aceites.	Bueno	Bueno	Limitada para aceite de petróleo, vegetal y mineral)	Carbón Rociado suavemente, granos o semillas medianamente aceitadas, astillas de madera, fosfatos)

Fuente: Manual CEMA. Arreglos para faja transportadora.

## **Grados de fajas transportadoras y sus usos**

### **Faja grado 1**

La Faja Grado 1 tiene cubiertas hechas de caucho natural, caucho sintético, combinaciones de cauchos naturales y sintéticos, o combinaciones de cauchos sintéticos. Se seleccionan para proporcionar la combinación óptima de resistencia al corte, rayado y abrasión.

La Faja de Grado 1 tiene una capa delgada de compuesto de caucho entre pliegues. El tipo de compuesto de caucho usado con el tejido particular asegura el grado más alto de la vida de flexión.

### **Faja grado 2**

La Faja Grado 2 tiene cubiertas hechas de caucho natural, caucho sintético, combinaciones de cauchos naturales y sintéticos, o combinaciones de cauchos sintéticos. Las cubiertas se diseñan para proporcionar una buena resistencia a la abrasión, pero no con un grado tan alto de resistencia al corte y rayado como la de Grado 1.

La Faja de Grado 2 también tiene una capa delgada de compuesto de caucho entre los pliegues. El tipo de compuesto de caucho usado con el tejido particular proporciona una excelente vida de flexión para condiciones de servicio normales donde se usan diámetros de polea recomendados, y donde las condiciones de operación en conjunto son menos severas que aquéllos que requieren una faja transportadora de Grado 1.

## Tensión

El armazón de la faja debe, por supuesto, ser suficiente como para mantener la tensión requerida. La tabla 3.5 muestra la máxima tensión de funcionamiento aceptable para la construcción de fajas de pliegue múltiple con los empalmes mecánicos o vulcanizados.

Note que más de una combinación de esfuerzo de tejido y pliegues puede satisfacer el requisito de tensión dado. Por ejemplo, 5 pliegues de tejido MP 43 y 6 pliegues de tejido MP 35 tienen el mismo valor (aproximadamente 165 libras por pulgada de ancho) cuando se usa un empalme mecánico. En casos como este, otros factores listados o precios comparativos determinarán qué armazón se usará.

Tabla 3.5. Valores de tensión para fajas de pliegues

Identificación de tejido	Valor de Tensión , lb por pulg por pliegue	
	Empalme de Fijamiento Mecánico Normal	Empalme Vulcanizado Normal
Pliegue múltiple 35	27	35
Pliegue múltiple 43	33	43
Pliegue múltiple 50	40	50
Pliegue múltiple 60	45	60
Pliegue múltiple 70	55	70
Pliegue múltiple 90	-	90
Pliegue múltiple 120	-	120
Pliegue múltiple 155	-	155
Pliegue múltiple 195	-	195
Pliegue múltiple 240	-	240

Fuente: Manual CEMA. Arreglos para faja transportadora.

Los valores de tensión para fajas de pliegue reducido se establecen en base al valor entero de faja, en lugar de por pliegue. Así, los valores se expresan en las libras por pulgada de ancho de faja (PIW) y variarán según el fabricante y tipo de la faja. Como con las fajas

de pliegue múltiple, otros factores listados siguientes deben ser considerados también en la selección de la faja. Debido a la amplia variedad de tejidos, esfuerzos, construcciones y otras características ofrecidas en este tipo de faja; ninguna lista de valores normales puede publicarse, y es necesario consultar a los distintos fabricantes para datos específicos. La mayoría de los fabricantes ofrecen fajas de varios niveles de valor de tensión, cerca de aproximadamente 700 PIW, y hay algunas construcciones disponibles para cerca de 1 000 PIW o más.

### **3.1.9.2. Poleas para transportador**

#### **a. Tipos de polea**

La polea más comúnmente usada es la polea de acero standard (vea la Figura 4). Estas se fabrican en una amplia gama de tamaños y consisten en un anillo continuo con dos discos en los extremos, fijados por cubos de compresión. En la mayoría de poleas de lado ancho, se sueldan discos intermedios de refuerzo dentro del anillo. Otras poleas disponibles son las de tipo ala autolimpiable que se usan en cola, en tensores o en reenvíos, donde el material tiende a pegarse en la superficie de la polea; y las de tipo magnética, que se usan para quitar fragmentos extraños de acero del material transportado.

Poleas Estándar de Tambor de Acero: Están definidas por el American National Standards Institute (ANSI) como la norma número B105.1. La norma establece los rangos de carga, variación permisible de las dimensiones nominales, dimensiones permisibles del bombeado, y las dimensiones globales normalmente necesarias para establecer los claros para la ubicación de las partes

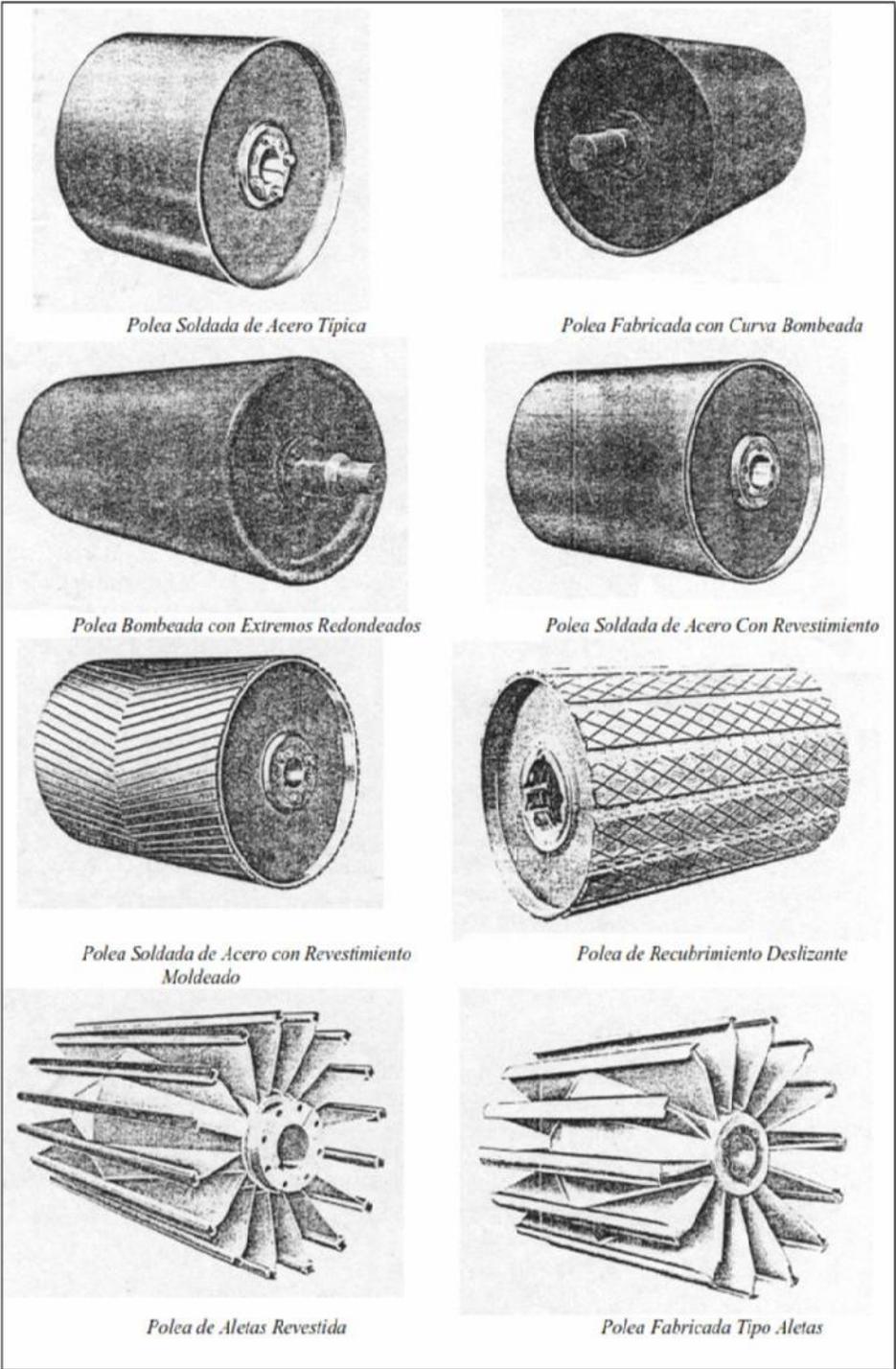
adyacentes. La norma se aplica a series de poleas soldadas de acero de superficie recta y bombeada, que tienen un anillo continuo y dos discos extremos; cada uno con un cubo de tipo compresión para proporcionar una fijación tipo abrazadera.

Los valores tabulados para las combinaciones de poleas de tambor y ejes, se basan en el uso de ejes sin soporte, con poleas ubicadas de forma centrada entre los rodamientos. Los valores se basan tanto en un esfuerzo máximo de flexión del eje de 8000 psi como en una deflexión de eje máxima en el cubo de la polea de 0.0023 pulg. /pulg., cualquiera de los dos. Se pueden requerir altos esfuerzos en el eje con poleas motrices para soportar los incrementos del esfuerzo en el eje por las cargas de torsión, cargas de suspensión superior o invertida de los rodamientos.

La norma ANSI B105.1 no es aplicable a poleas de disco simple, poleas de aletas, poleas fundidas o poleas que no utilicen cubos de compresión. La norma no intenta especificar los detalles de construcción distintos a los listados anteriormente anunciados. La norma cubre poleas de hasta 60" de diámetro con ejes de hasta 10" de diámetro y anchos de superficie de hasta 96"; por consiguiente, abarca la mayoría de combinaciones de poleas de acero soldadas con cubos de compresión que normalmente se usan en la práctica corriente de fajas transportadoras y elevadoras.

Las poleas soldadas de acero, cubiertas por la norma ANSI B105.1, no se deben usar con fajas con alma de acero u otras fajas con módulos altos, porque tales fajas crean concentraciones de esfuerzos y demandan tolerancias en su fabricación que están más allá de las capacidades de estas poleas. Tales fajas requieren poleas diseñadas individualmente.

Figura 4. Tipos de poleas para faja transportadora



Fuente: Manual CEMA. Poleas y ejes.

## **b. Ancho de superficie de polea**

El ancho de la superficie de polea es la longitud del anillo, aleta o barra de contacto a lo largo de la línea del eje. El ancho de la superficie para poleas estándar, es normalmente igual al ancho de la faja más 2 pulgadas, para anchos de faja de hasta 42 pulgadas y es el ancho de la faja más 3 pulgadas para anchos de faja por encima de 42 pulgadas. Los anchos de superficie de poleas "diseñadas" son generalmente de 6 a 12 pulgadas mayores al ancho de la faja para proporcionar un mayor claro. La faja transportadora no se debe salir más allá del borde de superficie de la polea.

Los anchos de las poleas del tambor estándar definidas por las normas ANSI son 20, 22, 26, 32, 38, 44, 51, 57, 63, y 66 pulgadas; para superficies de poleas de aletas estándar, también se incluyen 40, 54, y 60 pulgadas. Las variaciones en el ancho de la superficie, según normas ANSI, es  $\pm 1/8$  pulgada para todas las medidas de poleas de tambor, y  $\pm 1/4$  pulgada para todas las poleas de aletas. Las variaciones listadas en el ancho de la superficie pueden variar de una polea a otra. Las variaciones permisibles del ancho de superficie no se traducen como la tolerancia de carrera del borde. La tolerancia de carrera del borde se especifica por el fabricante individual de la polea

## **c. Pesos**

Se deben usar los pesos de polea para determinar la polea y la selección del eje. La Tabla B (ver anexos) da los pesos promedio para poleas de tambor de acero estándar. Los pesos listados son valores promedios. Si se requieren valores más exactos, es necesario obtener el peso real de la polea, debido a que hay

variaciones en la práctica industrial. Los pesos de poleas "diseñadas" dependen de las tensiones encontradas y pueden variar ampliamente.

#### **d. Revestimiento de las poleas**

Las poleas de los transportadores se pueden cubrir con alguna forma de caucho, tejido u otro material. El revestimiento se usa en las poleas motrices para aumentar el coeficiente de fricción entre la faja y polea. También se usa para reducir el desgaste abrasivo en la superficie de la polea y efectuar una acción de autolimpieza en la superficie de la polea. El desgaste por abrasión y la acumulación del material pueden disminuir la vida de la polea substancialmente. Las poleas motrices siempre se deben revestir. Las poleas no accionadoras se deben recubrir, sobre todo en el lado de transporte de la faja, siempre que existan condiciones abrasivas o de acumulación del material.

**Espesor y fijamiento:** El espesor del revestimiento pueden variar desde unas milésimas de pulgada, como en una cubierta rociada, a espesores de una a dos pulgadas, como algunas cubiertas de caucho sólido vulcanizada. Los métodos comunes de fijamiento son el empernado, el aglutinado, la soldadura por puntos y el vulcanizado. El revestimiento vulcanizado generalmente se prefiere para el servicio pesado o aplicaciones severas de servicio.

**Dureza del revestimiento:** El revestimiento de caucho normalmente usado en las poleas motrices tiene una dureza de  $60\pm 5$  en la Escala A. El revestimiento usado en poleas no accionadoras

puede tener una dureza de  $45\pm 5$  o  $60\pm 5$ , dependiendo de la aplicación.

**Revestimiento moldeado:** Las poleas motrices que operan en condiciones húmedas o mojadas son normalmente moldeadas. Estas ranuras generalmente toman la forma acanalada o modelos en forma "chevron", cortados en el revestimiento. Generalmente, las dimensiones de los moldes son de 1/4 pulgada de ancho por 1/4 pulgada de profundidad, con 1/8 pulgada de espesor mínimo del material bajo el fondo de caucho.

**Aplicaciones de altas tensiones:** Con las fajas de alma de acero y materiales con altos módulos, siempre se usa el revestimiento en las poleas motrices y se prefiere en poleas que están en contacto con el lado de transporte de la faja. Para una máxima vida de la polea y un revestimiento de faja seguro, se puede usar revestimientos en todas las poleas no accionadoras. El revestimiento para aplicaciones de altas tensiones debe ser de caucho vulcanizado sólido, mecanizado concéntricamente con el eje.

### **3.1.9.3 Sistema de ejes**

El eje adecuado a usarse con una polea de acero no se puede seleccionar convenientemente, de forma independiente al valor de la carga de la polea. De hecho, la capacidad de carga para una polea dada es función del eje instalado en esa polea. Se debe tratar al eje y a la polea como un ensamble estructural compuesto. Esto se debe a que la rigidez estructural del ensamble depende tanto del eje como de la polea y de su interacción.

El diámetro del eje requerido para un ensamble de polea es función de dos criterios, el diámetro de eje requerido por esfuerzo y el diámetro del eje requerido por deflexión. Dependiendo del ensamble de polea exacto, tanto el esfuerzo como la deflexión pueden ser el factor que determine la selección de diámetro de eje.

#### **a. Materiales para ejes**

El diseño de la polea se basa en el uso de cualquier material para eje, comercial o normal, tal como el acero AISI C1018 o C1045. Los valores de carga para poleas standard o de mina no se incrementan cuando se usan altos esfuerzos en el eje. Los altos esfuerzos en el eje son de valor en casos donde esto permite que los extremos del eje sean apoyados para que se puedan usar diámetros más pequeños, y rodamientos de mayor capacidad. También es a veces de valor, en ejes motrices, para resistir los aumentos de los esfuerzos torsionales. Cuando el uso de aceros de alta resistencia incrementa el esfuerzo del eje, su uso no disminuye la deflexión.

#### **b. Carga radial resultante**

La carga radial resultante de la polea es la suma vectorial de las tensiones de la faja, el peso de la polea y el peso del eje. La fuerza de los pesos siempre actúa hacia abajo, y las fuerzas de la faja en la dirección de la faja y a la salida de la polea. Cuando el eje de una polea motriz tiene una carga de suspensión superior exterior a las chumaceras de los rodamientos, como con un reductor montado en el eje o una transmisión por cadena, refiérase a norma para poleas de tambor estándar ANSI B105.1, para la inclusión de los efectos de la carga de suspensión superior.

### c. Dimensionamiento del eje por esfuerzo límite

La ecuación dada en la norma B105.1 para el diámetro del eje de la polea, bajo cargas de flexión y torsión (polea motriz sin carga de suspensión superior) es:

$$D^3 = \frac{32 * F.S.}{\pi} * \frac{M}{S_r} + \frac{3}{4} * \frac{T^2}{S_y} \dots\dots(5)$$

Los valores recomendados son:

F.S., Factor de Seguridad = 1.5

Sf, Límite Corregido de Fatiga del Eje = ka, kb, kc, kd, ke, kf, kg

Donde:

ka, factor superficial = 0.8 para eje mecanizado

kb, factor de tamaño = (D)<sup>-0.19</sup>

kc, factor de confiabilidad = 0.897

kd, factor de temperatura = 1.0 para temperaturas de -70 a +400°F

ke, factor de ciclo de servicio = 1.0

kf, factor de concentración de esfuerzo de fatiga:

0.63 para acero (BHN <200) con chaveta perfilada

0.77 para acero (BHN <200) con chaveta corrediza

0.50 para acero (BHN > 200) con chaveta perfilada

0.63 para acero (BHN > 200) con chaveta corrediza

(Los aceros listados se pueden considerar debajo de 200 BHN)

kg, factor mixto = 1.0 para servicio normal del transportador

$S_f^*$ , = 29,000 para C1018

= 41,000 para C1045

= 47,500 para C4140 (templado)

( $S_f^*$  = 0.5 esfuerzo último de tensión tabulado)

$S_y$ , esfuerzo de fluencia = 32,000 para C1018

45,000 para C1045

60,500 para C4140 (templado)

M = momento flector, lb-pulgadas,

T = momento torsor, lb-pulgadas,

Para ejes de poleas motrices con cargas de suspensión superior, están fuera del espacio entre las chumaceras de los rodamientos, tales como un reductor montado en el eje o una transmisión por cadena; refiérase a la norma ANSI B105.1 para poleas de tambor estándar o a los métodos vectoriales para la inclusión de los efectos de la carga de suspensión superior en MB.

El método mostrado anteriormente, también se puede usar para encontrar el tamaño permisible para los apoyos de los rodamientos, ajustando MB para el brazo del momento correcto y multiplicando MB y MT por los factores de concentración de esfuerzos para los apoyos del eje, y está disponible en muchos textos de ingeniería.

Para poleas no accionadoras,  $T = 0$ . En la norma ANSI B 105.1 para poleas de tambor estándar, se usa un valor de 8000 psi para  $S_f$

para poleas no accionadoras. En la norma ANSI 501.1 para poleas de aletas estándar, se usa un valor de 6000 psi para Sf.

### **3.1.10 Operación, mantenimiento y seguridad**

#### **a. Operaciones de una faja transportadora**

El funcionamiento de un sistema puede ser continuamente monitoreado mediante una combinación de controles eléctricos modernos, sensores y dispositivos de seguridad, circuito cerrado de TV, y otros sistemas de señales.

Dependiendo de la longitud y de la complejidad del sistema, uno o quizás dos mecánicos entrenados patrullarán el sistema o intervalos regulares, para detectar condiciones o componentes que necesiten atención.

En el tiempo de instalación y durante las corridas de prueba de un sistema transportador grande y complejo, es ventajoso ofrecer programas de instrucción y discusión a todo el personal que estará involucrado en la operación, seguridad, y mantenimiento del sistema. Tales programas deben repetirse a intervalos suficientemente frecuentes, para que el personal entrenado pueda actualizar su conocimiento y nuevos empleados se puedan convertir en instructores.

#### **b. Mantenimiento de la faja**

Es importante que el mantenimiento de la faja transportadora sea realizado solamente por personal bien entrenado y competente, evaluados mediante pruebas adecuadas de equipo y herramientas en buen estado. Ellos deben recibir entrenamiento

en la valoración y el comportamiento de un programa de mantenimiento preventivo comprensible.

Aunque un polín de rodillo atorado puede parecer sin importancia, el personal de mantenimiento debe darse cuenta que bajo una faja a alta velocidad que maneja material abrasivo, su superficie puede desgastarse muy pronto debido a la presencia del filo agudo que puede dañar severamente una faja costosa. El personal bien entrenado será capaz de detectar e impedir la falla en un caso así, y corregir el mal funcionamiento antes de que ocurra cualquier daño.

La faja casi siempre representa una gran parte del costo total del transportador. Debido a que la composición y construcción de la faja, la hace vulnerable a daños accidentales y/o desgaste acelerado; la operación y el mantenimiento de la faja merecen una atención especial y un buen programa de entrenamiento para minimizar los costos de reemplazo y de reparación.

El desgaste prematuro o los daños accidentales pueden ser el resultado de grados inapropiados de carga, tamaños o volúmenes de material transportado en la faja. Además, materiales extraños como fragmentos de hierro, clavos, astillas, y otros parecidos, pueden causar paradas y reparaciones costosas, cuando se introducen en el flujo.

El buen cuidado es esencial para una operación confiable y un mantenimiento de bajo costo. La acumulación del material en las placas puede romperse y eventualmente detener los polines de los rodillos, ocasionando un incremento de la tensión de la faja y un posible daño en ella. El derrame en el retorno de la faja puede también dañarla, cuando los trozos se aprietan entre la faja y

la polea. En algunos casos, pueden ser deseables rascadores en el tramo de retorno en el punto en que entra a la polea de cola.

Para optimizar la confiabilidad y productividad de los transportadores y para minimizar los costos de mantenimiento, será muy ventajoso tener en stock ciertos tipos de partes de repuesto. Un programa de mantenimiento bien desarrollado proporcionará equipos tanto eléctricos como mecánicos para las reparaciones de emergencia, además de incluir la provisión de partes, listas de las partes y los diagramas adecuados.

### **c. Seguridad**

Los muchos años de experiencia de los diseñadores y fabricantes líderes, han mostrado que el desarrollo y el mantenimiento de un lugar de trabajo seguro requieren el esfuerzo combinado y la cooperación de las muchas organizaciones que se involucrarán en la instalación y operación del transportador.

La seguridad de un transportador de faja comienza generalmente con un diseño de ruidos tal que, en lo posible, evite los peligros y riesgos previsible. Una atención a las consideraciones de seguridad se deben aplicar durante el proceso de fabricación, instalación y en el establecimiento de normas y procedimientos de operación y mantenimiento.

Generalmente, los accidentes que causan daños personales en relación con el transportador no son el resultado de la falla en el diseño o por la falla de los componentes. Se ha encontrado que la mayoría de los accidentes son ocasionados por el descuido humano, la negligencia o la falta de entrenamiento en las operaciones y de interés en los posibles riesgos. En muchas

ocasiones, el equipo transportador tendrá un registro de seguridad perfecta por algunos años; antes de que un comportamiento inadecuado o un trabajador descuidado cause o se vea envuelto en un accidente.

El amplio alcance y los finos detalles de la norma ASME B20.1 impiden que se explique de manera extendida. Sin embargo, es altamente recomendado que aquellos responsables del aseguramiento de la seguridad en el diseño, fabricación, instalación, operación y/o mantenimiento de los sistemas transportadores adquieran y usen la norma B20.1 como una guía y referencia.

## **3.2. Ductos de despolvorización**

### **3.2.1. Introducción**

Los procedimientos de diseño que se consideran a continuación son fundamentales para determinar las dimensiones de los conductos y las pérdidas de carga de un sistema de ventilación localizada por extracción (SVLE). Con estos resultados así obtenidos y el caudal de aire que debe moverse en el sistema, se definen las características del ventilador; tales como el tamaño, su tipo, el número de revoluciones del rotor y la potencia requerida.

Los conductos de un sistema de ventilación localizada deben cumplir las siguientes funciones:

- a) Llevar el aire contaminado desde las diferentes campanas al punto de descarga.
- b) Mediante un adecuado diseño, asegurar que en cada campana se capte el caudal de diseño requerido; calculado según los criterios vistos en el tema.

c) Asegurar la velocidad adecuada de transporte.

#### **3.2.1.1. Etapas preliminares**

Se deben contar con los siguientes datos:

1. Distribución en planta de los sectores de trabajo, de los equipos y sus dimensiones, etc.
2. Esquema del sistema de conductos, incluyendo las dimensiones en planta y en elevación, la ubicación del equipo de tratamiento y del ventilador, etc. Se debe identificar cada tramo de los ramales (conductos secundarios) y el conducto troncal (principal) con números y/o letras.
3. Un diseño previo o esquema de la campana a instalar para el control de cada operación.

#### **3.2.2. Ecuaciones utilizadas para el cálculo**

El aire es un fluido compresible; pero la presión, generalmente del orden de los 500 milímetros de columna de agua (mmcda) o su equivalente de 5000 pascales (Pa) de valor máximo y la temperatura, del orden de los 15 a los 45 grados Celsius (°C) que generalmente se producen en los conductos de un sistema de ventilación localizada, no afectan de manera significativa la densidad del aire. Por lo tanto, se supone al aire como un *fluido incompresible* y se utilizan las expresiones de BERNOULLI para estudiar el comportamiento del aire en los conductos de los sistemas de ventilación localizada. En caso contrario, hay que realizar las correcciones correspondientes.

El teorema de BERNOULLI demuestra que entre dos puntos, (1) y (2), de un conducto ideal sin pérdidas dentro del cual circula aire, considerado como un fluido incompresible, se cumple la siguiente expresión:

$$P_1 + \frac{v_1^2}{2g} \cdot \gamma + h_1 \cdot \gamma = P_2 + \frac{v_2^2}{2g} \cdot \gamma + h_2 \cdot \gamma \quad (\text{N/m}^2) \quad \dots\dots(6)$$

Donde:

$P_1$  y  $P_2$ : Presión estática absoluta en ( $\text{N} / \text{m}^2$ ), en los puntos (1) y (2). Es la presión que el aire ejerce sobre las paredes de un conducto y que tienden a hincharlo o colapsarlo.

$\frac{v_1^2}{2g} \cdot \gamma$  y  $\frac{v_2^2}{2g} \cdot \gamma$ : Presión dinámica en ( $\text{N} / \text{m}^2$ ), en los puntos (1) y (2). El aire que circula, con una velocidad  $v$ , tiene una energía cinética asociada requerida para que sea acelerado desde una velocidad cero hasta esa velocidad  $v$ .

$h_1 \cdot \gamma$  y  $h_2 \cdot \gamma$ : presión potencial en ( $\text{N} / \text{m}^2$ ), respecto a un plano de referencia en los puntos (1) y (2).

$v_1$  y  $v_2$ : velocidad de circulación dentro del conducto en ( $\text{m} / \text{s}$ ), en los puntos (1) y (2).

$h_1$  y  $h_2$ : altura geométrica en (m), con respecto a un plano de referencia en los puntos (1) y (2).

$\gamma_1$  y  $\gamma_2$ : peso específico del aire en ( $\text{N} / \text{m}^3$ ), que circula en el conducto, en los puntos (1) y (2).

La unidad correspondiente a cada término es una presión y representa la energía por unidad de volumen circulante:

$$(N / m^2) = (N \cdot m / m^3)$$

### 3.2.3. Ecuación de BERNOULLI

La energía por unidad de volumen que hay que entregarle al aire para vencer la acción de la gravedad, al elevarlo una cierta altura (**h**), es compensada por la disminución de la presión atmosférica que se produce al ascender el aire la misma altura. Luego el término de presión potencial se hace nulo en la expresión para el teorema de Bernoulli descrito líneas arriba y la ecuación se reduce a:

$$P_1 + v_1^2 / 2 / g \cdot \rho = P_2 + v_2^2 / 2 / g \cdot \rho \quad (N / m^2) \quad \dots(7)$$

En los sistemas de ventilación que se están , es más práctico trabajar con presiones estáticas referidas a la presión atmosférica en lugar de hacerlo con las presiones absolutas en los conductos.

Por lo tanto, restando en ambos miembros, la presión atmosférica resulta:

$$(P_1 - P_{atm}) + v_1^2 / 2 / g \cdot \rho = (P_2 - P_{atm}) + v_2^2 / 2 / g \cdot \rho \quad (N / m^2) \quad \dots\dots(8)$$

o Bien:

$$p_1 + v_1^2 / 2 / g \cdot \rho_1 = p_2 + v_2^2 / 2 / g \cdot \rho_2 \quad (\text{N} / \text{m}^2)$$

Donde:  $p_1 = P_1 - P_{\text{atm}}$  y  $p_2 = P_2 - P_{\text{atm}}$  son las presiones estáticas referidas a la presión atmosférica.

Una diferencia de presión puede expresarse

como:  $p = h \cdot \rho \quad (\text{N} / \text{m}^2)$

Donde:  $h$  (m) es la altura de columna de un fluido, colocado dentro de un manómetro en U y  $\rho$  ( $\text{N} / \text{m}^3$ ) es el peso específico de dicho fluido; si el fluido que contiene el manómetro es agua, resulta:

$$p = h_a \cdot \rho_a \quad (\text{N} / \text{m}^2) \quad \text{y entonces:}$$

$$h_a = p / \rho_a \quad (\text{mcda}) \dots\dots(9)$$

Donde:  $h_a$  (mcda): metros de altura de columna de agua y  $\rho_a$  ( $\text{N} / \text{m}^3$ ): peso específico del agua.

Entonces, si en la expresión (8) dividimos ambos miembros por  $\rho_a$ , resulta:

$$(P_1 - P_{\text{atm}}) / \rho_a + v_1^2 / 2 / g \cdot \rho_1 / \rho_a = (P_2 - P_{\text{atm}}) / \rho_a + v_2^2 / 2 / g \cdot \rho_2 / \rho_a$$

o sea:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (\text{mcda}) \dots (10)$$

Donde

$(P_1 - P_{atm}) / \rho = p_1 / \rho$  y  $(P_2 - P_{atm}) / \rho = p_2 / \rho$  : es la presión estática, en los puntos (1) y (2), referida a la presión atmosférica, que se expresa en altura de columna de agua y se denomina **h<sub>E</sub>**. La altura se indica en metros de columna de agua (mcda).

$v_1^2 / 2g$  y  $v_2^2 / 2g$  : es la *presión dinámica*, en los puntos (1) y (2), referida a la presión atmosférica y expresada también en metros de columna de agua (mcda) y se denomina **h<sub>D</sub>**.

Reemplazando en (10) resulta:

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} \quad (\text{mcda}) \dots (11)$$

Si ahora se considera que el conducto presenta pérdidas entre los puntos (1) y (2), resulta:

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} + h_{p1-2} \quad (\text{mcda}) \dots (12)$$

Donde

**h<sub>p1-2</sub>**: representa las pérdidas de presión entre los puntos (1) y (2), referidas a la presión atmosférica y expresadas en metros de columna de agua (mcda).

La ecuación (12) se utiliza para calcular las pérdidas de presión que se producen en los conductos de los sistemas de ventilación localizada.

Los valores de  $h_E$  pueden ser positivos o negativos, respecto a la presión atmosférica; en tanto que la presión dinámica  $h_D$  siempre es positiva.

La *presión total*  $h_T$  se define como la suma algebraica de las presiones estática y dinámica:

$$h_T = h_E + h_D \quad (\text{mcda}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

y reemplazando (13) en (12):

$$h_{T1} = h_{T2} + h_{p1-2} \quad (\text{mcda}) \quad \dots\dots\dots(14)$$

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica, y es una medida del contenido energético del aire, y va siempre descendiendo a medida que el aire se mueve a lo largo de un conducto. Solo aumenta cuando pasa a través del ventilador.

#### **3.2.4. Presión dinámica**

Todos los sistemas de extracción localizada, simples o complejos, emplean campanas de captación, un conjunto de conductos y accesorios, un sistema de tratamiento o depuración y el ventilador. Se debe recordar que un sistema complejo de extracción localizada es un conjunto de sistemas simples unidos a un conducto común.

Se debe:

- a. Diseñar las campanas de captación de acuerdo a la operación a controlar y calcular el caudal del diseño.
- b. Establecer la velocidad mínima en los conductos de acuerdo a la velocidad de transporte.
- c. Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima.
- d. Determinar el esquema de trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo recto y el número y tipo de codos y empalmes necesarios. Un tramo de conducto recto se lo define como un conducto de dimensiones generalmente uniformes, que unos dos puntos de interés, como campanas con codos o empalmes, codos o empalmes entre sí, codo o empalme con ventilador. La longitud del tramo recto a considerar en el diseño es la dimensión medida sobre el eje del conducto.

### **3.2.5. Procedimiento del diseño**

Todos los sistemas de extracción localizada, simples o complejos, emplean campanas de captación, un conjunto de conductos y accesorios, un sistema de tratamiento o depuración y el ventilador. Se debe recordar que un sistema complejo de extracción localizada es un conjunto de sistemas simples unidos a un conducto común.

### **3.2.6. Cálculo de las dimensiones de los conductos**

En esta etapa del proyecto se considera que los caudales a ser aspirados por cada una de las campanas conectadas a los

conductos, se conocen a partir de las expresiones de cálculo de caudales de las campanas.

La ecuación de continuidad del caudal volumétrico se expresa como:

$$Q = v \cdot A \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

Q : caudal de aire volumétrico en ( $\text{m}^3 / \text{s}$ ),

v : velocidad del aire en el conducto en ( $\text{m} / \text{s}$ ) y

A : área de la sección del conducto en ( $\text{m}^2$ ).

O sea que conocido el caudal de diseño, se reemplaza en (15), y resultan dos incógnitas: velocidad (**v**) y área (**A**). Es habitual que se elija la velocidad, denominada *parámetro de diseño*, siguiendo ciertos criterios que se verán más adelante, y se obtenga el área:

$$A = Q / v \quad (\text{m}^2) \quad \dots \dots \dots (16)$$

Cuando se conoce el caudal y el área del conducto, la expresión resultante, a partir de (15) es:

$$v = Q / A \quad (\text{m/s}) \quad \dots \dots \dots (17)$$

En los SVLE se eligen conductos circulares, salvo razones de fuerza mayor, en lugar de conductos rectangulares debido a que:

- a) Producen menores pérdidas por fricción, pues la sección circular es la que presenta menor perímetro a igualdad de área.
- b) No se requiere ocupar espacios reducidos como en el caso de los conductos rectangulares de aire acondicionado que se instalan en los edificios.
- c) Presentan mayor resistencia mecánica a la deformación cuando su presión interna es menor que la presión atmosférica.
- d) Tienen una distribución de velocidades más uniforme en su sección que la distribución correspondiente a conductos rectangulares, pues las velocidades en sus ángulos inferiores son prácticamente nulas. Así se logra transportar a las partículas en suspensión hasta el equipo de tratamiento, evitando que se depositen en los conductos y los obturen, cuando la velocidad es seleccionada de manera adecuada. Esta velocidad es denominada *velocidad de transporte*.

Por lo tanto, para conductos circulares, la ecuación (16) resulta ser:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = Q / v \quad (\text{m}^2) \quad \dots\dots\dots (18),$$

y despejando el diámetro resulta:

$$D = (4 / \pi \cdot Q / v)^{1/2} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots(19).$$

Cuando se conoce el caudal y el diámetro del conducto circular, la ecuación (17) se transforma en:

$$v = Q / (\pi / 4 \cdot D^2) \quad (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots(20)$$

A partir de aquí, salvo referencia en contrario, se considerará el empleo de conductos circulares en los casos que se analicen.

### **3.2.7. Criterios de selección de la velocidad del aire en los conductos**

La selección de una velocidad dentro de un conducto depende de las características de los contaminantes captados en la campana de aspiración.

a) Cuando se trata de polvos se debe seleccionar una velocidad mínima adecuada para su transporte. Se denomina *velocidad de transporte o de diseño* a aquella que permite que los polvos lleguen a los equipos de tratamiento y no sedimenten en los conductos, lo que provocaría su obturación. Los rangos de velocidades recomendadas para distintos tamaños de polvos están dados en la Tabla C (ver anexo 1, tablas).

Las velocidades de transporte en los conductos no deben superar los 30 m/s debido a que:

a.1) Se incrementan las pérdidas de carga, aumentando la potencia requerida para la circulación del aire.

a.2) Se incrementa la acción abrasiva de los polvos, que depende de sus características, aumentando el desgaste de los conductos y sus accesorios, incrementando los gastos de mantenimiento del sistema de ventilación.

a.3) Se incrementa el ruido producido por el aire y los polvos que este transporta.

a.4) Se incrementan las vibraciones de los conductos, obligando a una sujeción de los mismos más costosa.

b) En el caso de tratarse de gases o vapores, estos se diluyen en el aire y la velocidad de diseño, que se obtiene a través de un cálculo económico; suele estimarse entre 5 y 10 m / s. Este rango depende de la estructura de costos de los diferentes países para los materiales, la energía, los ventiladores y los motores eléctricos.

b.1) Cuando la velocidad aumenta, a igual caudal, disminuye la sección y se incrementan las pérdidas en los conductos, en tanto que disminuyen los costos de instalación por ser las cañerías de menor tamaño.

b.2) Cuando la velocidad disminuye, aumenta la sección de la cañería, disminuyendo las caídas de presión, y aumentando los costos de la instalación.

Resumiendo, para polvos:

$$v_{\min} = f(\text{tamaño polvos}) - v_{\max} = 30 \text{ m / s .....(21)}$$

$$\text{Para gases y vapores: } v_{\text{óptima}} = 5 - 10 \text{ m / s.....(22)}$$

A partir de la selección de una velocidad, adecuada al contaminante que se transporta, se está en condiciones de calcular el diámetro del conducto requerido; utilizando la expresión (19).

Para los conductos que transportan polvos de debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente

inferior a la calculada, con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria.

### 3.2.8. Métodos de diseño

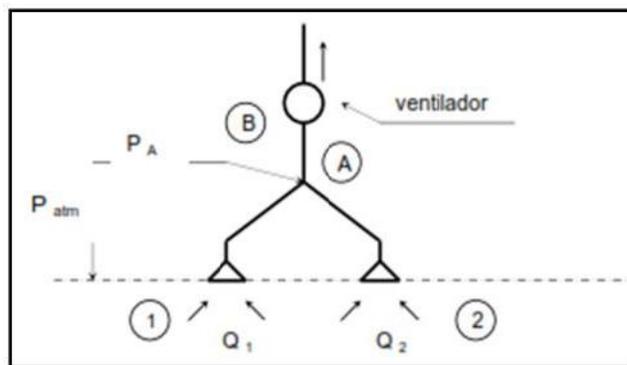
A continuación se describen los principales métodos de diseño.

#### 3.2.8.1 Funcionamiento de un sistema de ventilación localizado por extracción

Se tiene un sistema constituido por dos campanas 1 y 2, con sus respectivos conductos que concurren a un empalme, que se denomina *nudo*, y que aspiran los caudales  $Q_1$  y  $Q_2$  mediante un ventilador ubicado al final del tramo A-B según lo indicado en la Figura 5.

Se considera conveniente para minimizar las pérdidas, que a cada nudo concurren solo dos tramos, denominados ramales, y salga un tercer conducto, denominado troncal.

Figura 5. Esquema de funcionamiento



Fuente: Diseño de ductos, esquema de funcionamiento.

Como las campanas están conectadas al ambiente, la presión existente en el frente cada una de ellas es igual a la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ). La presión ejercida en el nudo A la denominamos  $P_A$ . La caída de presión que se produce a lo largo del tramo 1-A es:

$$P_{1-A} = P_{atm} - P_A \text{ (N / m}^2\text{)} \dots\dots\dots(23)$$

y la caída de presión a lo largo del tramo 2- A es:

$$P_{2-A} = P_{atm} - P_A \text{ (N / m}^2\text{)} \dots\dots\dots(24)$$

Comparando las ecuaciones (23) y (24), se concluye que:

En un sistema de ventilación localizado por extracción en funcionamiento, para todos los caminos, que comienzan en distintas campanas y terminan en un mismo nudo; la caída de presión estática es siempre la misma.

O sea: en la práctica siempre se produce lo que se denomina “*equilibrio de la presión estática en cada nudo*”, que determina que el caudal total de aire aspirado por el ventilador se distribuya de forma automática entre los diferentes tramos, de acuerdo a las resistencias que presentan cada uno de ellos.

El objetivo de un sistema de ventilación localizado por extracción es lograr que en cada campana se aspire un caudal de aire que, como mínimo, sea igual al caudal de aspiración de diseño, y que ha sido calculado en la etapa correspondiente al diseño de las campanas de captación, cumpliendo de esa forma con el objetivo primordial de la protección a la salud.

Para lograr la distribución adecuada del caudal total entre las campanas de aspiración, el proyectista dispone de dos métodos de cálculo: el “Método de equilibrio por compuertas” y el “Método de equilibrio por diseño”.

### **3.2.9. Método de equilibrio por compuertas**

En este método el criterio de diseño consiste en calcular los diámetros de los conductos utilizando la ecuación (19), donde el caudal ( $Q$ ) es el caudal de diseño de la respectiva campana de captación y ( $v$ ) es la velocidad de transporte correspondiente al contaminante captado. En cada empalme se suman los caudales de las corrientes aportadas por los conductos que concurren al mismo, y con este nuevo caudal y la velocidad de transporte elegida se calcula el área y el diámetro del troncal. Este cálculo se reitera hasta llegar al punto de descarga del sistema.

Con estos diámetros así calculados, se diseña el sistema y se lo instala, con el agregado de compuertas de regulación, a la salida de cada campana. Cuando el sistema se pone en funcionamiento, las compuertas se ajustan para lograr el caudal de diseño en cada campana. El ventilador instalado debe tener la potencia adecuada para satisfacer las necesidades del sistema.

### **3.2.10. Método de equilibrio por diseño**

El método propuesto consiste en lograr la distribución de los caudales en los distintos tramos, que deben ser iguales o mayores que los caudales de diseño, sin el empleo de las compuertas de regulación. El cálculo comienza en las campanas conectadas a conductos con mayores resistencias, y a partir del caudal de diseño establecido para cada una de ellas, se elige la velocidad de

transporte mínima adecuada al contaminante generado y se calcula el área y las dimensiones de cada conducto que concurren a un mismo nudo.

A partir de las longitudes de los tramos rectos y de los accesorios de esos conductos, se calculan las pérdidas de carga de los mismos y se las comparan entre sí. Si no son iguales, es decir que no se logra el equilibrio de presión estática en el nudo considerado, se modifican las variables de cálculo hasta lograr dicho equilibrio. A partir de allí se sigue avanzando siguiendo el trazado de los conductos, nudo a nudo, hasta terminar en la descarga del sistema. Cada vez que se llega a un nudo debe verificarse el cumplimiento del equilibrio de la presión estática, siguiendo el camino desde cada una de las campanas consideradas hasta el nudo analizado. Este procedimiento de cálculo se explicará en detalle más adelante.

### **3.2.11. Ventajas y limitaciones de ambos métodos**

Algunas de las ventajas y limitaciones de ambos métodos son las siguientes:

#### **3.2.11.1. Método de equilibrio por compuertas**

Los caudales pueden ser modificados fácilmente. Estos cambios son necesarios cuando el proceso productivo puede verse afectado si las campanas captan cantidades excesivas del producto.

Estos sistemas siempre deben equilibrarse in situ, o sea deben ser ajustadas las compuertas de regulación en las posiciones definitivas de funcionamiento.

Permiten una mayor flexibilidad para futuros cambios o ampliaciones.

La corrección de caudales mal calculados es relativamente simple, dentro de ciertos márgenes.

Se permiten pequeñas variaciones respecto al esquema inicial del proyecto.

Los operarios pueden alterar las posiciones de las compuertas, para obtener condiciones de confort regulando la intensidad de las corrientes de aire producidas por cada campana, con los consiguientes problemas debido al mal funcionamiento del sistema.

Cuando se transportan polvos en las compuertas parcialmente cerradas, se pueden producir abrasiones debido al aumento de la velocidad en el conducto, que las deterioran y deben luego ser reemplazadas con el inconveniente de tener que equilibrar nuevamente el sistema.

Pueden generarse acumulaciones de polvos.

Los conductos se pueden obstruir si la compuerta está muy cerrada.

Se puede conseguir el equilibrio con el caudal teórico de diseño; pero el consumo de energía es casi siempre mayor debido a la existencia de las compuertas, que producen resistencias adicionales al sistema.

### **3.2.11.2. Método de equilibrio por diseño**

No se presentan problemas de abrasiones inusuales o acumulación de polvos en los conductos, si se eligen las velocidades de transporte correctas.

Los caudales no pueden ser modificados fácilmente por los trabajadores o a requerimientos del operador.

Poca flexibilidad para adaptar el sistema a cambios futuros o ampliaciones.

Si la selección de un caudal de diseño, de una operación no conocida, es errónea puede ser necesaria la revisión de los cálculos de los conductos.

El caudal total del proyecto puede ser mayor que la suma de los caudales de diseño, debido a la necesidad de caudales adicionales para lograr el equilibrio del sistema.

El proyecto del diseño debe ser realizado en detalle con las medidas exactas de todas las longitudes de los tramos y las características de los accesorios. La ejecución de la instalación debe ajustarse exactamente al proyecto.

### **3.2.13. Cálculo de un sistema por el método de equilibrio por diseño**

Generalmente, en las instalaciones industriales se utilizan sistemas de ventilación calculados mediante el método de equilibrio por diseño.

Las pérdidas de presiones estáticas que se producen al circular el aire a través de una campana y por el conducto

conectada a ella, hasta el nudo correspondiente, se clasifican en tres tipos:

1. Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos: **h 1**
2. Pérdidas localizadas por accesorios (o por singularidades): **h 2**
3. Pérdidas por entrada: **h 3**

Estas pérdidas se expresan en milímetros de columna de agua (mmcda).

La suma de estas pérdidas, constituye la *altura de pérdida de presión estática total* del tramo considerado, y se la denomina **h**, que también se expresa en milímetros de columna de agua, y se la identifica agregando la denominación del tramo correspondiente.

Si se expresa la pérdida de presión estática total del tramo identificado como 1-A (Figura 5), resulta:

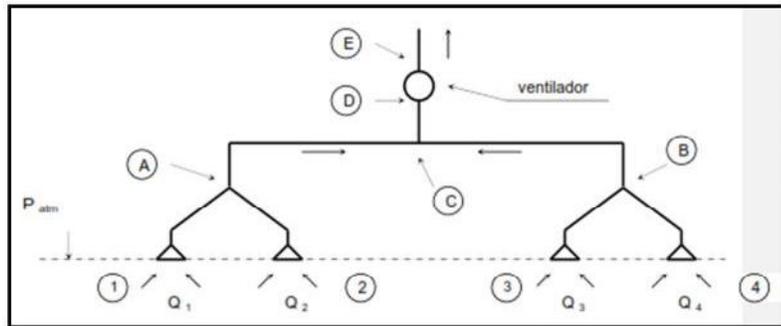
$$h_{1-A} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (\text{mmcda}) \dots \dots \dots (25)$$

Supóngase que se tiene un sistema de ventilación localizado por extracción constituido, por ejemplo, por cuatro campanas de acuerdo al Figura N° 6.

Se aplica el principio de funcionamiento ya visto, válido para cualquier SVLE, que establece que para todos los caminos, que comienzan en las distintas campanas y terminan en un mismo nudo, la caída de altura de presión estática total es siempre la misma.

Las condiciones de equilibrio en cada nudo son:

Figura 6. Esquema de trabajo con múltiples colectores



Fuente: Diseño de ductos, esquema de funcionamiento.

Para los tramos 1-A y 2-A, que concurren al mismo nudo A, se cumple que:

$$h_{1-A} = h_{2-A} \quad (\text{mmcda}) \dots \dots \dots (26),$$

y para los tramos 3-B y 4-B, que concurren al mismo nudo B, se cumple que:

$$h_{3-B} = h_{4-B} \quad (\text{mmcda}) \dots \dots \dots (27)$$

Cuando se analiza el equilibrio que se alcanza en el nudo C, se cumple que:

$$h_{1-A} + h_{A-C} = h_{2-A} + h_{A-C} = h_{3-B} + h_{B-C} = h_{3-B} + h_{B-C} \quad (\text{mmcda}) \dots \dots \dots (28)$$

Es decir que por cualquiera de los cuatro caminos que llevan desde cada una de las cuatro campanas al nudo C, las pérdidas de presión totales son siempre las mismas.

La igualdad  $h_{A-C} = h_{B-C}$  se cumple solo cuando las alturas de las pérdidas de presión de los tramos 1-A / 2-A son iguales a las pérdidas de presión de los tramos 3-B / 4-B.

Si en el sistema indicado en la Figura 6 se verifican, por ejemplo, los valores:

$h_{1-A} = h_{2-A} = 50$  mmcda,  $h_{3-B} = h_{4-B} = 70$  mmcda y  $h_{A-C} = 35$  mmcda, el valor del tramo B - C debe ser de 15 mmcda, ya que así se cumple la expresión (28):

$$50 + 35 = 70 + 15 = 85 \text{ mmcda.}$$

Se comprueba entonces que para la situación analizada:

$$h_{A-C} = 35 \text{ mmcda} \quad h_{B-C} = 15 \text{ mmcda}$$

Cuando se desea calcular un SVLE, por el método de equilibrio por diseño, los pasos a seguir son:

1. Calcular los diámetros de los conductos, para que cumplan con las necesidades del proyecto.
2. Determinar las pérdidas de presión de los tramos, que incluyen las pérdidas de las campanas, que concurren a un nudo dado.
3. Comparar las pérdidas de presión correspondientes.
4. Si las pérdidas de presión resultan equilibradas, es decir, son iguales entre sí, se adoptan las características de los conductos previamente calculados.
5. En caso contrario, se deben variar las características de los conductos, manteniendo o aumentando pero nunca disminuyendo los caudales, hasta lograr el equilibrio buscado.

6. Se continúa con el diseño avanzando de nudo a nudo hasta llegar al último nudo. En cada nudo se deben satisfacer las condiciones de equilibrio, comenzando el tramo bajo estudio siempre en una campana.

Cuando el SVLE se construye y pone en marcha, siempre funcionará en condiciones de equilibrio. Si el proyecto se realizó teniendo en cuenta esas condiciones de equilibrio, los parámetros de diseño coincidirán con los parámetros reales de funcionamiento.

### **3.3. Tolvas de descarga (chutes)**

#### **3.3.1. Chutes de transferencia**

En esta ocasión nos enfocamos en los chutes de transferencia convencionales: su función, diseño y especificaciones. Discutiremos una variedad de métodos que pueden usarse para manejar de manera segura el flujo de material, disminuir el desgaste y controlar el flujo de aire para minimizar el polvo y los derrames, y preservar la vida útil del chute. Además se incluye una ecuación para calcular los ángulos de valle.

Un transportador recibe su carga de otros transportadores, contenedores de almacenamiento, alimentadores, equipo móvil, vagones de tren u otros sistemas de manejo de materiales. Aunque las fuentes pueden variar de los materiales casi siempre son transferidos al transportador receptor a través de un dispositivo llamado chute de transferencia.

Puesto que cada material y cada aplicación tienen sus propias características, un chute de transferencia eficaz debe ser más que solo un contenedor hueco a través del cual se canaliza el material. Un chute bien diseñado controlará la trayectoria del flujo del material, evitará bloqueos y minimizará los derrames y el polvo, reduciendo así los costos de mantenimiento de la planta. El diseñador de un chute eficaz debe considerar no solo las características del material a granel, los cuales pueden variar con el tiempo; sino también la interacción del material con las diferentes partes del sistema en general.

### **3.3.2. Funciones de un chute de transferencia convencional**

Un chute de transferencia convencional cumple su propósito cuando logra los siguientes objetivos.

- a. Proporcionar la transferencia de material a granel a la tasa de diseño especificada sin crear obstrucciones.
- b. Proteger de lesiones al personal
- c. Minimizar el escape de materiales fugitivos.
- d. Regresar las raspaduras de la banda al flujo de material principal.
- e. Ser de fácil mantenimiento.

Puesto que los transportadores no son autónomos sino parte de sistemas complejos, a menudo es necesario hacer ajustes durante el diseño. Por lo tanto, estos objetivos no son requerimientos absolutos sino más bien las metas del diseño de un chute de transferencia eficaz.

Hay muchas normas generales para el diseño de chutes de transferencia convencionales que se basan en la experiencia y principios de ingeniería. Algunas veces estas reglas se superponen o entran en conflicto. El diseño de una canaleta es una combinación de ciencia y arte, por lo que siempre es prudente consultar a un ingeniero de transportadores con experiencia en los sistemas de diseño para las aplicaciones en el manejo de materiales a granel específicos.

### **3.3.3. Transferencia de material**

La función principal de una canaleta de transferencia es de transferir de manera confiable el material a granel a la tasa de flujo especificada. Si el material no fluye de manera confiable por la canaleta, entonces todos los demás objetivos son irrelevantes.

Los materiales a granel deben fluir a través de una canaleta de transferencia de manera uniforme y consistente. Un chute de transferencia que coloca sobrecargas de material en una banda transportadora acarrea una serie de problemas al sistema de un transportador. Los depósitos pesados y periódicos de material en una banda pueden provocar que el centro de gravedad cambie y la banda quede desalineada. La sobrecarga también tiene el potencial de estresar demasiado los componentes del sistema de un transportador, especialmente el motor de impulsión o el sistema de soporte para bandas y puede conllevar a problemas de obstrucción si el área transversal de la canaleta es demasiado pequeña.

Métodos nuevos, por ejemplo, el método de moldeado de elemento discreto (DEM) basado en computadora, ahora están disponibles para verificar que el material fluirá de manera confiable. La gran mayoría de los chutes convencionales aún están diseñados en base a las normas generales que siempre se usan.

### **3.3.7. Trayectoria del material**

La ruta del material a granel toma una medida que se descarga al transportador de entrega, a la que se llama trayectoria. La trayectoria es afectada por la velocidad de la banda, el ángulo de inclinación de la banda de descarga y el perfil de material sobre la banda. En un diseño de un chute de transferencia convencional, la trayectoria se representa y usa como un punto de inicio para estimar dónde el flujo del material se impactará primero contra la pared chute principal. A partir de ahí se asume que el flujo del material rebotará de la pared de la canaleta en forma parecida a un rayo de luz que se dobla como una serie de espejos.

Los errores más comunes que se cometen es esta etapa son desarrollar una trayectoria de material inicial incorrecta y no considerar los efectos de la fricción cuando se calculan los rebotes subsiguientes del flujo de material en las paredes del chute de transferencia.

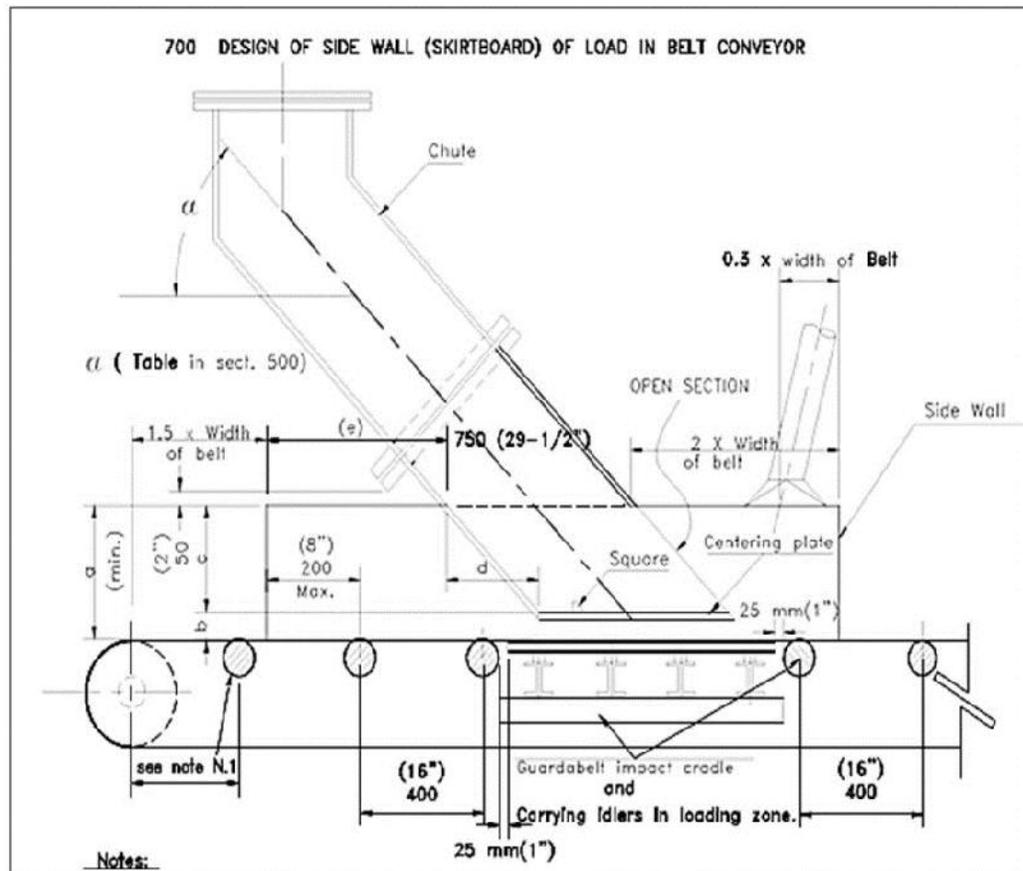
La opinión actual en chutes de transferencia es controlar el flujo de material a granel e impedir que caiga libremente desde la banda de descarga a la receptora, con este método controlado el diseñador asume que la sección transversal del material no se extiende o abre significativamente. Las alturas de descarga se

minimizan para ayudar a reducir la degradación del material, la creación del polvo y el desgaste de la banda receptora.

Este método requiere cierto conocimiento de los valores de fricción del material y los valores del chute de transferencia. El método de DEM se está usando en el diseño de chutes convencionales para ayudar al diseñador a evaluar los defectos de las propiedades cambiantes, como por ejemplo, el coeficiente de fricción.

### 3.3.8. Distancia, ángulo y superposición en transportadores

Figura 7. Espaciamientos e Inclinaciones para transportadores



Fuente: Manual CEMA. Bandas transportadoras, tránsito de material.

### **3.3.10. Manejo de desgaste y el flujo de material**

#### **a. Deflectores**

Los deflectores pueden usarse dentro de una canaleta de transferencia para absorber el impacto y minimizar el desgaste, empezando en el punto donde la trayectoria de material se encuentra primero con la canaleta principal (Figura 7). Es importante proporcionar suficiente espacio libre entre un deflector y la polea de cabeza del transportador de descarga para evitar que los terrones grandes bloqueen el paso o que el material cohesivo se adhiera a la placa, lo cual podría causar la obstrucción de la canaleta de transferencia.

Una vez que el flujo de material abandone el primer punto de contacto con la canaleta, puede ser necesario afinar el flujo del material durante el arranque del sistema. Los deflectores, o placas de arranque, a menudo se incluyen en el plan original o se instalan en el arranque para direccionar el flujo del material.

Durante el arranque de un nuevo sistema del transportador, es una práctica común instalar deflectores dentro de la canaleta de carga para ayudar a centrar la carga. El proceso de obtener la trayectoria de flujo deseada a través de la canaleta a menudo es de prueba y error. Estas placas deflectoras deben ajustarse en la planta para que puedan volver a posicionarse hasta lograr el efecto deseado. Deben ser accesibles para permitir un reemplazo eficaz. Los puntos de inspección y acceso son críticos para observar y mantener la dirección apropiada de los materiales desviados.

### 3.4. Análisis estructural: Criterios de diseño

#### Generalidades

El análisis estructural consiste en la determinación del efecto de las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con objeto de efectuar las comprobaciones de los Estados Límites Últimos.

Dicho análisis debe realizarse, para las diferentes situaciones del proyecto, mediante modelos estructurales adecuados que consideren la influencia de todas las variables que sean relevantes.

#### 3.4.1. Idealización de la estructura

##### a. Modelización de los elementos

Para el análisis, los elementos estructurales se clasifican en:

**Unidimensionales:** Cuando una de sus dimensiones es mucho mayor que las restantes,

**Bidimensionales:** Cuando una de sus dimensiones es pequeña comparada con las otras dos

**Tridimensionales:** Cuando ninguna de sus dimensiones resulta sensiblemente mayor que las otras.

El proyectista deberá elegir, en cada caso, el tipo de elemento más adecuado para que el modelo estructural reproduzca adecuadamente el comportamiento buscado de dicho elemento.

En estructuras metálicas, la mayoría de los elementos pueden considerarse unidimensionales (vigas, soportes, arcos, vigas balcón, rigidizadores, elementos de estructuras triangulares, etc.) o

bidimensionales (paneles, diafragmas, placas, láminas, bases, cartelas, etc.)

A su vez, para el análisis de cierto tipo de efectos (abolladura, por ejemplo), los distintos paneles de chapa de elementos unidimensionales deben modelizarse como bidimensionales, sometidos a acciones en su plano.

Para que un elemento metálico pueda considerarse unidimensional su longitud debe ser, como mínimo, el doble del canto total.

Los efectos del arrastre por cortante resultan de especial importancia en el caso de secciones metálicas cerradas con alas anchas. En el caso de secciones cajón para puentes, por ejemplo, donde dichos efectos deben también analizarse separadamente para las condiciones de las diferentes fases de montaje de tableros continuos.

En general, podrían ignorarse los efectos de la abolladura de paneles comprimidos en las condiciones de rigidez del análisis estructural global, cuando afecten a paneles de alma o cuando el área de la sección reducida eficaz de los paneles comprimidos de ala sea inferior al 60% del área de la sección transversal bruta.

La consideración de la influencia de todos estos fenómenos en la modelización estructural puede ser diferente, según se desee analizar la respuesta de la estructura en estados límites últimos, de servicio o de fatiga.

### 3.4.2. Análisis global

#### 3.4.2.1. Métodos de análisis

Las condiciones que, en principio, debe satisfacer todo análisis estructural son las de equilibrio y las de compatibilidad, teniendo en cuenta el comportamiento tenso-deformacional de los materiales. Los métodos de cálculo para abordar el análisis global de una estructura se clasifican en:

**a) Análisis lineales.** Se basa en las hipótesis de comportamiento elástico-lineal de los materiales constitutivos y en la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar (análisis en primer orden).

**b) Análisis no lineales.** Te que tienen en cuenta la no linealidad mecánica, esto es, el comportamiento tenso-deformacional no lineal de los materiales y la no linealidad geométrica; es decir, la consideración de las condiciones de equilibrio sobre la estructura formada (análisis en segundo orden).

Los análisis no lineales pueden considerar, a su vez, una sola o ambas de las causas de la no linealidad citadas. Las verificaciones correspondientes al Estado Límite de fatiga se realizarán a partir de los resultados de un análisis global lineal de la estructura.

Una estructura muestra un comportamiento no lineal cuando no existe proporcionalidad entre la acción y la respuesta. La no linealidad de estructuras metálicas se manifiesta, generalmente, en fases avanzadas de carga, como consecuencia de alcanzarse en ciertas fibras el límite elástico del acero y/o del inicio del desarrollo de los efectos geométricos de segundo orden en elementos y/o

chapas esbeltas de secciones transversales. Sus efectos bajo acciones de servicio son generalmente, despreciables.

### **3.4.3. Análisis global elástico**

El análisis global elástico se basa en la hipótesis de un comportamiento indefinidamente lineal de la ley tensión-deformación del acero.

Se trata de un método lineal que admite el principio de superposición.

Su aplicación para el control de los Estados Límites de Servicio y de fatiga de estructuras metálicas obliga a considerar los efectos de:

- Los diferentes esquemas resistentes y de aplicación de las cargas en el caso de montajes evolutivos.
- Las acciones térmicas (dilatación y gradiente).
- Las acciones inducidas por descensos de apoyos o cualesquiera deformaciones impuestas aplicables a la estructura.

Se permite no considerar dichos efectos en el control de los Estados Límites Últimos de la estructura si todas las secciones críticas, o potencialmente críticas, son de Clase 1.

### 3.4.4. Clasificación de las secciones

#### 3.4.4.1. Transversales

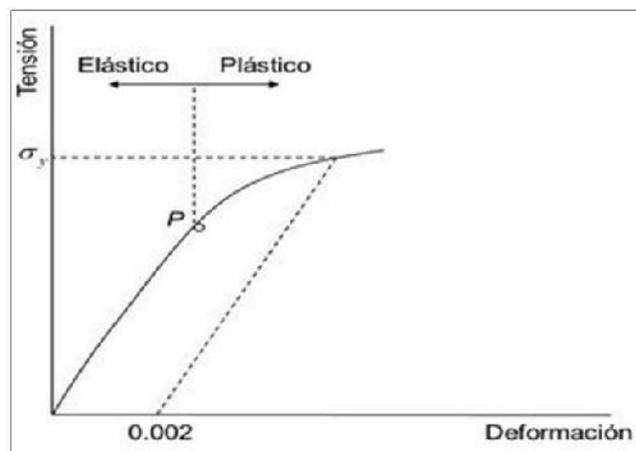
##### Bases

La agrupación de las secciones metálicas en cuatro clases permite identificar en qué medida la posible aparición de fenómenos de inestabilidad local (abolladura) en sus zonas de chapa comprimidas puede afectar a:

Su resistencia, identificando la capacidad de las mismas para alcanzar o no sus momentos resistentes elásticos o plásticos (Figura 8).

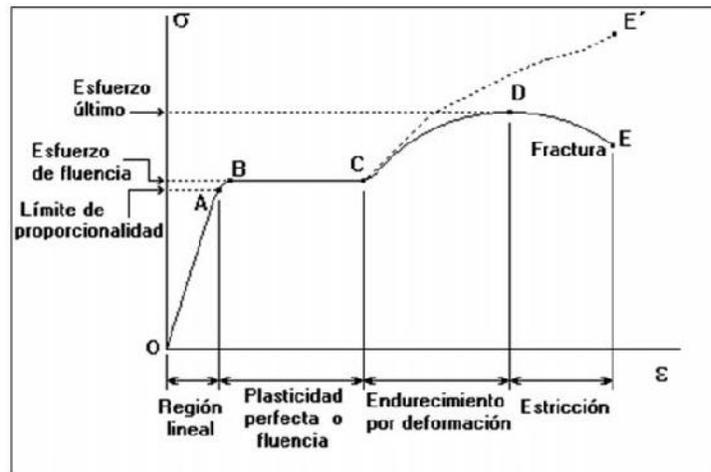
Su capacidad de rotación, identificando la aptitud de las mismas para desarrollar o no las curvaturas últimas exigibles para un análisis global de esfuerzos de la estructura por métodos elásticos o plásticos (Figura 9).

Figura 8. Momento de resistencia elástico o plástico



Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Robert L. Mott.  
Análisis de Tensiones.

Figura 9. Diagrama elasto-plástico hasta rotura de un metálico continuo en función de la clase de las secciones metálicas



Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Robert L. Mott.  
Mecánica de materiales, tensión, compresión y cortante.

### 3.4.4.2. Clasificación de las secciones transversales metálicas

En función de la sensibilidad de su respuesta resistente a los fenómenos de inestabilidad de chapas, se definen cuatro clases de secciones transversales metálicas (Figura 8 y 9).

**Secciones de clase 1** (plásticas). Son aquéllas que alcanzan, sin verse afectadas por fenómenos de abolladura en sus zonas comprimidas, su capacidad resistente plástica y permiten desarrollar, sin reducción de la misma, la capacidad de rotación exigible a una rótula en un análisis global plástico.

**Secciones de clase 2** (compactas). Son aquéllas que pueden alcanzar su momento resistente plástico, pero en las que los

fenómenos de abolladura limitan su capacidad de rotación por debajo de las exigencias de aplicabilidad del análisis global plástico.

**Secciones de clase 3** (semicompactas). Son aquéllas en las que la tensión en la fibra metálica más comprimida, estimada a partir de una distribución elástica de tensiones, puede alcanzar el límite de elasticidad del acero; pero en las que los fenómenos de abolladura impiden garantizar el desarrollo de la deformación necesaria para alcanzar el momento resistente plástico de la sección.

**Secciones de clase 4** (esbeltas). Son aquéllas en las que los fenómenos de inestabilidad de chapas comprimidas limitan incluso el desarrollo de su capacidad resistente elástica, no llegando a alcanzarse el límite elástico del acero en la fibra metálica más comprimida.

- a) El límite elástico del acero de la sección.
- b) La geometría de la sección y, en particular, la esbeltez (relación dimensión / espesor) de sus chapas parcial o totalmente comprimidas.
- c) Las posibles vinculaciones laterales de las zonas comprimidas.
- d) El signo de la flexión, en el caso de secciones no simétricas respecto de su fibra neutra.

### 3.4.4.3. Anchura eficaz para acciones localizadas aplicadas en el plano del alma

La aplicación de cargas localizadas en el plano de un alma metálica, a través de la platabanda del ala, da lugar a una distribución de tensiones normales, en dirección transversal a la directriz del elemento, cuya difusión elástica en el plano del alma sigue una ley no lineal que puede aproximarse según la siguiente expresión:

$$z, Ed = Fed / be (t+ast ) \dots\dots\dots(29)$$

Donde:

$z, Ed$  = Valor de cálculo de la tensión normal en la dirección transversal a la directriz, en el punto considerado del alma

$Fed$  = Valor de cálculo de la fuerza transversal aplicada

$t$  = Espesor del alma.

$ast$  = Área de la sección transversal bruta, por unidad de longitud, de los eventuales rigidizadores transversales situados directamente en la zona de afección de la carga bajo la platabanda, suponiendo una difusión a 45° a través del espesor de la misma. Se adoptará el valor del área de un rigidizador dividida por la distancia entre ejes de rigidizadores.

El ancho eficaz,  $be$ , se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$be = Se \sqrt{1 + \frac{z^2}{Se * n}} \dots\dots\dots(30)$$

$$be = 0.636 \sqrt{\frac{1 + 0.878 * a * St}{t}} \dots\dots\dots(31)$$

$$S_e = S_s * 2 t_f \dots \dots \dots (32)$$

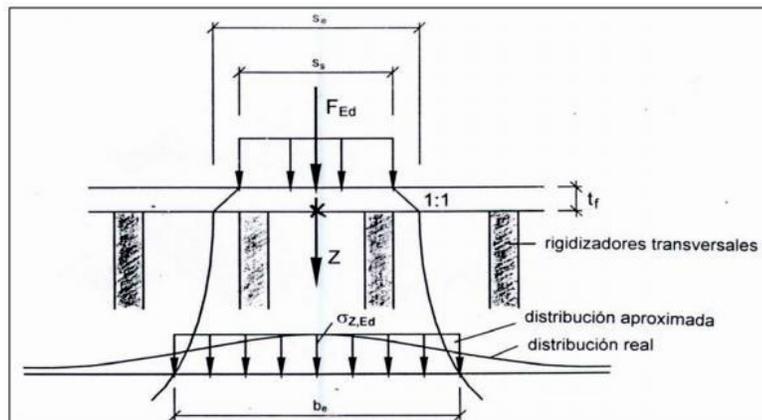
$t_f$ = espesor del ala

$S_s$ = longitud de la zona de aplicación de la carga localizada sobre la platabanda del ala.

$S_e$ = longitud de la zona de difusión de la carga localizada en la sección de contacto ala-alma, suponiendo una difusión de 45° de la carga en la platabanda del ala.

$z$ = distancia transversal entre la sección de estudio y la sección de contacto ala-alma, inmediata a la zona de aplicación de la carga.

Figura 10. Anchura eficaz



Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Robert L. Mott  
Mecánica de materiales, tensión, compresión y cortante.

### 3.5. Cargas Variables: Teoría de Fatiga

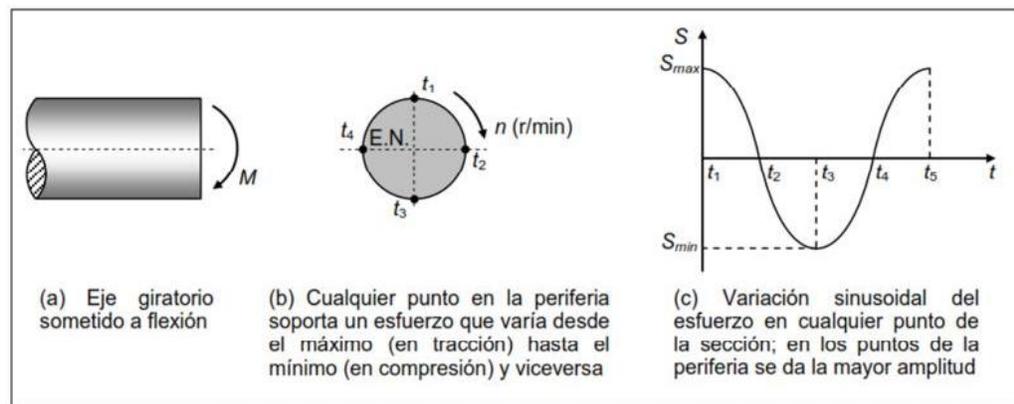
Muchos de los elementos de máquinas, tales como cigüeñales, árboles, ejes, bielas y resortes son sometidos a cargas variables. El comportamiento de los materiales bajo este tipo de carga es diferente a aquel bajo cargas estáticas; mientras que una pieza soporta una gran carga estática, la misma puede fallar con una carga mucho menor si esta se repite un gran número de veces. Los esfuerzos variables en un elemento tienden a producir grietas que crecen a medida que estos se repiten, hasta que se produce la falla total; este fenómeno se denomina fatiga. Por lo tanto, el diseño de elementos sometidos a cargas variables debe hacerse mediante una teoría que tenga en cuenta los factores que influyen en la aparición y desarrollo de las grietas, las cuales pueden producir la falla después de cierto número de repeticiones (ciclos) de esfuerzo. La teoría que estudia el comportamiento de los materiales sometidos a cargas variables se conoce como Teoría de fatiga. Es así que se estudia el procedimiento de esfuerzo-vida, el cual es uno de los tres modelos de falla por fatiga que existen actualmente y es el más utilizado para elementos de maquinaria rotativos.

Aunque es recomendable resolver problemas de elementos sometidos a cargas variables, utilizando el procedimiento de diseño para cargas estáticas y factores de seguridad grandes, se afirmó que los resultados de este procedimiento son válidos como un diseño preliminar o previo, y que no sustituye el análisis por fatiga.

El estudio de la Teoría de fatiga (modelo esfuerzo-vida) comienza por una breve historia y la descripción del mecanismo de falla por fatiga. Después se introducen los modelos de falla por fatiga y los conceptos de límite de fatiga y resistencia a la fatiga. Se estudia el modelado de los esfuerzos

variables y los factores que modifican la resistencia a la fatiga. Luego se presentan las ecuaciones para calcular la resistencia a la fatiga corregida en función del número de ciclos. Se estudian diferentes modelos y líneas de falla, hasta llegar a las ecuaciones de diseño por fatiga para esfuerzos simples. Al final, se describe un procedimiento para diseñar elementos sometidos a cargas variables combinadas.

Figura 11. Esfuerzos variables en un eje girando sometido a un esfuerzo flector constante



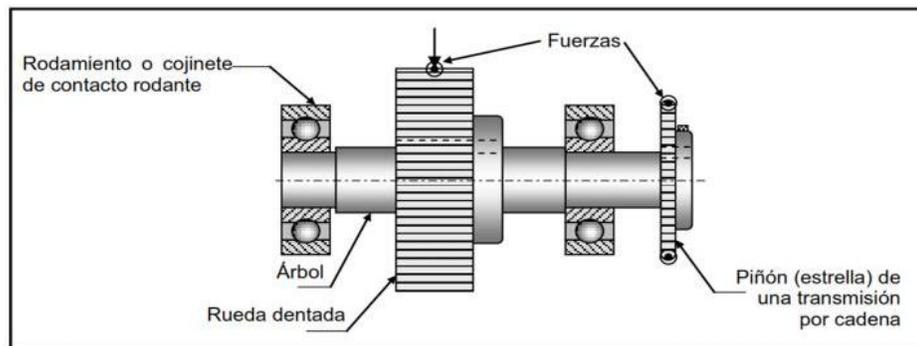
Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

### 3.5.1. Mecanismo de falla por fatiga

La fatiga es la falla de un material sometido a cargas variables, después de cierto número de ciclos de carga. Dos casos típicos en los cuales podría ocurrir falla por fatiga son los ejes, como los de los carros de ferrocarril, y los árboles. Normalmente, estos elementos giran sometidos a flexión, que es el mismo tipo de carga al cual se someten las probetas en la técnica de ensayo de fatiga por flexión giratoria: las fibras pasan de tracción a compresión y de compresión a tracción en cada revolución del elemento (Figura 11) y muchas veces bastan

menos de unos pocos días para que el número de ciclos de carga alcance un millón. La Figura 12 muestra un árbol de transmisión de potencia en el cual las fuerzas involucradas generan torsión, cortante directo y flexión; las dos últimas generan esfuerzos variables.

Figura 12. Árbol de transmisión de potencia



Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

La falla por fatiga se puede dividir en tres etapas. La etapa de iniciación de grietas, en la cual el esfuerzo variable sobre algún punto genera una grieta después de cierto tiempo. La etapa de propagación de grietas, que consiste en el crecimiento gradual de la grieta. Finalmente, la etapa de fractura súbita, que ocurre por el crecimiento inestable de la grieta.

### 3.5.2. Modelos de falla por fatiga

La teoría de fatiga que se estudia en este capítulo corresponde al modelo de vida-esfuerzo, que es el más antiguo. Este modelo es adecuado para el diseño de piezas en el régimen de alto ciclaje (HCF) en las cuales la variación de los esfuerzos sea conocida y consistente, como ocurre generalmente en las máquinas

rotativas. Como se verá, este modelo consiste en limitar los esfuerzos a valores menores que los críticos y es fácil de aplicar; además, hay muchos datos empíricos disponibles.

El método de vida-deformación se basa en las deformaciones del elemento. Es más aplicable a situaciones de bajo ciclaje (LCF) para predecir la iniciación de grietas y es bastante complejo, por lo que requiere del uso de computador.

Finalmente, el modelo de mecánica de fractura elástica lineal (LEFM) es mejor para el estudio de la etapa de propagación de grietas; por lo tanto, es útil para predecir la vida de bajo ciclaje (LCF) de piezas ya agrietadas. Estas dos últimas teorías se utilizan, por ejemplo, en las máquinas de transporte en las cuales ocurren sobrecargas grandes, muy pocas veces durante la vida esperada.

### **3.5.3. Límite de fatiga y resistencia a la fatiga**

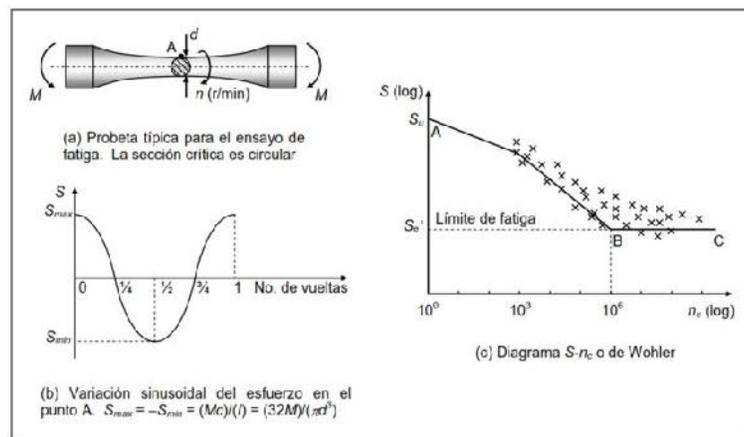
Cuando se efectúa el diseño de elementos sometidos a cargas estáticas, las propiedades que interesan son el esfuerzo último a tracción, compresión o torsión ( $S_u$ ,  $S_{uc}$  o  $S_{us}$ ) y la resistencia de fluencia en tracción, compresión o torsión ( $S_y$ ,  $S_{yc}$  o  $S_{ys}$ ). Estas propiedades se obtienen con ensayos con carga estática.

Para carga variable se debe utilizar, además, una propiedad que tenga en cuenta la resistencia a las cargas variables. Esta propiedad podría ser el límite de fatiga.

**a) Límite de fatiga**

El límite de fatiga es el esfuerzo máximo invertido que puede ser repetido un número indefinido de veces sobre una probeta normalizada y pulimentada girando sometida a flexión, sin que se produzca falla o rotura.

Figura 13. Ensayo de fatiga por flexión giratoria y diagrama de WOHLER



Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

La Figura 13 muestra la forma típica de una probeta para el ensayo de fatiga, la cual es de sección circular con diámetro  $d$  en la parte más delgada. Esta probeta se somete a un momento flector constante  $M$  y se pone a girar a  $n$  revoluciones por minuto. En el instante mostrado, el punto más crítico (punto A) soporta un esfuerzo normal dado por:

$$S = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} \dots\dots\dots(33)$$

Donde:

$S$  = Esfuerzo Máximo

$M_c$  = Momento Cortante

$M$  = Momento Flector

$d$  = diámetro

$I$  = Momento de Inercia

De acuerdo con la definición del límite de fatiga, al someter una probeta normalizada y pulimentada a flexión giratoria, el máximo esfuerzo  $S$  (dado por la ecuación 33) al cual se puede someter dicha probeta sin que falle, aún después de un gran número de ciclos de carga, es el límite de fatiga, denominado  $S_e'$ .

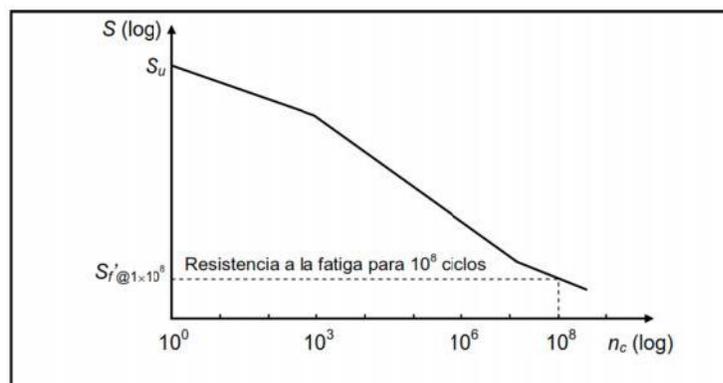
El límite de fatiga se obtiene realizando un gran número de veces la prueba de fatiga con valores diferentes de  $S$  (variando el momento flector aplicado). Para cada probeta se ubica una equis en el diagrama, con el esfuerzo aplicado y el número de vueltas que giró hasta romperse. La Figura 13.C muestra un diagrama de Wohler típico de un acero. Los puntos de ensayo siguen una tendencia como la mostrada. A partir del punto A ( $1, S_u$ ), la línea descende hasta el codo en B y partir de allí los puntos tienden a ajustarse a la línea horizontal BC; el valor de esfuerzo correspondiente a esta línea es el límite de fatiga,  $S_e'$ ; al aplicar un esfuerzo menor a  $S_e'$  no ocurriría la falla, mientras que un esfuerzo mayor produciría la falla después de cierto número de vueltas.

### b) Resistencia a la fatiga para vida finita

Las piezas sometidas a cargas variables pueden diseñarse para un número de ciclos determinado, dependiendo de la vida requerida. Particularmente, los materiales que no poseen límite de fatiga no se pueden diseñar para vida infinita, sino que deben diseñarse para una duración determinada. Entonces, podemos hablar de una “resistencia a la fatiga” para vida finita.

La figura 14 muestra un diagrama  $S-n_c$  o de Wohler, típico de algunos materiales que no poseen límite de fatiga (aleaciones de aluminio, cobre, etc.). Si, por ejemplo, se quiere diseñar para una duración finita de  $10^8$  ciclos, la resistencia a usar es  $S_f$   $1 \times 10^8$ , que corresponde a un nivel de esfuerzo que idealmente produciría una vida de  $n_c = 10^8$ . En general, denotamos  $S_f'$  a la resistencia a la fatiga para vida finita.

Figura 14. Diagrama S-nc, para un material sin límite de fatiga



Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

La resistencia a la fatiga para vida finita, al igual que el límite de fatiga, es una propiedad que se basa en pruebas de flexión giratoria sobre probetas normalizadas y pulidas. Sin embargo, es necesario aclarar que pueden desarrollarse diagramas esfuerzo-deformación y obtenerse resistencias a la fatiga para carga axial, torsión y otros tipos de flexión. En este texto se trabajará solo con límites o resistencias a la fatiga para flexión giratoria.

#### **3.5.4. Factores que afectan a la resistencia a la fatiga**

En las secciones precedentes se habló del diagrama de Wohler, a partir del cual se obtienen el límite de fatiga y las resistencias a la fatiga. Como se dijo, estas propiedades están basadas en probetas de ensayo normalizadas (usualmente de 0.3 in de diámetro en la sección más delgada), de superficies altamente pulidas (pulido a espejo), trabajando bajo condiciones ambientales favorables, por ejemplo, en ausencia de corrosión y a temperaturas “normales”.

En general, las características de los elementos de máquinas y de su entorno difieren de aquellas de las probetas de ensayo. Las piezas suelen tener mayores rugosidades, ya que obtener una superficie pulida a espejo es un procedimiento costoso.

Las temperaturas de trabajo pueden ser “bajas”, tendiendo a fragilizar los materiales, o “muy altas”, reduciendo la resistencia del material o produciendo el fenómeno de termofluencia (“creep”). Los elementos pueden tener concentradores de esfuerzos o pueden estar en presencia de agentes corrosivos. Factores como estos se estudiarán en esta sección, y se

presentarán las variables que involucran sus efectos sobre la falla de los materiales.

Los factores que modifican la resistencia a la fatiga son:

- (a) Estado superficial
- (b) Tamaño de la pieza
- (c) Variabilidad en los procesos de manufactura
- (d) Temperatura
- (e) Efectos varios (corrosión, esfuerzos residuales y otros)
- (f) Tipo de carga
- (g) Concentradores de esfuerzos

Los efectos de los aspectos (a) hasta (f) sobre la resistencia a la fatiga se cuantifican mediante los factores

$K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K_d$ ,  $K_e$  y  $K_{car}$ , cuyo producto se designa con el término  $K$ :

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e K_{car} \dots (34)$$

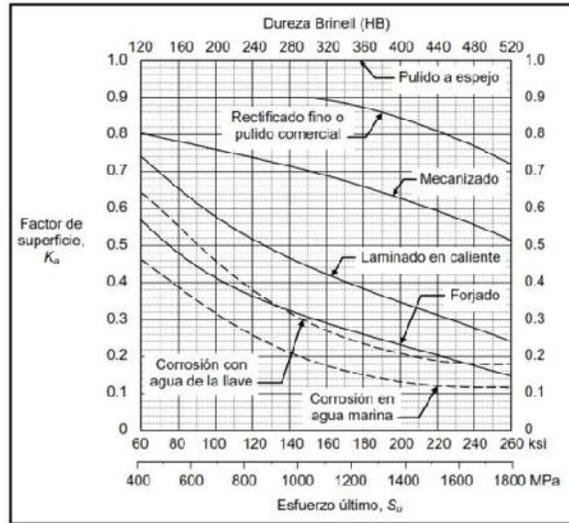
#### **a. Factos de superficie ( $K_a$ )**

El estado superficial tiene efecto sobre la resistencia a la fatiga de los elementos; a mayor rugosidad de la superficie, menor será la resistencia, ya que las irregularidades de la superficie actúan como pequeñísimos concentradores de esfuerzos que pueden iniciar una grieta de manera más temprana.

El factor de superficie,  $K_a$ , es el coeficiente que tiene en cuenta el efecto del acabado superficial sobre la resistencia del material a las cargas variables y está en el intervalo [0,1]. Para el caso de elementos pulidos a espejo  $K_a = 1$ , ya que este tipo de superficie es el que tienen las probetas para determinar el límite de fatiga; por lo tanto, no habría necesidad de hacer corrección por estado superficial. Un valor menor que uno implica que el estado superficial reduce en cierto grado la resistencia. Si, por ejemplo,  $K_a = 0.35$ , la resistencia a la fatiga corregida para vida infinita sería el 35% del límite de fatiga, si se considerara sólo el efecto de la rugosidad.

La Figura 15 presenta los resultados de ensayos experimentales efectuados sobre probetas de acero con diferentes acabados superficiales. Las curvas de los acabados más pulidos están por encima (los valores de  $K_a$  son mayores) de curvas de procesos que producen mayores rugosidades o que generan descarburación de la superficie, como ocurre con el laminado en caliente y el forjado; una superficie descarburada contiene menor porcentaje de carbono, lo cual reduce la resistencia del acero.

Figura 15. Factores de superficie para el acero



Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

### b. Factos de tamaño ( $K_b$ )

El tamaño de la pieza en las secciones críticas también tiene efecto sobre su resistencia. En general, a mayor tamaño de la pieza menor es su resistencia, aunque para carga axial no existe este efecto.

La pérdida de resistencia al aumentar los tamaños de las piezas se debe a que hay una mayor probabilidad de que exista un defecto en el volumen que soporta los mayores esfuerzos.

Si las probetas están sometidas a flexión giratoria, los puntos que soportan mayores esfuerzos son los que están entre la circunferencia a trazos y el contorno de la sección; si los puntos mostrados fueran defectos en la sección, la de mayor

diámetro tendrá muchos más defectos en la zona crítica, con lo que tendría mayor probabilidad de que se iniciara una grieta por alguno de ellos.

Las siguientes ecuaciones pueden usarse para determinar el factor de tamaño de pieza de acero sometida a flexión o torsión.

$$\left. \begin{aligned}
 Kb &= 1 \text{ si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)} \\
 Kb &= 1.189 d_e^{-0.097}, \text{ si } 8 \text{ mm} < d_e < 250 \text{ mm} \\
 (Kb &= 0.869 d_e^{-0.097}, \text{ si } 0.3 \text{ in} < d_e < 10 \text{ in}) \\
 Kb &= 0.6 \text{ si } d_e > 250 \text{ mm (10 in)}
 \end{aligned} \right\} \dots(35)$$

Todas las anteriores fórmulas se establecen tanto para flexión torsión.

Donde  $d_e$  es el diámetro de la probeta sometida a flexión giratoria (para otras secciones y otras sollicitaciones diferentes de flexión giratoria, debe hallarse un diámetro equivalente). Las ecuaciones anteriores no se recomiendan para metales no ferrosos.

Los datos experimentales sugieren que no existe efecto de tamaño para carga axial; por lo tanto, para piezas sometidas a carga axial:

$$Kb = 1, \text{ Carga Axial.}$$

Lo cual significa que la resistencia a la fatiga no se afecta por el tamaño de la pieza.

Debe tenerse en cuenta que las piezas de gran tamaño tienden a ser menos resistentes a todas las sollicitaciones y tipos de carga; se recomienda ser precavidos al trabajar con piezas de gran tamaño.

Para aplicar la ecuación 35 secciones no circulares y solicitaciones diferentes a flexión giratoria, se debe determinar un diámetro equivalente,  $d_e$ . La manera de determinar los diámetros equivalentes no se explica aquí, pero se presentan los resultados para algunas secciones típicas. El estudiante puede consultar algunos textos de diseño si quiere ahondar en el tema.

Para secciones circulares de diámetro  $d$ , sometidos a:

Flexión Giratoria;  $d_e = d$

Flexión no giratoria;  $d_e = 0.37*d$

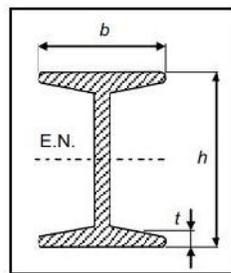
Torsión;  $d_e = d$

Para secciones rectangulares o en "I" Sometidas a flexión no giratoria:

Sección rectangular de área  $hb$ :  $d_e = 0.808 * (h*b)^{0.5}$

Sección "I":  $d_e = 0.808 * (h*b)^{0.5}$ , si  $t > 0.025*h$

Figura 16. Sección "I"

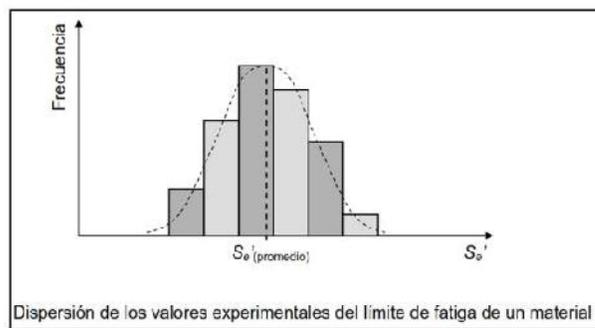


Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

### c. Factor de confiabilidad (Kc)

Como se ha visto hasta ahora, la teoría de fatiga se basa, en gran medida, en datos experimentales. Como la mayoría de las curvas y datos obtenidos corresponden a la tendencia “media” que siguen los puntos de ensayo, la confiabilidad de estos datos es del 50%. Considere, por ejemplo, que alguien quiere determinar el límite de fatiga de un determinado material; lo que puede hacer es tomar varias muestras del material, elaborar probetas de ensayo de fatiga y anotar los diferentes límites de fatiga obtenidos. Con los datos se construye un histograma o distribución de frecuencias, que consiste en dividir el rango de valores obtenidos en un número pequeño de intervalos (seis, para el ejemplo de la figura 17). Se cuenta el número de datos que pertenecen a cada intervalo y se construye un rectángulo cuya base es igual a la amplitud del intervalo, y cuya altura es proporcional al número de datos en dicho intervalo. Esto se ilustra en la figura 17. En la práctica, los datos de las propiedades de un material, como el límite de fatiga, siguen una distribución “normal”, la cual tiene forma de campana.

Figura 17. Dispersión de los valores experimentales



Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere:  
Teoría de fatiga.

Si se toma como límite de fatiga del material el valor promedio obtenido, este tendrá una confiabilidad del 50%, lo que significa que la mitad de las piezas construidas con este material tendrán un límite de fatiga igual o superior al valor promedio: la mitad, ya que a partir del valor promedio hacia la derecha, el área que queda (probabilidad) es la mitad del área total.

Esto sucede también con otros datos, curvas y ecuaciones obtenidas experimentalmente; los valores calculados con las ecuaciones o determinados mediante curvas normalmente son promedios.

El factor de confiabilidad,  $K_C$ , corrige la resistencia a la fatiga de tal manera que se tenga una mayor probabilidad (y confiabilidad) de que la resistencia real de una pieza sea mayor o igual que el valor corregido. Para la determinación de este factor se supone que la desviación estándar de la resistencia a la fatiga es de **8%**. Utilizando ecuaciones estadísticas correspondientes a la campana de Gauss (distribución normal) se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 3.6. Factor de corrección  $K_c$  (para el ejemplo)

Confiabilidad (%)	50	90	99	99.9	99.99	99.999
$K_c$	1	0.897	0.814	0.753	0.702	0.659

Fuente: Mecánica de Materiales, James M. Gere: Teoría de fatiga.

Al igual que  $K_a$  y  $K_b$ , el factor de confiabilidad varía entre 0 y 1. Teóricamente, una confiabilidad del 100% no se podría lograr ya que la campana de Gauss se extiende hasta menos infinito; sin

embargo, como se observa en el diagrama de barras de la figura 17, los datos reales se extienden en un rango finito de valores. Para propósitos prácticos, una confiabilidad teórica del 99.9% sería suficiente en muchos casos. El diseñador decide con qué confiabilidad trabaja, aunque es bueno recordar que el factor de seguridad,  $N$ , tiene en cuenta también las incertidumbres en las propiedades del material y en los datos. La decisión de tomar cierta confiabilidad debe estar ligada a la selección de  $N$ ; para valores bajos de  $N$  se podrán tomar confiabilidades altas, mientras que para valores muy conservadores, no sería necesario un valor grande de confiabilidad.

#### **d. Factor de temperatura ( $K_d$ )**

Las propiedades de un material dependen de su temperatura,  $Temp$ . Por ejemplo, un acero puede fragilizarse al ser sometido a “bajas” temperaturas, y la resistencia a la fatiga puede reducirse notoriamente por encima de unos 500 °C. Para tener en cuenta el efecto de reducción de resistencia a la fatiga, se utiliza el factor de temperatura,  $K_d$ , que varía entre 0 y 1, dependiendo de la temperatura: cero cuando la resistencia es nula y uno cuando la resistencia para vida infinita es igual al límite de fatiga, es decir, cuando la temperatura no modifica la resistencia.

De acuerdo con datos experimentales en los aceros, el límite de fatiga permanece más o menos constante entre la temperatura “ambiente” y 450 °C, y comienza a reducirse rápidamente por encima de este valor. La siguiente ecuación empírica puede utilizarse para determinar el factor de temperatura de un acero:

$$\begin{array}{l}
 K_d = 1, \text{ si } Temp \leq 450^\circ\text{C} \\
 K_d = 1 - 0.0058/^\circ\text{C} (Temp - 450^\circ\text{C}), \\
 \text{si } 450^\circ\text{C} < Temp \leq 550^\circ\text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} K_d = 1, \text{ si } Temp \leq 450^\circ\text{C} \\ K_d = 1 - 0.0058/^\circ\text{C} (Temp - 450^\circ\text{C}), \\ \text{si } 450^\circ\text{C} < Temp \leq 550^\circ\text{C} \end{array}} \right\} \dots\dots 36$$

La ecuación mostrada no debe utilizarse para otros materiales diferentes del acero.

**d. Factor de efectos varios (K<sub>e</sub>)**

Existen otros factores que modifican la resistencia a la fatiga de los materiales; todos los efectos no considerados por los otros factores son cuantificados por el factor K<sub>e</sub>. Sin embargo, es muy escasa la información cuantitativa sobre dichos efectos. En general, 0 < K<sub>e</sub> < 1; en ausencia de corrosión, esfuerzos residuales, etc., se puede tomar K<sub>e</sub> = 1. Algunos de los fenómenos a tener en cuenta en un diseño por fatiga incluyen:

**Corrosión**

Aunque hay información limitada sobre la resistencia de los materiales en entornos severos, la corrosión por agua o aire, por ejemplo, tiene un efecto altamente perjudicial sobre la resistencia a la fatiga. Una grieta esforzada en presencia de corrosión crecerá mucho más rápido; además, aún en ausencia de variación de esfuerzo las grietas tienden a crecer. Es por esto que el fenómeno de corrosión es tan perjudicial para los elementos de máquinas.

El fenómeno de pérdida de resistencia a la fatiga por corrosión no ha sido suficientemente estudiado, pero hay algunos datos que pueden servir de ayuda al diseñador. Sin embargo, un estudio

experimental bajo las condiciones particulares sería conveniente en los casos requeridos. No existe límite de fatiga en presencia de corrosión (ya que las grietas aparecen y crecen con el tiempo). Contradictoriamente, las dos curvas a trazos de la figura N° 15 sugieren que sí existe límite de fatiga para el acero en presencia de corrosión (el efecto de corrosión se tendría en cuenta con el factor  $K_a$ ). Por otro lado, Norton propone la siguiente ecuación para elementos de acero al carbono en agua limpia.

$$S_e = 100 \text{ Mpa} \dots (37)$$

Es decir, el límite de fatiga es aproximadamente constante (100 MPa) independientemente de la cantidad de carbono del acero. Entonces, con respecto al límite de fatiga en un ambiente corrosivo, sería lo mismo un acero de bajo carbono que uno de alto carbono. Para el caso representado por la ecuación 37, no se utilizaría el factor de efectos varios, sino que se tomaría directamente 100 MPa como límite de fatiga.

La resistencia a la fatiga tiende a reducirse si el agua que rodea el elemento es salada, si la temperatura es alta o si la frecuencia de aplicación de la carga es baja.

También existe la corrosión por apriete (en ajustes forzados). Por ejemplo, en uniones atornilladas, cojinetes, cubos de ruedas dentadas y árboles o ejes. El proceso involucra cambio de color en la superficie, picadura y finalmente fatiga. El factor  $K_e$  varía entre 0.24 y 0.90, dependiendo del material de las piezas del ajuste.

### **Proceso de manufactura**

Los procesos de manufactura tienen un efecto significativo en las propiedades de los materiales, incluyendo la resistencia a la fatiga. Las propiedades de un material dependerán de si este es fundido, laminado, forjado, tratado térmicamente, etc., ya que estos procesos modifican la microestructura y las características de los granos (si los hay). Como la propagación de grietas se facilita a lo largo de los límites de grano, cualquier proceso de manufactura que modifique el tamaño, orientación y forma de los granos afectará la resistencia a la fatiga. Por ejemplo, procesos como el laminado, estirado y extrusión tienden a producir granos alargados en la dirección del estirado. Por lo tanto, la resistencia a la fatiga variará en direcciones diferentes. Procesos como el recocido tienden a liberar esfuerzos residuales, a hacer crecer los granos y a que estos sean esféricos. La liberación de esfuerzos es generalmente benéfica, pero los otros dos aspectos tienden a producir un efecto negativo sobre la resistencia a la fatiga. Para terminar, hay que tener en cuenta que al procesar un material cuya resistencia a la fatiga inicial se conozca, la resistencia final será en general diferente.

### **Esfuerzos residuales**

De acuerdo con lo dicho en el párrafo anterior, cuando se reprocesa un material, por ejemplo, mediante forja o mecanizado, sus propiedades pueden cambiar, debido en parte a que los procesos de manufactura tienden a dejar esfuerzos residuales. Estos esfuerzos se deben a la recuperación elástica después de una deformación plástica no uniforme. Los esfuerzos residuales son perjudiciales si son de tracción, pero son benéficos si son de compresión, ya que estos inhiben la generación de grietas y, por lo

tanto, la falla por fatiga. Algunos procesos que producen esfuerzos residuales de compresión benéficos son el recocido y algunas veces el laminado, la extrusión y el martillado o forjado; esfuerzos residuales de tracción pueden aparecer después del forjado, extrusión, laminado, mecanizado y rectificado.

Existen varias técnicas para introducir esfuerzos residuales de compresión que aumentan significativamente la resistencia a la fatiga. Algunas de estas técnicas son el graneado con perdigones, el preesforzado mecánico y los tratamientos térmicos y superficiales. La mayoría producen esfuerzos de compresión biaxiales en la superficie, esfuerzos de compresión triaxiales debajo de la superficie y esfuerzos de tracción triaxiales en la parte interna. Estos métodos son utilizados en muchos elementos de máquinas.

### **Recubrimientos**

Los recubrimientos afectan significativamente la resistencia a la fatiga. La carburización, por ejemplo, produce un alto contenido de carbono en la superficie de un acero, aumentando la resistencia mecánica e impartiendo un esfuerzo residual compresivo en la superficie. Las superficies electro-chapadas son muy porosas y tienden a reducir la resistencia, incluso en 50%. Similarmente, los recubrimientos metálicos como el cromado, niquelado o cadmizado reducen la resistencia a la fatiga hasta en 50%. Por otro lado, el galvanizado (enchapado en zinc) no afecta significativamente la resistencia a la fatiga.

### e. Factor de Carga ( $K_{car}$ )

El comportamiento a la fatiga de un elemento depende también del tipo de carga al cual se somete. Las resistencias a la rotura y a la fluencia de un material son diferentes para esfuerzos cortantes y normales; sucede lo mismo con la resistencia a la fatiga. Además, también hay diferencia entre carga axial y flexión, a pesar de que ambos tipos de carga generan esfuerzos normales, el límite de fatiga es una propiedad determinada para flexión giratoria, y debemos calcular una resistencia a la fatiga para los tipos de carga restantes.

De acuerdo con datos experimentales sobre aceros podemos afirmar lo siguiente: (i) para cualquier tipo de flexión, giratoria y no giratoria, la resistencia a la fatiga “ideal” (es decir, para una probeta normalizada y pulida) es igual al límite de fatiga. (ii) La resistencia a la fatiga “ideal” en torsión es aproximadamente  $0.577S_e'$ . (iii) Para carga axial existen varias versiones debido a la variabilidad de datos experimentales. Norton sugiere que la resistencia a la fatiga ideal bajo carga axial se tome como  $0.7S_e'$ ; esto es más conservador que lo dicho por Faires y Shigley y Mischke que sugieren relaciones entre la resistencia a la fatiga en carga axial y el límite de fatiga de 0.8 y de 0.923 a 1, respectivamente. Mientras que en flexión y torsión los máximos esfuerzos ocurren en un pequeño volumen del elemento, todo el volumen de una pieza a carga axial está sometido al máximo esfuerzo. Se cree que la menor resistencia a la fatiga para carga axial se debe a la mayor probabilidad de que se presente una microgrieta en el mayor volumen esforzado.

La relación entre la resistencia a la fatiga para cada tipo de carga y el límite de fatiga se denomina factor de carga,  $K_{car}$ . Entonces, de acuerdo con lo dicho en el párrafo anterior, tenemos que:

$$\left. \begin{array}{l} K_{car} = 1, \text{ Para Flexión} \\ K_{car} = 0.7 \text{ para carga axial} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(38)$$

$K_{car} = 0.577$ , para torsión y cortantes

El caso de torsión se puede tratar calculando los esfuerzos de Von Mises equivalentes a los esfuerzos aplicados. Entonces se obtiene esfuerzos medios y alternativos normales y no es necesario usar el factor 0.577, indicado arriba para torsión, Entonces:

$K_{car} = 1$ , para torsión y cortante, calculando los esfuerzo equivalentes de Von Mises.

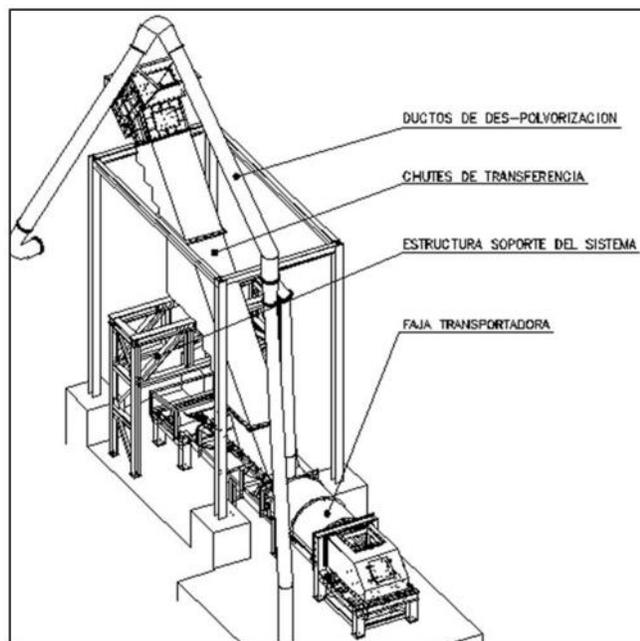
## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN

#### Introducción

El cálculo para el sistema de derivación está compuesto por el cálculo de la banda transportadora, ductos de despolvorización, chutes de descarga o transferencia y la estructura que soportara el sistema.

Figura 18. Sistema de derivación bypass



Fuente: Elaboración propia.

## 4.1 Cálculo de la banda transportadora para el sistema de derivación

### 4.1.1. Cálculo de la banda transportadora

La función que cumplirá la banda transportadora dentro del sistema de derivación (bypass) es de recibir el material proveniente de los chutes de descarga y transportarlo hacia la faja que descarga a la zona para concentrado de Clinker. Existen características que deben permanecer intangibles en el sistema como capacidad de transporte, velocidad y tamaño de banda, los cuales se detallan en los datos de diseño.

### 4.1.2. Datos de diseño

Tabla 4.1. Datos de diseño

<b>Características</b>	<b>Cantidades</b>
Ancho de Banda	42 pulg.
Capacidad de Transporte	900 tph
Velocidad	1.8 m/s
Potencia	15 kw
Longitud total de Banda Transportadora	7824 mm - (25.67 pies)
Cantidad rodillos por estación	3 rodillos
Material a Transportar	Puzolana granulada de 2 pulg.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3. Peso del material por metro lineal

$$qG = \frac{Iv}{3.6 * V} \left( \frac{Kg}{m} \right)$$

Donde:

qG: Peso de material por metro

Iv: Capacidad de transporte de banda t/h

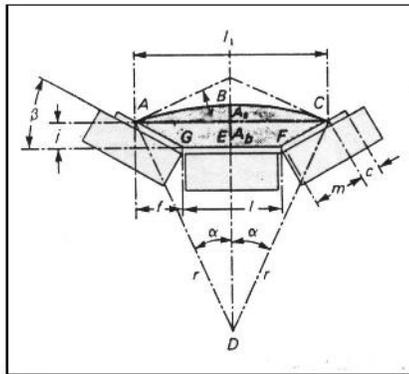
v: Velocidad de banda en m/s

$$qG = \frac{900 \text{ t/h}}{3.6 * 1.8 \text{ m/s}} \left( \frac{Kg}{m} \right) \Rightarrow qG = 138.80 \left( \frac{Kg}{m} \right)$$

#### 4.1.4. Áreas de Carga de Fajas Acanaladas

Refiriéndose a la Figura 19, el área de la sección transversal de carga se divide en dos partes. Uno es el área trapezoidal,  $A_b$ ; el otro es el área del segmento circular,  $A_s$ , que se conoce como área de sobrecarga. La suma de estas dos áreas ( $A_b + A_s$ ) es igual a  $A_t$ , que es el área total de la sección transversal.

Figura 19. Área de carga de la sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

= ángulo de sobrecarga, en grados

= ángulo del rodillo, en grados

$A_s$  = área de sobrecarga, en pulgadas cuadradas

$A_b$  = área trapezoidal de la base, en pulgadas cuadradas

$l$  = longitud, uno de los bordes del área trapezoidal

$l_1$  = longitud, otro de los bordes del área trapezoidal

$j$  = altura del área trapezoidal, en pulgadas

$m$  = longitud biselada del trapecoide

$r$  = radio del arco de sobrecarga, en pulgadas

$f$  = proyección horizontal del lado biselado del trapecoide, en pulgadas

$c$  = distancia límite del material hacia el límite de la faja, en pulgadas

$b$  = ancho de la faja, en pulgadas

Distancia límite estándar  $c = 0.055b + 0.9$ , en pulgadas

Basado en un análisis del arreglo de tres rodillos iguales de los fabricantes, la longitud de la superficie plana del rodillo central mide  $0.371b$ , donde  $b$  es el ancho de la faja en pulgadas. El análisis gráfico a escala completa de una faja del 5 pliegues con cubiertas de  $1/8$  y  $1/32$  de pulgada, descansando sobre arreglos acanalados de tres rodillos de igual longitud, indica que la distancia plana en la superficie de transporte de la faja sobre el centro del rodillo es  $1/4$ " mayor que la longitud de rodillo de centro. Así:

### Área trapezoidal ( $A_b$ )

Área del trapecoide (AECFG)  $A_b = l + l_1 / 2$

$$A_b = \frac{l + l_1}{2} \Rightarrow A_b = \frac{15.832 + 32.934}{2} \Rightarrow A_b = 24.383 \text{ pulg}^2$$

$$l_1 = l + 2f \Rightarrow 15.832 + 2 \cdot 8.551 \Rightarrow l_1 = 32.934 \text{ pulg}$$

$$f = m \cos \Rightarrow 9.874 * \cos(30^\circ) \Rightarrow f = 8.551 \text{ pulg.}$$

$$l = 0.371 * b + 0.25 \Rightarrow 0.371 * 42 + 0.25 \Rightarrow l = 15.832 \text{ pulg}$$

$$2m = b - 0.481 * b - 2.05 \Rightarrow 42 - 0.481 * 42 - 2.05 \Rightarrow m = 9.874 \text{ pulg.}$$

$$j = m * \sin \Rightarrow 9.874 * \sin(30^\circ) \Rightarrow j = 4.937 \text{ pulg.}$$

$$c = 0.055 * b + 0.9 \Rightarrow 0.055 * 42 + 0.9 \Rightarrow c = 3.21 \text{ pulg.}$$

### Área del segmento circular (As)

= 20° según tabla

$$A_s = \frac{0.18559 * b + 0.125 + 0.295 * b - 1.025 * \cos \beta}{\sin \alpha} * \frac{\pi \alpha}{180} - \frac{\text{sen}2\alpha}{2}$$

$$A_s = \frac{16.467}{\sin(20)} * \frac{\pi 20}{180} - \frac{\text{sen}2 20}{2} \Rightarrow A_s = 16.486 \text{ pulg}^2$$

### Área total At

$$A_t = A_s + A_b \Rightarrow A_t = 120.38 + 16.486 \Rightarrow A_t = 136.865 \text{ pulg}^2 \\ = 0.95 Ft^2$$

#### 4.1.5. Cálculo de tensiones, potencia y aceleración

En estos cálculos se determinan la tensión efectiva ( $T_e$ ), tensión del lado flojo ( $T_2$ ), tensión máxima ( $T_1$ ), tensión de cola  $T_t$ , faja, requerimientos de potencia del motor.

También se considera accesorios como faldones, dispositivos de limpieza, camas impacto, puesto que al estar en contacto con la banda transportadora generan fricción que la potencia del motor debe vencer para iniciar y continuar con el movimiento, además de trasladar la carga.

### Especificaciones del transportador (cambio de unidades)

- $W_b = 12$  lbs por pie, de Tabla – F (Ver Anexo 1 – Tablas).
- $L =$  longitud = 25.67 pies
- $V =$  velocidad = 354.33 ppm
- $H =$  elevación o caída = 0
- $Q =$  capacidad = 900 tph
- Ancho de la faja = 42 pulgadas
- Material = Puzolana granula de 2 pulg.
- Accionamiento = polea de cabeza con recubrimiento y acanalada, arrollamiento 220°,
- Rodillos Abarquillados = Clase E6, 6 pulgada de diam., ángulo de 30°.
- Rodillos de retorno = Tipo Disco de Caucho, Clase C6, 6 pulgada de diámetro con 10 pies de espaciamento.

#### a. Peso del material en libras - pie ( $W_m$ )

$$W_m = \frac{33.33 * Q}{V} \Rightarrow W_m = \frac{33.33 * 900 \text{ tph}}{354.33 \text{ ppm}} \Rightarrow W_m = 84.658 \text{ lb/pie}$$

Para determinar el valor  $T_e$  (tensión efectiva), se debe calcular antes los valores de los factores de corrección como  $K_t$ ,  $K_x$ ,  $K_y$ .

$A_i = 1.5$  Rodillo de 6 pulg.

$S_i = 4$  pies (espaciamento entre rodillos de estación de carga)

$K_t$  - Factor de Corrección de la temperatura ambiente

De acuerdo a la Tabla – F (Ver Anexo 1 – Tablas) se establece un valor de  $K_t = 1.0$ , tomando como temperatura ambiente 68°F.

$K_x$  - Factor de Fricción del Rodillo

$$Kx = 0.00068 * Wb + Wm + \frac{Ai}{Si} \Rightarrow Kx$$

$$= 0.00068 * 12 + 84.658 + \frac{1.5}{4}$$

$$Kx = 0.44 \text{ lb/pie}$$

*Ky - Factor para Calcular la Fuerza en la Faja y la Carga de Flexión sobre los Rodillos*

*Ky = 0.035, según la Tabla – I ((Ver Anexo 1 – Tablas).*

**b. Factor de fricción de los rodillos de transporte y retorno (lb)**

$$Tx = L * Kx * Kt$$

$$Tx = 25.67 * 0.44 * 1.0$$

$$Tx = 11.295 \text{ lb}$$

**c. Resistencia de la faja a la flexión cuando se mueve por los rodillos (Tyb).**

$$Tyb = Tyc + Tyr$$

*Tyc = Para los rodillos de transporte.*

$$Tyc = L * Ky * Wb * Kt \Rightarrow Tyc = 25.67 * 0.035 * 12 * 1.0$$

$$Tyc = 10.78 \text{ lb}$$

*Tyr = Para los rodillos de retorno*

$$Tyr = L * 0.015 * Wb * Kt \Rightarrow Tyr = 25.67 * 0.015 * 12 * 1.0$$

$$Tyr = 4.62 \text{ lb}$$

$$Tyb = Tyc + Tyr \Rightarrow Tyb = 10.78 + 4.62$$

$$Tyb = 15.4 \text{ lb}$$

**d. Resistencia de la faja a la flexión cuando el material corre por los rodillos ( $T_{ym}$ ).**

$$T_{ym} = L * K_y * W_m$$

$$T_{ym} = 25.67 * 0.035 * 84.658$$

$$T_{ym} = 76.06 \text{ lb}$$

**e. Resistencia de la faja a la flexión alrededor de las poleas y la resistencia de las poleas a rodar sobre sus rodamientos, ( $T_p$ ) en lbs**

$$T_p = 200 \text{ lb}$$

**f. La tensión mínima,  $T_o$ , para 3% de flecha**

$$T_o = 4.2 * S_i * W_b + W_m \Rightarrow T_o = 4.2 * 4 * 12 + 84.658$$

$$T_o = 1623.854 \text{ lb}$$

**g. Fuerza para acelerar el material continuamente mientras se alimenta hacia la faja. ( $T_{am}$ )**

$$T_{am} = F = M * V_c$$

M = masa del material acelerado

W = Peso del material acelerado

$$M = \frac{W}{g} = \frac{Q * 2000}{3600 * 32.2} ; g = 32.2 \text{ pies/seg}^2$$

$$M = \frac{900 * 2000}{3600 * 32.2} \Rightarrow M = 15.527 \text{ Slugs}$$

$V_c$  = Cambio de Velocidad (pies/seg)

$$V_c = \frac{V - V_o}{60} \Rightarrow \frac{354.33}{60} \Rightarrow V_c = 5.906 \text{ m/s}$$

$$T_{am} = M * V_c \Rightarrow 15.527 * 5.906$$

$$T_{am} = 91.702 \text{ lb}$$

#### **h. Resistencia generada por los accesorios de la banda transportadora (Tac)**

$$T_{ac} = T_{bc} + T_{sb} + T_{ci}$$

Tbc: Dispositivos de limpieza de faja. En lugar de los datos en sistemas de limpieza específico usados, use 5 lbs por pulgada de ancho de contacto de la hoja del rascador para cada hoja o dispositivo rascador en contacto con la faja. Por lo tanto la longitud del rascador es de 42 pulg, por lo que se establece:

$$T_{bc} = 210 \text{ lb}$$

Tci: Dispositivo para recepción del material, cama de impacto. Que adsorbe el golpe producido por la caída de material a la banda transportadora y disminuye el desgaste de la banda. Tomando como referencia el peso del material sobre la longitud de área cubierta se estable:

$$T_{ci} = 367.202 \text{ lb}$$

Tsb: Fricción de los faldones.

$$T_{sb} = T + 2 * Lb * 3$$

T: Tensión de la faja para superar la fricción de los faldones.

Lb: Longitud de los faldones en pies.

Hs: Profundidad del material en contacto en pulg.

Cs: Factor para diferentes materiales.

$$T = C_s * L_b * h_s^2 = 0.1280 * 7.874 * 5^2 \Rightarrow T = 25.197 \text{ lb}$$

Entonces:

$$T_{sb} = T + 2 * L_b * 3 \Rightarrow T_{sb} = 25.197 + 2 * 7.874 * 3 \Rightarrow$$

$$T_{sb} = 72.441 \text{ lb}$$

Resistencia generada por los accesorios

$$T_{ac} = T_{bc} + T_{sb} + T_{ci} \Rightarrow 210 + 72.441 + 367.202 \Rightarrow$$

$$T_{ac} = 649.643 \text{ lb}$$

#### **i. Tensión efectiva**

$$T_e = L K_t (K_x + K_y W_b + 0.015 W_b) + W_m (LK_y \pm H) + T_p + T_{am} + T_{ac}$$

$$T_e = 25.67 * 1 * 0.44 + 0.035 * 12 + 0.015 * 12 \\ + 84.658 \quad 25.67 * 0.44 \pm 0 + 200 + 91.702 + 649.643$$

$$T_e = 26.697 + 76.061 + 200 + 91.702 + 649.643$$

$$T_e = 1044.103 \text{ lb}$$

#### **j. Formula para la potencia de la faja**

$$P_f = \frac{T_e * V}{33000} \Rightarrow P_f = \frac{1044.103 * 354.33}{33000} = P_f = 11.21 \text{ hp}$$

#### **k. Potencia de la polea motriz**

$$P_{pm} = \frac{T_p * V}{33000} \Rightarrow P_{hp} = \frac{200 * 354.33}{33000} = P_{pm} = 2.147 \text{ hp}$$

#### **l. Perdidas por el reductor de velocidad.**

Agregar 5% para perdidas del reductor de velocidad

$$P_{pr} = 0.05 * (11.21 + 2.147) \Rightarrow P_{pr} = 0.667 \text{ hp}$$

#### **m. Potencia requerida por el eje del motor**

$$P_{motor} = (11.21 + 2.147 + 0.667) = 14.024 \text{ hp}$$

#### **n. Tensión en las poleas de accionamiento**

- Tensión en el lado flojo de la polea – T2 en lb

$$T_2 = C_w * T_e$$

Donde:

- $C_w$ : Factor de arrollamiento en las poleas. Ver anexo 1, Tabla E
- $T_e$ : Tensión efectiva (Lb)

$C_w$ , es el factor de arrollamiento en las poleas, de acuerdo a la Tabla E (ver Anexo – 1), se establece el valor de 0.6, recordando que el valor de arrollamiento es de 220° y que las poleas son del tipo recubierta.

$$T_2 = C_w * T_e \Rightarrow T_2 = 0.6 * 1044.103$$

$$T_2 = 626.462 \text{ lb}$$

- Tensión en el lado tenso en las poleas  $T_1$  en lb

$$T_1 = T_2 + T_e \Rightarrow T_1 = 626.462 + 1044.33$$

$$T_1 = 1670.792 \text{ lb}$$

Tensión en la polea de cola  $T_t$  en lb

$$T_t = T_2 + 0.015 * L * K_t * W_b$$

$$T_t = 626.462 + 0.015 * 25.670 * 1.0 * 12$$

$$T_t = 631.083 \text{ lb}$$

#### **o. Cálculos de aceleración**

Los cálculos siguientes se usan para determinar la fuerza y tiempo de aceleración.

WK2 – Datos del motor (Todos los datos de toman a la velocidad del motor) Ver Tabla D, (Ver Anexo 1, Tablas).  $W_{k2}$  del motor seleccionado es de 6.5 lb-pie<sup>2</sup>.

Peso equivalente de accionamiento

$$P_{eac} = W_{k2} \frac{rpm}{V}^2 * 2\pi^2$$

$$P_{eac} = 6.5 \frac{1750}{354.330}^2 * 2\pi^2 \Rightarrow P_{eac} = 3129.720 \text{ lb}$$

**p. Peso del sistema**

El peso de la polea motriz y la polea de cola la obtenemos de la Tabla B (ver Anexo 1), donde se especifica el peso para el tipo de poleas de usamos en el sistema, donde el peso de la polea motriz es de 580 lb y el peso de la polea de cola es de 380 lb. Se elige 2/3 del peso de la suma de las poleas, 640 lb

Faja, tramo de transporte Tabla - F, 12 lb-pie \* 25.67 pies = 308.04 lb

Faja, tramo de retorno Tabla - F, 12 lb-pie \* (25.67 + 6) pies = 380.040 lb

Rodillos abarquillados Tabla – G (ver Anexo 1), para 42” de ancho de faja y CLASE E6, el peso es de 49.200 lb.

$$Pra = 49.2 * \frac{25.67}{4 \text{ pies de espaciamento}} \Rightarrow Pra = 315.741 \text{ lb}$$

Rodillos de retorno Tabla – G (ver Anexo 1), peso de 42”, ancho de faja de CLASE C6, peso 43.3 lb.

$$Prr = 43.3 * \frac{25.67}{10 \text{ pies de espaciamento}} \Rightarrow Prr = 111.151 \text{ lb}$$

Peso equivalente del transportador = 1754.971 lb

Material Cargado = 84.658 lb – pie \* 17.11pies = 1448.75 lb

Peso equivalente total para el sistema = 3129.720 +1448.75 + 1754.971

**Peso equivalente total para el sistema = 6333.441 lb**

Habiendo seleccionado una faja de T1 = 1670.792 lb con un valor permisible de 90 lb por pulgada por pliegue, se requiere 6 pliegues y tensión evaluada será = 1962.965 lb. Si la tensión de arranque se limita a 180% de la tensión evaluada entonces la tensión extra de la faja permisible para la aceleración es:

$(1.8) * (1962.965) - (1670.792) = 1862.545$  lb (tensión permisible)

El tiempo para la aceleración se halla por la ecuación:

$$t = \frac{M}{F_a} * \frac{(V_1 - V_0)}{60}$$

Donde:

M: masa del sistema a transportar = 15.527 slug

F<sub>a</sub>: tensión extra permisible

V<sub>1</sub>: Velocidad Final

V<sub>0</sub>: Velocidad Inicial

t : Tiempo en segundos.

$$t = \frac{15.527}{1862.545} * \frac{354.33}{60} \Rightarrow t = 0.05 \text{ seg}$$

Tabla 4.2. Datos resaltantes dentro del sistema

Peso Equivalente Total para el Sistema	6333.411 lb
Potencia Requerida para el Eje del Motor	14.024 lb
Potencia de la Faja	11.21 hp

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Cálculo de los ductos de despolvorización

### 4.2.1 Cálculos de ductos

Los procedimientos de diseño que se consideran a continuación son fundamentales para determinar las dimensiones de los conductos y las pérdidas de carga de un sistema de ventilación localizada por extracción.

El sistema de ductos presentado en el Figura 20, muestra la dimensiones generales que debe poseer la línea de des polvorización para su implementación. La línea de ductos debe estar

unida a un filtro de mangas que recoge las partículas originadas en el proceso.

A continuación se indican:

- El tipo de partículas captadas por los ductos.
- El caudal que se indica en la etapa inicial del proyecto, puesto que el filtro de mangas ya está instalado y la línea de ductos se conectaría a él.
- El material con el que se construyen los conductos como así también las longitudes rectas de los tramos y los accesorios instalados.
- La pérdida de presión del filtro de mangas, obtenida de un proveedor de equipos o de datos bibliográficos.

Con esta información se calcularán los diámetros de los conductos siguiendo el método de equilibrio por diseño.

Datos:

**Contaminante:** Polvo de puzolana

**Material de los conductos:** Chapa de acero que corresponde a conductos normales  $\epsilon = 0,0005$

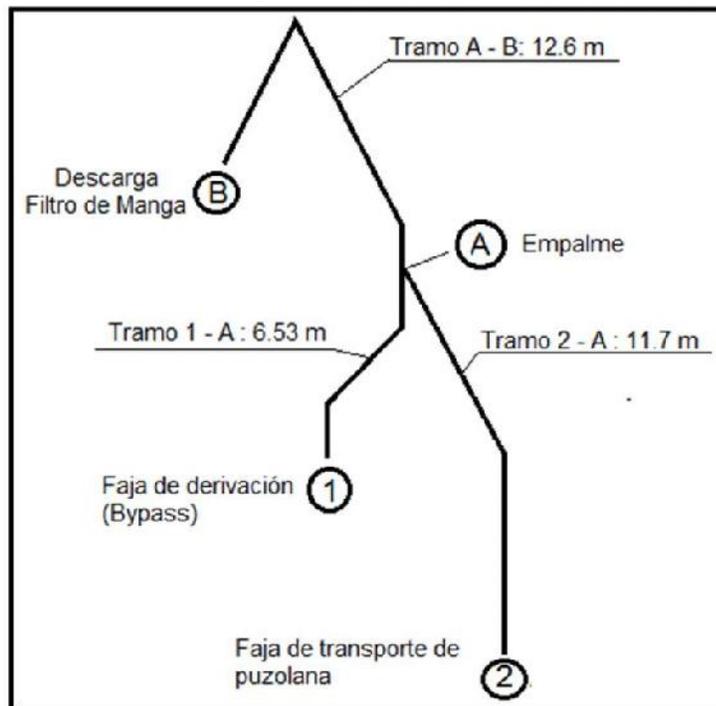
**Pérdida de presión máxima** del filtro de mangas expresada en altura de columna de agua: 120 mmcda.

Tabla 4.3. Tabla de datos

Tramo	Campana	Caudal de la campana	Longitud del tramo recto	Curva por tramo	Empalme	Angulo de campana
1 - A	-----	-----	6.53 m	2 - 45°/ R/D = 2.5	-----	-----
2 - A	-----	-----	11.7 m	1 - 60°/ R/D = 2.5	30°	-----
A - B	-----	-----	12.6 m	1 - 75°/ R/D = 2.5 1 - 90°/ R/D = 2	-----	-----

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Dimensiones generales de la línea de despolvorización



Fuente: Elaboración propia.

## **Filas de cálculo**

Se indica a continuación el significado de las distintas filas que figuran en la Tabla J (anexo 1. Tablas) Cálculo de los Diámetros de los Conductos y de las Pérdidas de Carga:

**Fila “1”. Identificación de los tramos:** Cada ramal se identifica por el número de la campana en donde comienza, y por la letra del nudo en donde termina. Cada troncal se identifica por las letras correspondientes a los nudos de inicio y de final del tramo.

**Fila “2”. Caudal que circula por el ramal conectado a la campana (Q):** Se coloca el caudal que debe circular por cada ramal y que es el caudal a aspirar por la campana.

**Fila “3”. Caudal que circula por el conducto troncal (Q):** Se obtiene como suma de los caudales que circulan por los ramales y / o troncales que concurren al nudo donde comienza el troncal en análisis.

**Fila “4”. Velocidad de diseño ( $v_d$ ):** Velocidad de circulación del aire por el ramal correspondiente. Se la obtiene, según la naturaleza del contaminante, de la Tabla C (ver anexos).

**Fila “5”. Cálculo del diámetro del conducto circular (D)**

**Fila “6”. Diámetro adoptado ( $D_{\text{adoptado}}$ ):** Si el diámetro calculado no coincide con los diámetros comerciales, se lo redondea al diámetro comercial menor para que la velocidad resultante sea mayor que la elegida en la fila 4, en caso de tratarse de partículas. En caso de tratarse de gases o vapores, al no requerirse velocidades mínimas, el diámetro se redondea a un

valor tal que, en lo posible, no genere una gran variedad en los diámetros calculados, lo que encarece el costo de la instalación.

Diámetros de conductos utilizados habitualmente:

Para diámetros de hasta 500 mm, estos varían cada 10 mm:

120 – 130 –140.....480.- 490 - 500 mm

Para diámetros de 500 mm a 1000 mm, estos varían cada 20 mm o 25 mm, según el instalador:

520 – 540 – 560.....980 – 980 – 1000 mm, o bien:

525 – 525 – 550.....950 – 975 – 1000 mm.

Para diámetros mayores de 1000 mm la variación de éstos es cada 50 mm:

1050 –1100 –1150.....

– **Fila “7”. Velocidad real ( $v_r$ ):** Se calcula la velocidad real en el conducto, a partir del caudal seleccionado de la fila 2 o 3 y el diámetro adoptado en la fila 6.

**Fila “8”. Longitud (L):** Se coloca el valor de la longitud del tramo recto del conducto considerado.

**Fila “9”. Pérdida debida a la fricción por unidad de longitud ( $j$ ):** Se indica el valor de la pérdida de altura de presión por unidad de longitud ( $j$ ) provocada por la fricción del aire en el conducto y, correspondiente al tramo recto del conducto considerado.

**Fila “10”. Factor de corrección ( $f_c$ ):** Se indica el valor del factor de corrección ( $f_c$ ), que corresponde al material utilizado en la cañería.

**Fila “11”. Fricción por unidad de longitud ( $F_r$ ):** Se coloca la magnitud que se obtiene de multiplicar el valor del coeficiente de corrección ( $f_c$ ) por el valor de la pérdida de presión por unidad de longitud ( $j$ ) ( $11 = 10.9$ ).

**Fila “12”. Pérdidas por fricción ( $h_1$ ):** Se coloca la magnitud obtenida al multiplicar la Fricción ( $F_r$ ) por la longitud del tramo recto ( $L$ ) ( $12 = 11.8$ ).

**Fila “13”. Sumatoria de los coeficientes  $k$  ( $k$ ):** Se coloca el resultado que se obtiene al sumar los coeficientes correspondientes a los accesorios en serie ubicados en el tramo considerado.

**Fila “14”. Altura dinámica correspondiente a la velocidad real en el ramal ( $h_D$ ):** Se coloca el resultado obtenido al utilizar la expresión para el cálculo de la correspondiente altura de presión dinámica ( $h_D$ ), que corresponde al ramal.

**Fila “15”. Altura dinámica correspondiente a la velocidad real en el troncal ( $h_{D_R}$ ):** Se coloca el resultado obtenido al utilizar la expresión para el cálculo de la correspondiente altura de presión dinámica ( $h_{D_R}$ ), que corresponde al troncal.

**Fila “16”. Pérdidas por accesorios ( $h_2$ ):** Se coloca el valor obtenido al multiplicar la sumatoria de los coeficientes  $k$  ( $k$ ) por la altura de presión dinámica ( $h_D$ ) ( $16 = 13.14$ ).

**Fila “17”. Factor de pérdidas por entrada ( $k_{ent}$ ):** Se coloca el valor correspondiente al factor de entrada ( $k_{ent}$ ) obtenido a partir del ángulo interior en grados “ ” de la campana

**Fila “18”. Pérdidas por entrada en la campana ( $h_{ent}$ ):** Se coloca el valor obtenido al multiplicar el factor de entrada ( $k_{ent}$ ) por la altura de presión dinámica ( $h_D$ ) (18 = 17.14).

**Fila “19”. Factor de pérdidas por ranura ( $k_{ran}$ ):** Se coloca el valor correspondiente al factor de pérdidas por ranura ( $k_{ran}$ )

**Fila “20”. Velocidad del aire en la ranura ( $v_{ran}$ ):** Se coloca el valor adoptado en el cálculo de las dimensiones de la ranura correspondiente al diseño de las campanas.

**Fila “21”. Altura dinámica correspondiente a la velocidad en la ranura ( $h_{D_{ran}}$ ):** Se coloca el resultado obtenido al utilizar la expresión de la altura de presión dinámica correspondiente a la velocidad adoptada para la ranura:  $h_{D_{ran}} = v_{ran}^2 / 16,35$ .

**Fila “22”. Pérdidas por ranuras ( $h_{ran}$ ):** Se coloca el valor obtenido al multiplicar el factor de pérdidas por ranura ( $k_{ran}$ ) por la altura de presión dinámica en la ranura ( $h_{D_{ran}}$ ) más el término ( $h_{D_{ran}}$ ) (22 = 19.21 + 21).

**Fila “23”. Altura dinámica disponible ( $h_{D_D}$ ):** Se coloca el resultado obtenido al utilizar la expresión para el cálculo de la altura dinámica disponible ( $h_{D_D}$ ) correspondiente al troncal considerado.

**Fila “24”. Pérdidas por entrada ( $h_3$ ):** Se coloca el valor obtenido al utilizar la expresión para los ramales. ( $24 = 18 + 22 + 14$ ).

**Fila “25”. Pérdidas por aceleración ( $h_D$ ):** Se coloca el valor obtenido al utilizar la expresión , que es la resta de la altura dinámica real ( $h_{DR}$ ) y la altura dinámica disponible ( $h_{DD}$ ) correspondientes al troncal considerado. ( $25 = 15 - 23$ )

**Fila “26”. Pérdida total ( $h$ ) para ramales:** Se coloca el valor obtenido al sumar las pérdidas de presión  $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$  para los ramales ( $26 = 12 + 16 + 24$ ).

**Fila “27”. Pérdida total ( $h$ ) para troncales:** Se coloca el valor obtenido al sumar las pérdidas de presión  $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$  para los troncales ( $27 = 12 + 16 + 25$ ).

**Fila “28”. Pérdida total acumulada ( $h$  acumulada):** Se coloca el valor obtenido al sumar la pérdida total del troncal considerado más las pérdidas totales de los tramos anteriores en serie, desde una campana dada.

**Fila “29”. Pérdida adoptada ( $h$  adoptada):** Se coloca el valor obtenido por cálculo en el otro tramo, que concurre al mismo nudo, y que se considera como valor definitivo de equilibrio de las pérdidas de presión calculadas para ese nudo.

**Fila “30”. Caudal corregido ( $Q$  corregido):** Se coloca el valor del caudal que debe circular por el conducto cuando se ejerce la depresión  $h$  adoptada.

**Fila “31”. Velocidad real corregida ( $v_r$  corregida):** Se coloca el valor resultante de dividir el caudal corregido por el área del conducto.

**Fila “32”. Altura dinámica (h D corregida):** Se coloca el resultado obtenido al utilizar la expresión de la altura de presión dinámica, para la velocidad real corregida ( $v_r$  corregida).

## **Desarrollo del cálculo utilizando la Tabla J (anexos 1. Tablas)**

### **Paso 1**

1) Se comienza el cálculo eligiendo el tramo, que corresponde a un ramal, que a criterio del proyectista produce mayores pérdidas de presión totales. Para el caso en análisis se elige el **tramo 2 - A**, por presentar la mayor longitud, lo que significa que su pérdida por fricción no es la de mayor magnitud, a la igualdad de velocidades en todos los ramales del sistema. Esto es debido a que la igual velocidad en los ramales, a mayor caudal le corresponde mayor diámetro y entonces la pérdida por fricción, que es inversamente proporcional al diámetro, resulta de menor valor.

Se coloca en la fila “1” de la columna “1”: **2 -A**.

2) Se indica el caudal ( $Q$ ) que circula por el conducto y que es un dato en esta etapa del proyecto.

Se coloca en la fila “2” de la columna “1”: **1.6 m<sup>3</sup>/s**.

3) La fila “3” de la columna “1” queda en blanco ya que el tramo **2 – A** es un ramal y no un troncal.

4) Se elige la velocidad de diseño ( $v_d$ ), correspondiente al transporte de partículas del proceso de polvo de hormigón que es similar al polvo de puzolana que se considera polvo ordinario

y que se encuentra entre 15 y 20 m/s (ver Tabla- C, Anexos); en este caso se elige 20 m/s.

Se coloca en la fila "4" de la columna "1": **20,0** m/s.

5) Se calcula el diámetro (D) del conducto utilizando la ecuación:

$D = (4 / \pi \cdot Q / v)^{1/2} = (4 / \pi \cdot 1.6 / 20)^{1/2} = 0.319$  m. Se coloca en la fila "5" de la columna "1": **319** mm.

6) Se redondea al diámetro entero menor que resulta ser de 0,450 m. Se coloca en la fila "6" de la columna "1": **320** mm.

7) Se calcula la velocidad real en el conducto utilizando la siguiente expresión.

$$v_r = Q / (\pi / 4 \cdot D^2) = 1.6 / (\pi / 4 \cdot 0.320^2) = 19.89 \text{ m/s}$$

Se coloca en la fila "7" de la columna "1": **19.89** m/s.

8) Se indica la longitud del tramo recto (L) que es dato puesto que se indica en el alcance del proyecto.

Se coloca en la fila "8" de la columna "1": **11.7** m.

9) Se calcula la pérdida de presión por unidad de longitud (j) debida a la fricción:

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D^{1,22} = 5,38 \cdot 19.89^{1,9} / 320^{1,22} = 1.38 \text{ mmcda} / \text{m}.$$

Se coloca en la fila "9" de la columna "1": **1.38** mmcda / m.

10) Se indica el valor del factor de corrección (f<sub>c</sub>) obtenido de Figura – B (ver Anexos- 2- Figuras), y que resulta ser: f<sub>c</sub> = 1.0, por utilizar chapa de acero para la construcción de los ductos, se consideran como tubos normales.

Se coloca en la fila "10" de la columna "1": **1.0**

11) Se obtiene el valor de Fricción ( $F_r$ ) multiplicado el valor de la fila "9", columna "1", por el valor de la fila "10", columna "1",:

$$\text{Fricción} = 1.38 \times 1.0 = 1.38 \text{ mmcda / m}$$

Se coloca en la fila "11" de la columna "1": **1.38** mmcda / m.

12) Se obtiene el valor de la pérdida por fricción ( $h_1$ ) multiplicando el valor de la fila "8", columna "1", por el valor de la fila "11", columna "1":

$$h_1 = 11.7 \times 1.38 = 16.146 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "12" de la columna "1": **16.146** mmcda.

13) Se obtiene el valor de la sumatoria de los coeficientes  $k$  ( $k$ ), por tratarse de accesorios en serie, de la siguiente forma:

Tabla 4.4. Datos sobre accesorios (A)

Accesorios	Coefficiente de Perdida
1 – Curva de 150° - R/D = 3.5	K = 0.39
1 – Empalme de 30° - = 30°	K empalme = 0.18

Fuente. Elaboración propia.

Se coloca en la fila "13" de la columna "1": **0.57**

14) Se obtiene el valor de la altura dinámica ( $h_D$ ) utilizando la ecuación:

$$h_D = v^2 / 16,35 = 19.89^2 / 16,35 = 24.19 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "14" de la columna "1": **24.19** mmcda.

15) La fila "15" de la columna "1" queda en blanco ya que el tramo 2 - A es un ramal y no un troncal.

16) Se obtiene el valor de la pérdida por accesorios ( $h_2$ ) multiplicando el valor de la fila "13", columna "1", por el valor de la fila "14", columna "1":

$$h_2 = 0.57 \times 24,19 = 13.79 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "16" de la columna "1": **13.79** mmcda.

17) Esta fila se obvia puesto que el tramo 2 – A no cuenta con una campana de extracción.

No se coloca nada en la fila "17" de la columna "1": **vacio**

18) Se obtiene el valor de la pérdida por entrada en la campana ( $h_{ent}$ ) multiplicando el valor de la fila "17", columna "1", por el valor de la fila "14", columna "1":

$$h_{ent} = 1 \times 24.19 = 24.19 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "18" de la columna "1": **24.19** mmcda.

19) Se adopta, para el factor de pérdidas por ranuras ( $k_{ran}$ ), el valor:

$$k_{ran} = 1,78$$

Se coloca en la fila "19" de la columna "1": **1,78**.

20) El dato del proyecto indica una velocidad en la ranura ( $v_{ran}$ ) de 10 m/s para la ubicación 2.

Se coloca en la fila "20" de la columna "1": **10,0** m/s.

21) Se obtiene el valor de la altura dinámica en la ranura ( $h_{DR}$ ) utilizando la ecuación (14) adaptada para la ranura:

$$h_{DR} = v_{ran}^2 / 16,35 = 10,0^2 / 16,35 = 6,1 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "21" de la columna "1": **6,1** mmcda.

22) Se obtiene el valor de las pérdidas por ranura ( $h_{ran}$ ) multiplicando el valor de la fila "19", columna "1", por el valor de la fila "21", columna "1", más el valor de la fila "21", columna "1":

$$h_{ran} = 1,78 \cdot 6,1 + 6,1 = 17,0 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "22" de la columna "1": **17,0** mmcda.

23) Como se está analizando un ramal carece de sentido el cálculo de la altura dinámica disponible ( $h_{DD}$ ).

24) Se obtiene el valor de las pérdidas por entrada ( $h_3$ ) sumando el valor de la fila "18", columna "1", más el valor de la fila "22", columna "1", más el valor de la fila "14", columna "1":

$$h_3 = 24,19 + 17,0 + 24,19 = 65,38 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "24" de la columna "1": **65.38** mmcda.

25) La fila "25" de la columna "1" queda en blanco ya que el tramo 2 – A es un ramal y no un troncal.

26) Se obtiene el valor de la pérdida total del ramal ( $h$ ), sumando el valor de la fila "12", columna "1", más el valor de la fila "16", columna "1", más el valor de la fila "24", columna "1":

$$h = 16.146 + 13.79 + 65.380 = 95.316 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "26" de la columna "1": **95.316** mmcda.

Con esto se termina el cálculo de la pérdida de presión total del ramal **2- A**.

## **Paso 2**

1) Elegimos ahora el segundo tramo que capta el polvo de la banda transportadora que es el tramo **1 – A**

Se coloca en la fila "1" de la columna "2": **1 -A**.

2) Se indica el caudal (Q) que circula por el conducto y que es un dato en esta etapa del proyecto.

Se coloca en la fila "2" de la columna "2": **1.6** m<sup>3</sup>/s.

3) La fila "3" de la columna "2" queda en blanco ya que el tramo **1 – A** es un ramal y no un troncal.

4) Se elige la velocidad de diseño ( $v_d$ ), correspondiente al transporte de partículas del proceso de polvo de hormigón que es similar al polvo de puzolana que se considera polvo ordinario y que se encuentra entre 15 y 20 m/s (ver Tabla- C, Anexos); en este caso se elige 20 m/s.

Se coloca en la fila "4" de la columna "2": **20,0** m/s.

5) Se calcula el diámetro (D) del conducto utilizando la ecuación:

$D = (4 / \pi \cdot Q / v)^{1/2} = (4 / \pi \cdot 1.6 / 20)^{1/2} = 0.319 \text{ m}$ . Se coloca en la fila "5" de la columna "2": **319 mm**.

6) Se redondea al diámetro entero menor que resulta ser de 0,450 m. Se coloca en la fila "6" de la columna "2": **320 mm**.

7) Se calcula la velocidad real en el conducto utilizando la siguiente expresión:

$$v_r = Q / (\pi / 4 \cdot D^2) = 1.6 / (\pi / 4 \cdot 0.320^2) = 19.89 \text{ m/s}$$

Se coloca en la fila "7" de la columna "2": **19.89 m/s**.

8) Se indica la longitud del tramo recto (L) que es dato puesto que se indica en el alcance del proyecto.

Se coloca en la fila "8" de la columna "2": **6.53 m**.

9) Se calcula la pérdida de presión por unidad de longitud (j) debida a la fricción:

$$j = 5,38 \cdot v^{1,9} / D^{1,22} = 5,38 \cdot 19.89^{1,9} / 320^{1,22} = 1.38 \text{ mmcda / m}$$

Se coloca en la fila "9" de la columna "2": **1.38 mmcda / m**.

10) Se indica el valor del factor de corrección ( $f_c$ ) obtenido del Gráfico N° 3.3, y que resulta ser:  $f_c = 1.0$ , por utilizar chapa de acero para la construcción de los ductos, se consideran como tubos normales.

Se coloca en la fila "10" de la columna "2": **1.0**

11) Se obtiene el valor de Fricción ( $F_r$ ) multiplicado el valor de la fila "9", columna "2", por el valor de la fila "10", columna "2",:

$$\text{Fricción} = 1.38 \times 1.0 = 1.38 \text{ mmcda / m}$$

Se coloca en la fila "11" de la columna "2": **1.38** mmcda / m.

12) Se obtiene el valor de la pérdida por fricción ( $h_1$ ) multiplicando el valor de la fila "8", columna "2", por el valor de la fila "11", columna "2",:

$$h_1 = 6.53 \times 1.38 = 9.01 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "12" de la columna "2": **9.01** mmcda.

13) Se obtiene el valor de la sumatoria de los coeficientes  $k$  ( $k$ ), por tratarse de accesorios en serie, de la siguiente forma:

Tabla 4.5. Datos sobre accesorios (B)

Accesorios	Coefficiente de Perdida
2 – Curva de 150° - R/D = 1.5	K = 0.78

Fuente: Elaboración propia.

Se coloca en la fila "13" de la columna "2": **0.78**

14) Se obtiene el valor de la altura dinámica ( $h_D$ ) utilizando la ecuación:

$$h_D = v^2 / 16,35 = 19.89^2 / 16,35 = 24.19 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "14" de la columna "2": **24.19** mmcda.

15) La fila "15" de la columna "2" queda en blanco ya que el tramo 1 - A es un ramal y no un troncal.

16) Se obtiene el valor de la pérdida por accesorios ( $h_2$ ) multiplicando el valor de la fila "13", columna "2", por el valor de la fila "14", columna "2":

$$h_2 = 0.78 \times 24,19 = 18.87 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "16" de la columna "2": **18.87** mmcda.

17) Esta fila se obvia puesto que el tramo 1 – A no cuenta con una campana de extracción.

No se coloca nada en la fila "17" de la columna "2": **vacio**

18) Se obtiene el valor de la pérdida por entrada en la campana ( $h_{ent}$ ) multiplicando el valor de la fila "17", columna "2", por el valor de la fila "14", columna "2":

$$h_{ent} = 1 \times 24.19 = 24.19 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "18" de la columna "2": **24.19** mmcda.

19) Se adopta, para el factor de pérdidas por ranuras ( $k_{ran}$ ), el valor:

$$k_{ran} = 1,78$$

Se coloca en la fila "19" de la columna "2": **1,78**.

20) El dato del proyecto indica una velocidad en la ranura ( $v_{ran}$ ) de 10 m/s para la ubicación 2.

Se coloca en la fila "20" de la columna "1": **10,0** m/s.

21) Se obtiene el valor de la altura dinámica en la ranura ( $h_{DR}$ ) utilizando la ecuación (14) adaptada para la ranura:

$$h_{DR} = v_{ran}^2 / 16,35 = 10,0^2 / 16,35 = 6,1 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "21" de la columna "2": **6,1** mmcda.

22) Se obtiene el valor de las pérdidas por ranura ( $h_{ran}$ ) multiplicando el valor de la fila "19", columna "2", por el valor de la fila "21", columna "2", más el valor de la fila "21", columna "2":

$$h_{ran} = 1,78 \cdot 6,1 + 6,1 = 17,0 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "22" de la columna "1": **17,0** mmcda.

23) Como se está analizando un ramal carece de sentido el cálculo de la altura dinámica disponible ( $h_{DD}$ ).

24) Se obtiene el valor de las pérdidas por entrada ( $h_3$ ) sumando el valor de la fila "18", columna "2", más el valor de la fila "22", columna "2", más el valor de la fila "14", columna "2":

$$h_3 = 24,19 + 17,0 + 24,19 = 65,38 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "24" de la columna "1": **65.38** mmcda.

25) La fila "25" de la columna "2" queda en blanco ya que el tramo 1 – A es un ramal y no un troncal.

26) Se obtiene el valor de la pérdida total del ramal ( $h$ ), sumando el valor de la fila "12", columna "2", más el valor de la fila "16", columna "2", más el valor de la fila "24", columna "2":

$$h = 9.01 + 18.87 + 65.380 = 93.26 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "26" de la columna "2": **93.26 mmcda**.

Con esto se termina el cálculo de la pérdida de presión total del ramal **1-A**.

### **Paso 3**

Se continúa con los ramales que concurren al nudo A.

#### **Análisis del equilibrio del nudo A**

Se calculan las pérdidas de presión totales para los dos tramos que concurren al nudo A, siguiendo los pasos indicados en el Paso 1 y 2.

En la columna "1" y en la columna "2" están indicados los resultados de los cálculos efectuados para obtener la pérdida de presión total del ramal **2-A**, que resulta igual a **95.316 mmcda**, y del ramal **1-A**, que resulta igual a **93.26 mmcda** (fila 26).

Comentario: "En el caso del ramal **2-A** se eligió un diámetro de 320 mm medida interior y por tratarse del mismo caudal, se establece el mismo diámetro de 320 para el tramo **1-A**

#### **Paso 4**

Se procede al cálculo del troncal A-B. Al ramal 1-A o 2-A, que ahora están en equilibrio entre sí, se le sumará la pérdida de presión total del tramo A-B. Esa suma deberá estar en equilibrio con la pérdida de presión total del ramal 3-B, que también concurre al nudo B.

Se identifica en la fila "1" de la columna "3" al troncal **A-B**. Se comienza determinando el caudal que circula por el troncal A-B como suma de los caudales del ramal 1-A y del ramal 2-A:

$$Q = 1,6 + 1.6 = 3.2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Se coloca este valor en la fila "3" (Q) de la columna "3": **3.2 m<sup>3</sup>/s**.

Se elige la velocidad mínima de transporte de 20 m/s y se calculan los valores de las filas correspondientes a la columna "3", según lo explicado en el Paso 1.

Se coloca este valor en la fila "3" (Q) de la columna "3": **3.2 m<sup>3</sup>/s**.

4) Se elige la velocidad de diseño ( $v_d$ ), correspondiente al transporte de partículas del proceso de polvo de hormigón que es similar al polvo de puzolana que se considera polvo ordinario y que se encuentra entre 15 y 20 m/s (ver Tabla- C, Anexos); en este caso se elige 20 m/s.

Se coloca en la fila "4" de la columna "3": **20,0 m/s**.

5) Se calcula el diámetro (D) del conducto utilizando la ecuación:

$$D = (4 / \pi \cdot Q / v)^{1/2} = (4 / \pi \cdot 3.2 / 20)^{1/2} = 0.451 \text{ m}.$$

Se coloca en la fila "5" de la columna "3": **451 mm**.

6) Se redondea al diámetro entero menor que resulta ser de 0,450 m. Se coloca en la fila "6" de la columna "3": **450** mm.

7) Se calcula la velocidad real en el conducto utilizando la siguiente expresión:

$$v_r = Q / (\pi / 4 \cdot D^2) = 3,2 / (\pi / 4 \cdot 0.450^2) = 20.12 \text{ m/s}$$

Se coloca en la fila "7" de la columna "3": **20.12** m/s.

8) Se indica la longitud del tramo recto (L) que es dato puesto que se indica en el alcance del proyecto.

Se coloca en la fila "8" de la columna "3": **12.6** m.

9) Se calcula la pérdida de presión por unidad de longitud (j) = 0.93 mmcda / m.

Se coloca en la fila "9" de la columna "3": **0.93** mmcda / m.

10) Se indica el valor del factor de corrección (f<sub>c</sub>) obtenido de la Figura – B (Ver Anexo 2, Figuras), y que resulta ser: f<sub>c</sub> = 1.0, por utilizar chapa de acero para la construcción de los ductos, se consideran como tubos normales.

Se coloca en la fila "10" de la columna "3": **1.0**

11) Se obtiene el valor de Fricción (F<sub>r</sub>) multiplicado el valor de la fila "9", columna "3", por el valor de la fila "10", columna "3",:

$$\text{Fricción} = 0.93 \times 1.0 = 0.93 \text{ mmcda / m}$$

Se coloca en la fila "11" de la columna "2": **0.93** mmcda / m.

12) Se obtiene el valor de la pérdida por fricción (h<sub>1</sub>) multiplicando el valor de la fila "8", columna "3", por el valor de la fila "11", columna "3",:

$$h_1 = 12.6 \times 0.93 = 11.72 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "12" de la columna "3": **11.72** mmcda.

13) Se obtiene el valor de la sumatoria de los coeficientes  $k$  ( $k$ ), por tratarse de accesorios en serie, de la siguiente forma:

Tabla 4.6. Datos sobre accesorios (C)

Accesorios	Coefficiente de Perdida
1 – Curva de 150° - R/D = 1.5	K = 0.78
1 – Curva de 90° - R/D = 2.0	K = 0.27
1 – Curva de 75° - R/D = 2.7	K = 0.26

Fuente: Elaboración propia.

Se coloca en la fila "13" de la columna "3": **1.31**

14) Se obtiene el valor de la altura dinámica ( $h_D$ ) utilizando la ecuación:

$$h_D = v^2 / 16,35 = 20.12^2 / 16,35 = 24.76 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "14" de la columna "3": **24.76** mmcda.

15) La fila "15" de la columna "3". Para el cálculo de este troncal se utiliza el concepto del equilibrio dinámico del nudo y se comienza aplicando la expresión siguiente para calcular la altura dinámica disponible en el nudo A:

$$h_{DD} = (Q_{1-A} \cdot h_{D1-A} + Q_{2-A} \cdot h_{D2-A}) / (Q_{1-A} + Q_{2-A})$$

$$h_{DD} = (1.6 \times 24.19 + 1.6 \times 24.19) / (1.6+1.6) = 24.19 \text{ mmcda}$$

Se coloca este valor en la fila "23" ( $h_{DD}$ ) de la columna "5": **24.19** mmcda.

Se calcula la pérdida por aceleración ( $h_D$ ) utilizando la expresión siguiente y resulta ser:

$$h_D = h_{DR} - h_{DD} = 20 - 24.19 = - 4.19 \text{ mmcda}$$

Lo que da un valor negativo y entonces se hace igual a:  $h_D = 0$  mmcda.

Este valor se coloca en la fila "25" ( $h_D$ ) de la columna "5": **0** mmcda.

La fila "26" ( $h$ ), pérdida de presión total para ramales, también queda vacía por no tratarse de un ramal.

La pérdida de presión total ( $h$ ), para el troncal, fila "27", resulta ser, solamente, la pérdida por fricción ( $h_1$ ): ( $h$ ) = 11. mmcda.

Se coloca en la fila "27" ( $h$ ) de la columna "5": **11.72** mmcda.

La pérdida total acumulada ( $h_{acumulada}$ ), fila "28", se obtiene como suma del valor de la fila "26" de la columna "2" (ramal 1-A) y del valor de la fila "27" de la columna "3" (troncal A-B):

$$h_{acumulada} = 93.26 + 11.72 = 104.98 \text{ mmcda}$$

Se coloca en la fila "28" ( $h_{acumulada}$ ), de la columna "3": **104.95** mmcda.

16) Se obtiene el valor de la pérdida por accesorios ( $h_2$ ) multiplicando el valor de la fila "13", columna "3", por el valor de la fila "14", columna "3":

$$h_2 = 1.31 \times 24.76 = 32.43 \text{ mmca}$$

Se coloca en la fila "16" de la columna "2": **32.43** mmca.

### **Paso 5**

$$h_{\text{descarga}} = h_{\text{acumulada (1-A, 1-B, A-B)}} + h_{2 \text{ A-B}}$$

$$h_{\text{descarga}} = 104.98 + 32.43 = 137.41$$

**Cálculo de la potencia que se debe entregar al aire (Pot a)** El caudal que se requiere mover a través del SVLE es:

$$Q_{\text{descarga}} = Q_{1-A} + Q_{2-A} + Q_{A-B} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{descarga}} = 1.6 + 1.6 + 3.2 = 6.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

La potencia (**Pot a**) que se debe entregar al aire para que pueda vencer las resistencias del sistema se calcula según la ecuación **(A)** y utilizando los valores correspondientes se obtiene los datos siguientes:

$$\text{Pot a} = Q_T \times h_{\text{descarga}} \times 9.81 \text{ (gravedad)} \dots \dots \text{ (A)}$$

$$\text{Pot a} = 6.4 \times 137.41 \times 9.81 = 19488,8 \text{ W} = 8.62 \text{ kW} \text{ Pot a} =$$

$$8.62 \text{ kW} = 8.62 / 0,736 = 11.71 \text{ cv}$$

$$\text{Pot a} = 8.62 \text{ kW} = 8.62 / 0,745 = 11.5 \text{ hp}$$

A partir de estos valores se seleccionará el ventilador a utilizar.

### **4.3. Cálculo de la tolva de descarga**

#### **4.3.1. Chutes y tolvas**

Varias configuraciones de conductos y tolvas se utilizan en el diseño de planta. La configuración de los conductos y tolvas deberá ser lo suficientemente grande para que el flujo avance por gravedad.

Todos los conductos, faldones, cubiertas y capuchas se diseñarán para un control eficaz el polvo y deberán disponer de conexiones de escape de polvo que terminan en una brida de conducto. Una cortina de polvo de goma, se comunicará a la entrada de conductos de descarga transportadoras y juntas de eje también se proporcionará.

Las conexiones para chute se darán mediante bridas y atornilladas para facilitar el mantenimiento en campo.

Los chutes se utilizan para contener materiales a medida que fluyen por gravedad.

#### **4.3.2. Procedimiento de trabajo**

- Cargue el material en la cinta a una velocidad uniforme.
- Coloque en la cinta en el centro.
- Entregar el material en la dirección de desplazamiento de la cinta.
- Mantener un ángulo mínimo de inclinación de la correa en el punto de carga.
- Proporcionar un espacio adecuado borde de la banda para permitir el sellado.
- Proporcionar un espacio adecuado y el acceso para permitir la inspección y el servicio en ambos lados de la cinta transportadora.

### 4.3.3. Especificaciones generales

Todas las canaletas y tolvas serán de mínimo de 1/4 " (7 mm) de espesor, en material A.S.T.M. A-36 de acero.

Las configuraciones de los chutes y tolvas deberán ser cuadradas o rectangulares en sección transversal. Además, se tendrá en cuenta para el material manejado, como el tamaño de partícula, contenido de humedad, características de flujo y abrasividad. La sección de la rampa debe ser al menos 3 veces más grande que la pieza más grande de material que se espera de manejar. Se utilizarán tres cajas de piedra donde la velocidad de flujo de material es tal que el impacto material podría causar daños.

Los chutes con caídas verticales largos serán "escalonada" abajo con el fin de controlar el impulso y mitigar el impacto.

Los chutes contienen materiales que pueden adherirse mojados para lo cual deberán construirse con agujeros (ventanas de inspección) o paneles desmontables en lugares accesibles por acuerdo del propietario.

En las rampas y paredes de la tolva inclinada se efectuará con arreglo a los ángulos de pendiente como se indica en la Tabla 4-6 para diferentes materiales.

Los mínimos de espesor de placa del conducto:

- El carbón pulverizado y coque de petróleo: conductos de 10 mm ( 3/8")
- Conducto de proceso: 5 mm (3/16 ").
- Líneas refractarios conducto: 6 mm (1/4 ")

- Los conductos de ventilación tramos rectos: 3 mm (10 ga.)
- Ventile capuchas, los codos, las ramas, las transiciones, ampliaciones y contracciones: 5 mm (3/16") abrasive / 10 ga. (3 mm, 1/8") non- abrasive.

#### **4.3.4. Rampas de puzolana**

Las rampas escalonadas serán utilizadas para materiales altamente abrasivos tales como la puzolana.

La placa inferior del chute de puzolana estará diseñada para formar cajas de piedra de puzolana.

La caída libre de la puzolana en las rampas se limitará a 4 '0 "antes de impactar una" caja " cuando sea posible.

La placa inferior chute de puzolana se refuerza con barras de acero cuadrado de 1-1/2" pulgadas para la resistencia al desgaste. Estas barras de soldadura se harán de forma continua alrededor de la abertura de descarga. La apertura de la brida de descarga deberá ser como mínimo 2 pulgadas más grande de todo que la abertura formada por las barras de desgaste.

Mantenimiento de puertas o paneles removibles se proporcionan para la inspección y / o sustitución de los revestimientos.

#### **4.3.5. Placa de desgaste**

Chutes y tolvas que manejan materiales abrasivos irá revestida con placa resistente al desgaste abrasivo. Los chutes tendrán

revestimiento en la superficie inferior y dos tercios de la altura de los lados.

#### **4.3.6. Chutes y tolvas: alineamiento**

Para la materia prima, el carbón, el coque de petróleo y manejo aditivos, desgaste de las placas deberán ser de 1/2" (13 mm) placa de acero de espesor resistente a la abrasión con una dureza mínima de 400 BHN, Ryerson AR400 o igual en las paredes laterales o un propietario aprobó iguales, con agujeros avellanados para tornillos y tuercas de conexión a las paredes laterales.

Canalones de contención y manejo de cemento, no requieren ningún revestimiento.

Las planchas de refuerzo deberán estar diseñadas para pesar más de 50 libras y tendrán un tamaño que ser reemplazado fácilmente.

Las placas de desgaste deben ser instalados usando tornillos de 5/8" (16 mm) de diámetro en un máximo de 12" (300 mm) de centro a centro distancia con una distancia máxima de 3" (76 mm) del borde. Todos los agujeros para atornillar la placa de desgaste para ser

11/16" (18 mm) de diámetro y contador hundido en el lado de la placa de desgaste para que la cabeza quede a ras con la superficie del revestimiento. El acceso será proporcionado para la remoción y sustitución de placas de desgaste.

#### **4.3.7. Bridas**

Las bridas deben estar fabricadas del mismo material y tendrán un mínimo de 10 mm. (3/8 ") de espesor a la que se sueldan a menos que consideraciones estructurales dictan lo contrario.

Las bridas ajustables deberán recibir en cada sentido de la carrera de rampa para permitir la instalación. Estas bridas serán de ángulos que son soldados por puntos para el envío, pero permitiendo en modificaciones futuras, ajustar según sea necesario y vuelva a soldar en el campo. Ubicación aproximada de bridas ajustables se indicará en los dibujos.

Los agujeros de pernos para todas las bridas deben estar de acuerdo con AISC. La excepción a lo anterior serán las bridas que se conectan a los equipos adquiridos. Estas bridas serán detalladas sobre los dibujos y coincidirá con la brida del equipo.

Las conexiones con bridas se suministrarán e instalarán con juntas que son adecuados para la presión y la temperatura del material contenido en la tolva o chute.

#### **4.3.8. Dimensionamiento y cuestas**

Para pendientes de rampas y tolvas ver tabla 4.7

##### **Soportes**

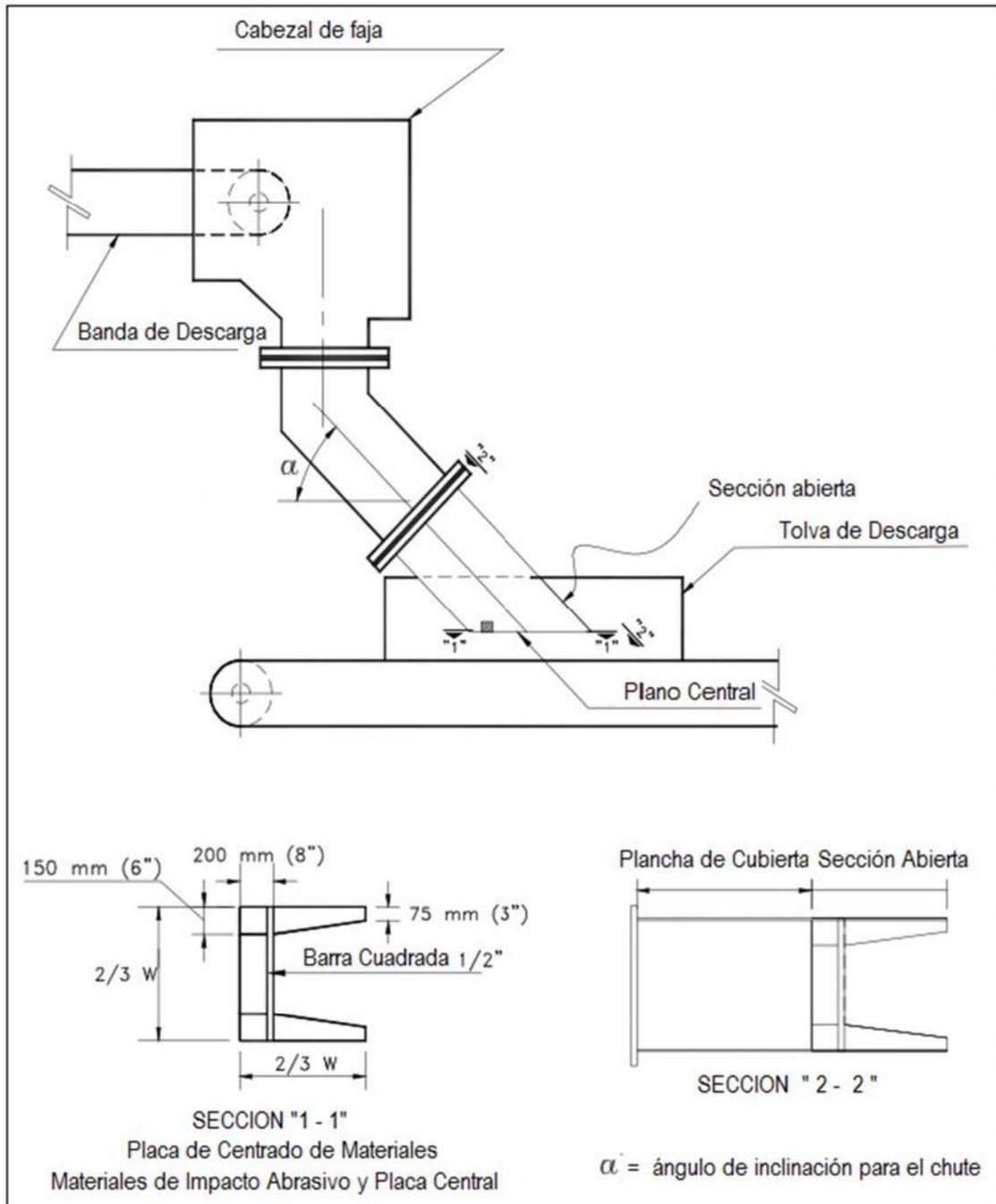
Siempre que sea posible, las rampas serán apoyados desde arriba y no desde el suelo para facilitar la limpieza y acceso. Los soportes para chutes estarán diseñados para el conducto lleno de material.

Tabla 4.7. Ángulos para paredes de chutes y tolvas ( )

<b>Material</b>	<b>Angulo de chute (mínimo)</b>	<b>Angulo de tolvas y chutes con flujo lleno</b>
Cemento	60°	60°
Arcilla Húmeda	75°	75° a 90°
Arcilla Seca	60°	60°
Clinker	50°	60°
Carbón Molido	70°	75°
Polvo de harina cruda	60°	60°
Polvo de retorno	60°	60°
Caliza	50°	60°
Arena húmeda	75°	75° a 90°
Shale húmeda	75°	75° a 90°
Shale seca	60°	60°

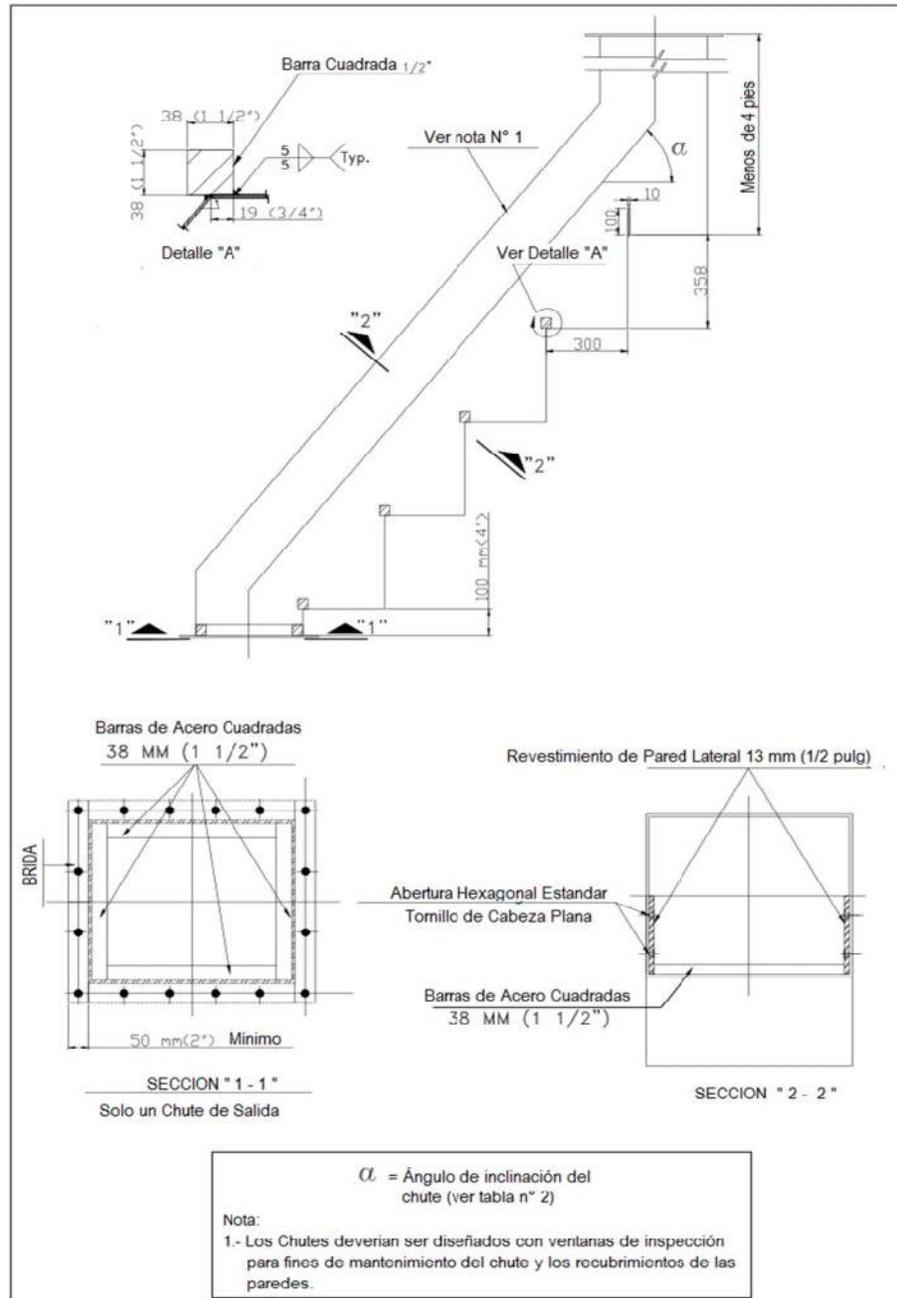
Fuente: Diseño de tolvas y chutes de descarga. Pendientes y declives.

Figura 21. Dimensionamiento para chutes de descarga



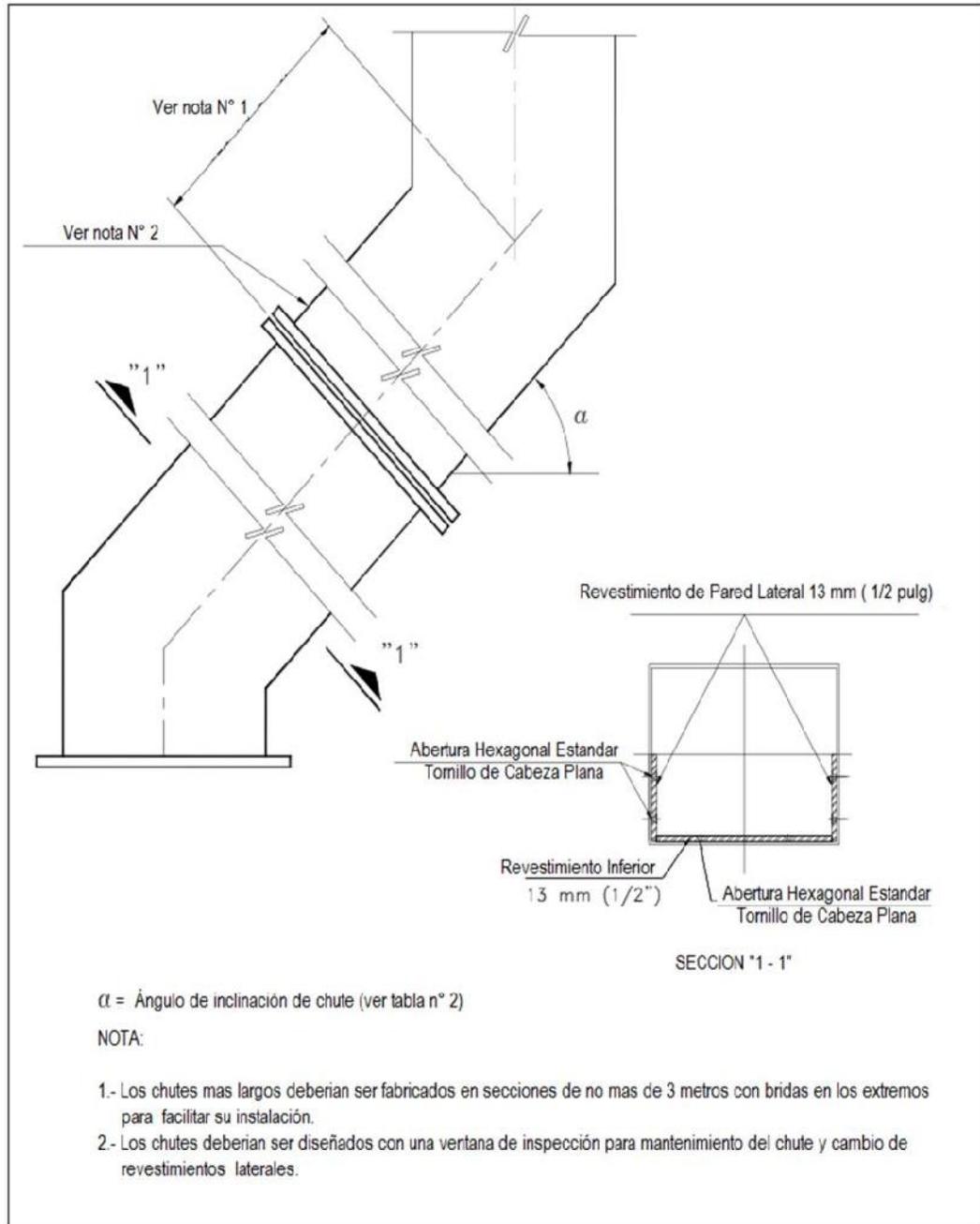
Fuente: Sistemas para tránsito de material. Chutes de descarga.

Figura 22. Dimensionamiento, distribución de agujeros en bridas y planchas anti-desgaste



Fuente: Sistemas para tránsito de material. Chutes de descarga.

Figura 23. Distribución de planchas anti-desgaste

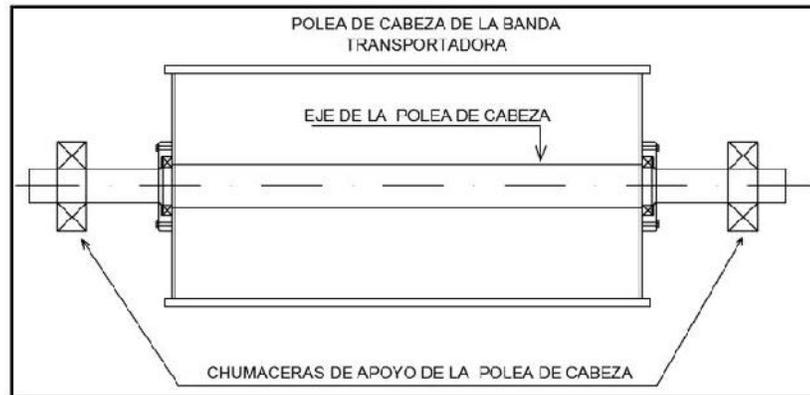


Fuente: Sistemas para tránsito de material. Chutes de descarga.

## 4.4. Análisis de las cargas por fatiga

### 4.4.1. Diseño de ejes y cálculo por fatiga

Figura 24. Cálculo de la polea de cabeza para la banda transportadora



Fuente: Elaboración propia.

La polea de cabeza de la banda transportadora, estará sujeta a múltiples esfuerzos y condiciones, como el desalineamiento, vibraciones, polvo, desgaste por efectos mecánicos y fatiga, es por tal motivo que se plantea el cálculo de diseño para verificar la eficiencia y la vida útil de la polea, la cual se provee por el vendedor teniendo las normas siempre presentes.

#### Detalle de la actividad

El material utilizado para la construcción de la polea es de acero AISI 1140 con tratamiento térmico, inmerso en agua y recosido, el eje de la polea de cabeza de la faja recibe 15 hp de potencia necesarios y con el castigo correspondiente por pérdidas y avanza a una velocidad tangencial de 354.33 ppm (1.8mpm), por lo que para efectos de cálculo se realiza la transformación a rpm, de la siguiente manera:

$$W = \frac{V}{R}$$

Donde:

**W:** Velocidad Radial

**V:** Velocidad Tangencial

**R:** Radio de la Polea de Cabeza

Haciendo los reemplazos correspondientes se tiene:

$$W = \frac{1.8}{0.2415} \Rightarrow W = 7.453 \frac{rad}{seg} = 71.140 \text{ rpm}$$

Utilizando las tablas de diseño de elementos de máquinas (Robert Mott), se puede obtener los valores de  $S_y = 87000 \text{ psi}$  y  $S_u = 114000 \text{ psi}$ , del mismo modo también se obtiene  $S_n = 34000 \text{ psi}$ ,  $C_s = 0.3$ ,  $C_r = 0.81$ , luego obtenemos el valor de  $S'_n$ :

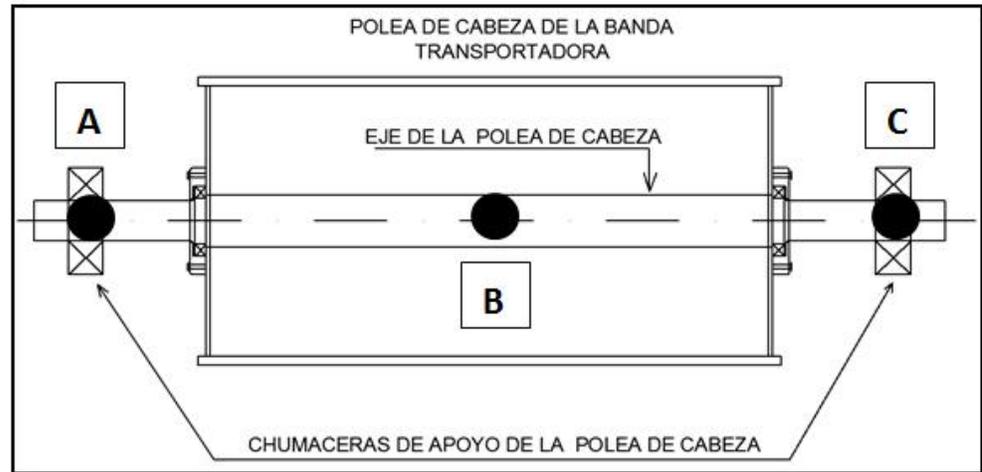
$$S'_n = S_n * C_s * C_r$$

$$S'_n = 34000 * 0.3 * 0.81 = S'_n = 82.62 \text{ psi}$$

Se determina un factor de diseño de  $N = 5$ , y se calcula el torque (T), donde: P = potencia, n = rpm de la polea:

$$T = 63000 \frac{15}{71.14} = T = 13283.66 \text{ lb} * \text{pulg}$$

Figura 25. Puntos para el establecimiento de cargas en la polea



Fuente: Elaboración propia.

### Punto A y C

Cálculo de la tensión por esfuerzo de corte ( $T_d$ )

$$T_d = 0.577 \frac{S_y}{N} \Rightarrow T_d = 0.577 * \frac{87000}{5} \Rightarrow T_d = 10039.8 \text{ psi}$$

Cálculo del coeficiente de la sección polar ( $Z_p$ ):

$$Z_p = \frac{T}{T_d} \Rightarrow Z_p = \frac{13283.660}{10039.8} \Rightarrow Z_p = 1.323 \text{ pulg}^3$$

Cálculo del diámetro del punto "A" el punto "C":

$$D1 = \frac{\sqrt{16 (Z_p)}}{3.1416} \Rightarrow D1 = 1.88 \text{ pulg}$$

D1: Se recomienda un diámetro no menor a 1.88 pulg.

### Punto B

Cálculo del momento de flexión en el punto "B":

M: Momentos flectores en los ejes X , Y

$M_x$ : 2915.67 lb\*pulg

$M_y$ : 2915.67 lb\*pulg

Cálculo del momento total del sistema de ejes:

$$Mt = \sqrt{(Mx)^2 + (My)^2} \Rightarrow \sqrt{(2915.67)^2 + (2915.67)^2}$$

$$Mt = 4122.90 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

Cálculo del diámetro en el punto "B":

$$Db = \left( 32 \cdot \frac{N}{3.1416} \cdot \left[ \left( \frac{Kt \cdot Mt}{S_n} \right)^2 - \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{1/3}$$

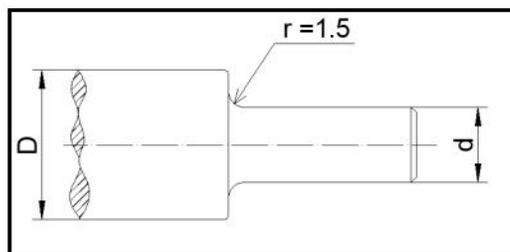
$$Db = \left( 50.93 \cdot \sqrt{0.56^2 - 0.0175^2} \right)^{1/3} \Rightarrow Db = 3.38 \text{ pulg.}$$

Se recomienda un diámetro para el eje interno de la polea de cabeza no menor a 3.38 pulg.

### Cálculo del coeficiente de concentración de esfuerzos por fatiga

Se determina que el eje posee dos puntos de apoyo, por lo que se observa una variación de diámetros en los extremos, por lo que se determina el cálculo de fatiga de material de siguiente manera; Coeficiente de concentración de esfuerzos  $K_t=1.6$

Figura 26. Elemento de sección circular con cambio de sección



Fuente: Elaboración propia.

$$Su = 114000 * \sqrt{a} \Rightarrow Su = 785.92 \text{ MPA} \Rightarrow Su = 0.27 \text{ mm}(0.5)$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0.27}{\sqrt{1.5}}} \Rightarrow q = 0.75$$

Esto indica que la pieza de acero es 75 % sensible a concentrar esfuerzos por fatiga.

$$Kf = 1 + q Kt - 1 \Rightarrow Kf = 1 + 0.75 1.6 - 1 \Rightarrow Kf = 1.45$$

## 4.5. Diseño y cálculo de la estructura funcional del sistema

### 4.5.1 Análisis de carga

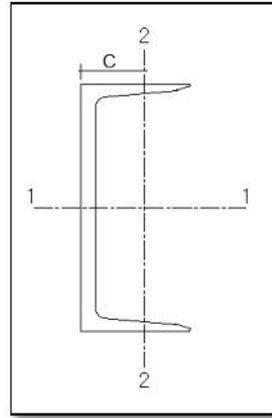
Para el análisis de esfuerzos sobre la estructura que soporta la faja, accesorios, chutes y el propio material, se consideró las siguientes cargas:

- Carga viva (Cv)
- Carga de seguridad (Cs)
- Carga muerta (Cm)

Para la carga viva se considera la carga total del sistema, para la carga de seguridad entre 25 a 30% de la carga a soportar y para la carga muerta el peso del soporte del sistema.

Para el perfil destinado como soporte de la estructura se escogió el canal C8 x 11.5.

Figura 27. Perfil adecuado para el soporte de la estructura



Fuente: Elaboración propia.

Características del Perfil:

Área = 3.37 pulg<sup>2</sup> – 21.74cm<sup>2</sup>

Espesor del alma = 0.22 pulg - 0.56 cm

Eje 1 – 1

- I = 32.5 pulg<sup>4</sup> – 1352.75 cm<sup>4</sup>

- S = 8.14 pulg<sup>3</sup> - 133.39 cm<sup>3</sup>

- r = 3.11 pulg – 7.89 cm

Eje 2 – 2

- I = 1.31 pulg<sup>4</sup> - 54.53 cm<sup>4</sup>

- S = 0.775 pulg<sup>3</sup> – 12.70 cm<sup>3</sup>

- r = 0.623 pulg – 1.58 cm

- c = 0.572 pulg – 1.45 cm

Peso de la viga soporte de la estructura por cm

0.17 kg/cm

Momento de Inercia, respecto del Eje 1-1

$$I_{1-1} = 1352.75 \text{ cm}^4$$

Sección Resistente, Respecto del Eje 1-1

$$S_{1-1} = 133.39 \text{ cm}^3$$

Momento de Inercia, respecto del Eje 2-2

$$I_{2-2} = 54.53 \text{ cm}^4$$

Sección Resistente, Respecto del Eje 2-2

$$S_{2-2} = 12.70 \text{ cm}^3$$

Radio de Giro (r t)

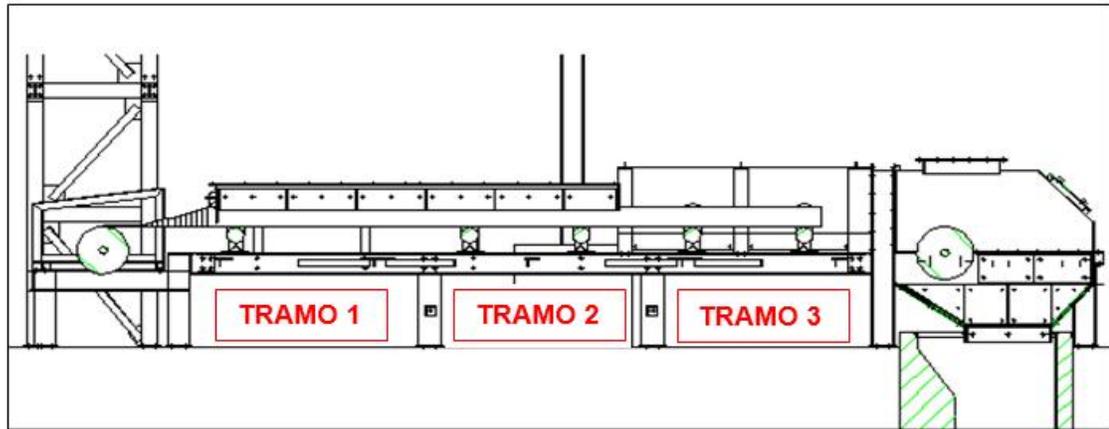
$$rt_{1-1} = \sqrt{\frac{I_{1-1}}{A}} \quad ; \quad rt_{2-2} = \sqrt{\frac{I_{2-2}}{A}}$$

$$rt_{2-2} = \sqrt{\frac{54.53}{21.74}} = rt_{2-2} = 1.58$$

Esfuerzo Permisible de Flexión

$$2694 \frac{\bar{c}b}{F_y} \quad \frac{L}{rt} \quad 6025 \frac{\bar{c}b}{F_y}$$

Figura 28. Vista lateral de faja transportadora



Fuente: Elaboración propia.

### Tramo 1

Esfuerzo Permissible de Flexión

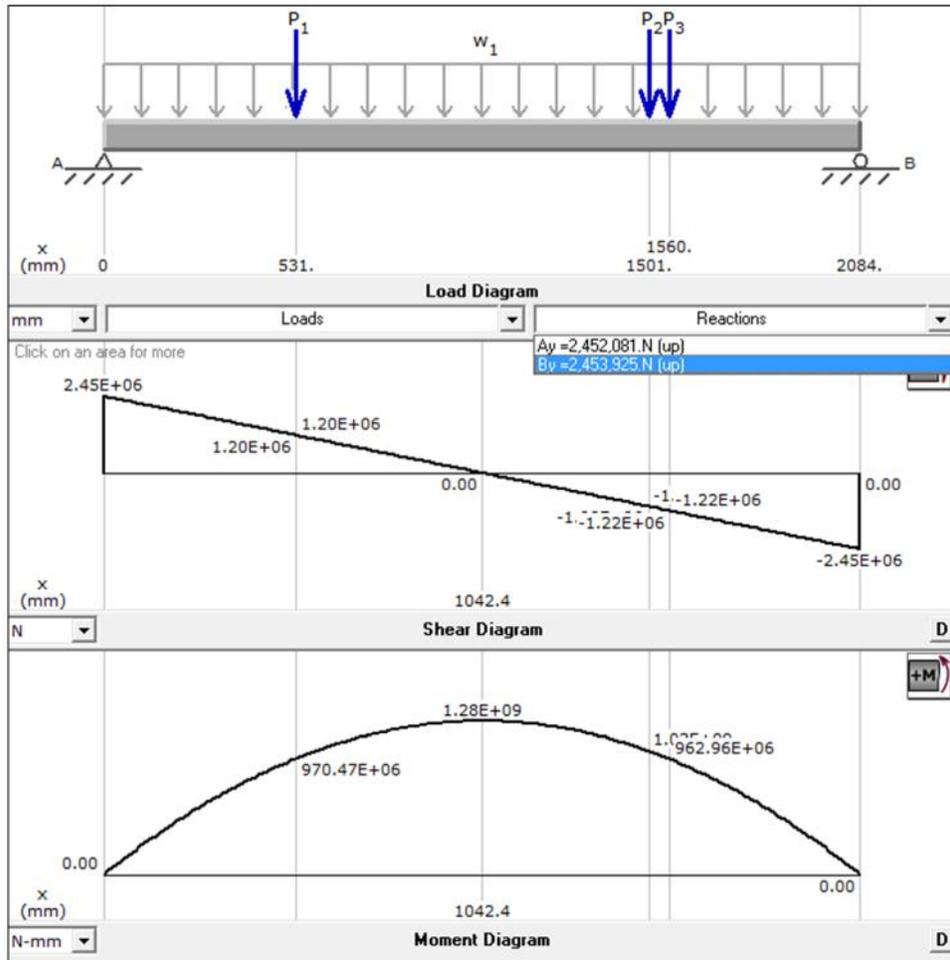
$$2694 \frac{\overline{Cb}}{Fy} \quad \frac{L}{rt} \quad 6025 \frac{\overline{Cb}}{Fy}$$

$$Fy = 2453 \quad ; \quad Cb = 1$$

Esfuerzo Permissible de Flexión

$$54.39 \quad \frac{L}{rt} \quad 121.65, \text{ Si cumple}$$

Figura 29. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 1



Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo permisible de flexión  $F_b$

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y \left( \frac{l}{rt} \right)^2}{108.88 \times 10^6} \times C_b \right] \times F_y \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = \frac{2}{3} - \frac{2453 \frac{208.4^2}{1.58}}{108.88 \times 10^6} \times 1 \times 2453 \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = 678.66 \text{ kg/cm}^2 \leq 1471 \text{ kg/cm}^2$$

Momento máximo de la viga seleccionada será:

$$M_{xx} = F_b \times S_{xx}$$

$$M_{xx} = 1316.40 \times 133.39$$

$$M_{xx} = 175541.24 \text{ Kg.cm}$$

Este es el momento que puede soportar el tramo 1.

## Tramo 2

Esfuerzo Permissible de Flexión

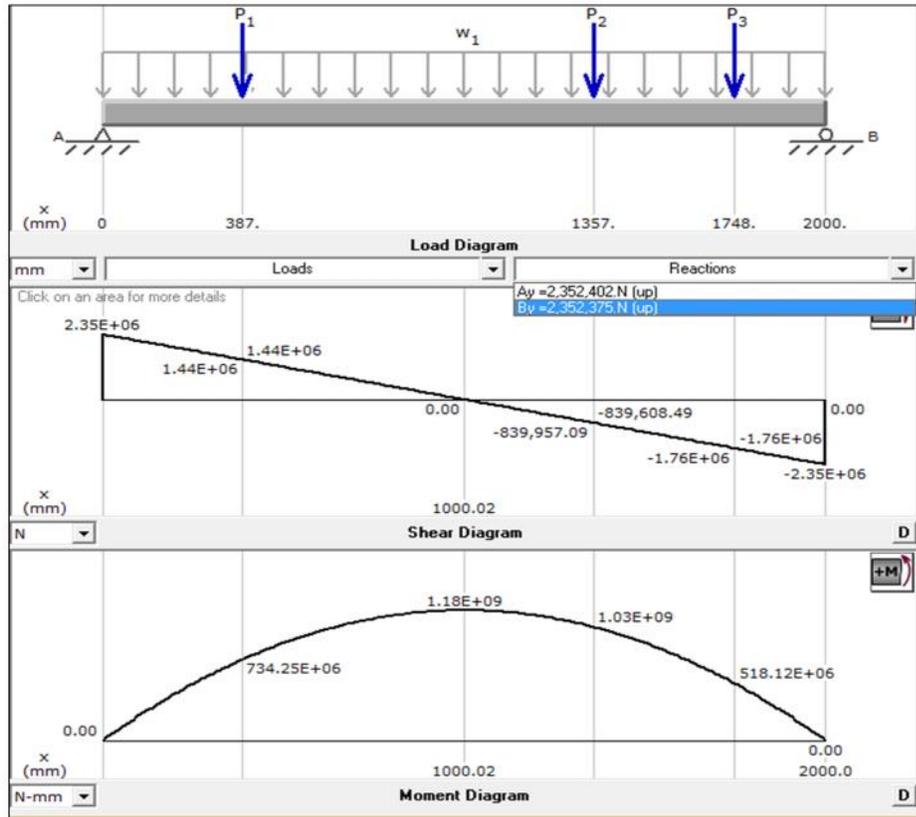
$$2694 \frac{\overline{C_b}}{F_y} \quad \frac{L}{rt} \quad 6025 \frac{\overline{C_b}}{F_y}$$

$$F_y = 2352.38 \quad ; \quad C_b = 1$$

Esfuerzo Permissible de Flexión

$$55.54 \quad \frac{L}{rt} \quad 124.22, \text{ Si cumple}$$

Figura 30. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 2



Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo permisible de flexión  $F_b$

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y \left( \frac{l}{rt} \right)^2}{108.88 \times 10^6} \times C_b \right] \times F_y \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{2352.38 \left( \frac{200}{1.58} \right)^2}{108.88 \times 10^6} \times 1 \right] \times 2352.38 \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = 744.92 \text{ kg/cm}^2 \leq 1411.42 \text{ kg/cm}^2$$

Momento máximo de la viga seleccionada será:

$$M_{xx} = Fb \times S_{xx}$$

$$M_{xx} = 744.92 \times 133.39$$

$$M_{xx} = 99364.88 \text{ Kg.cm}$$

Este es el momento que puede soportar el tramo 2.

### Tramo 3

Esfuerzo Permissible de Flexión

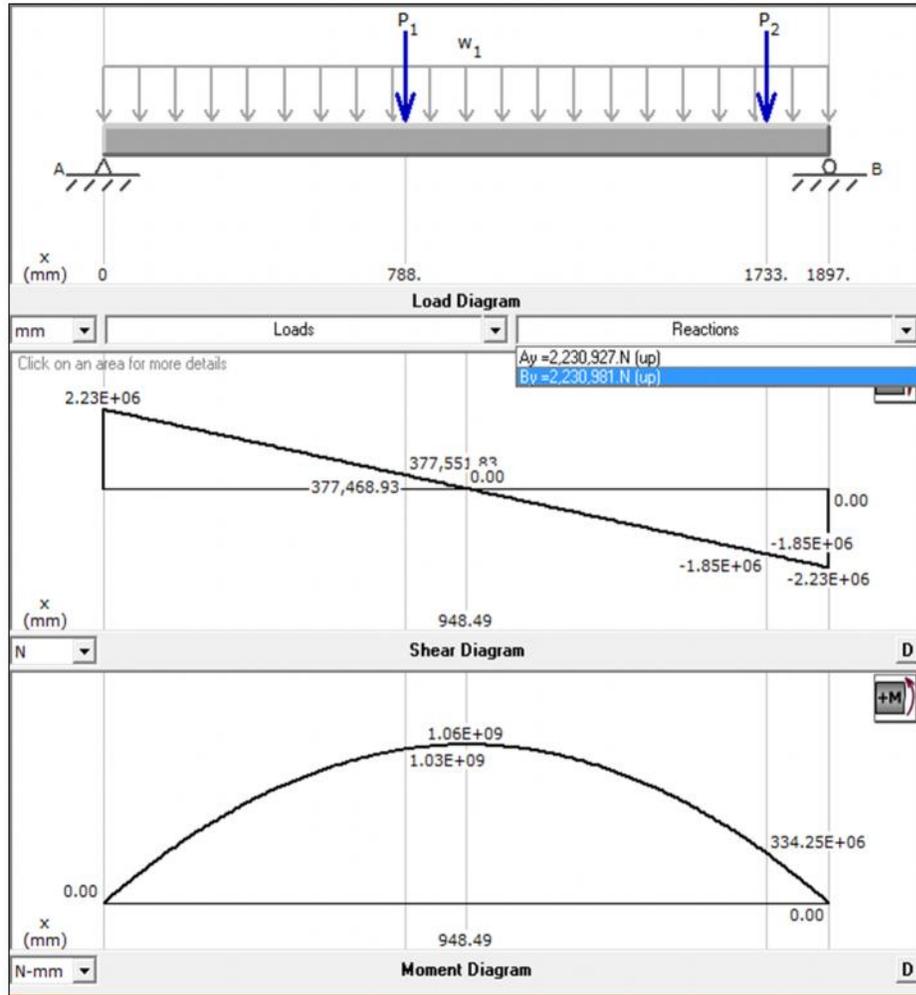
$$2694 \frac{\bar{C}_b}{F_y} \quad \frac{L}{rt} \quad 6025 \frac{\bar{C}_b}{F_y}$$

$$F_y = 2230.92 \text{ ; } C_b = 1$$

Esfuerzo Permissible de Flexión

$$57.04 \quad \frac{L}{rt} \quad 127.56, \text{ Si cumple}$$

Figura 31. Análisis de momento y esfuerzo cortante en el tramo 3



Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzo permisible de flexión  $F_b$

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y \left( \frac{l}{rt} \right)^2}{108.88 \times 10^6} \times C_b \right] \times F_y \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = \frac{2}{3} - \frac{2230.92 \frac{200}{1.58}^2}{108.88 \times 10^6} \times 1 \times 2230.92 \leq 0.6 F_y$$

$$F_b = 846.31 \text{ kg/cm}^2 \leq 1338.39 \text{ kg/cm}^2$$

Momento máximo de la viga seleccionada será:

$$M_{xx} = F_b \times S_{xx}$$

$$M_{xx} = 846.31 \times 133.39$$

$$M_{xx}$$

$$= 112889.29 \text{ Kg.cm}$$

Este es el momento que puede soportar el tramo 3.

## **CAPÍTULO V**

### **DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE**

#### **5.1. Descripción de los alcances del proyecto**

La finalidad del proyecto es implementar un sistema de derivación Bypass, que conecte dos líneas de producción directamente, evitando el tránsito innecesario por los molinos secundarios, los cuales deben entrar en funcionamiento para permitir el paso del material originando un gasto en Watts de potencia consumida, por su trabajo adicional. El proyecto debe abarcar la fabricación y montaje del sistema en el área de trabajo.

#### **5.2. Descripción de las fabricaciones y montaje**

Para las fabricaciones del sistema, se consideró todos los elementos, necesarios para las fabricaciones. Los trabajos de iniciarán el 18 Julio de 2014, y culminaran el 19 de Septiembre del 2014, Para la primera parte del proyecto se inició con la postulación para la licitación de proyecto, una vez superada esta primera parte se procedió a realizar las coordinaciones previas como el costo de las fabricaciones, los plazos establecidos para la fabricaciones, las fechas de entrega y también los trabajos concernientes al montaje explicados más adelante.

### **a. Descripción de las fabricaciones**

Para las fabricaciones el cliente establece los lineamientos básicos con los que debe cumplir las fabricaciones, como velocidades de trabajo de las bandas existentes, las distancias, la construcción civil existente, si existen elementos existentes como tuberías o estructuras que se deben respetar o se moverán a futuro entre otros, una vez culminado estos lineamientos entre ambas partes, se desarrollan los planos de fabricación del sistema, el modelamiento se realiza por medio de un software, por medio del cual se digitaliza lo que se desea construir, y a partir de la contrastación con los requerimientos del cliente y mediciones previas por los ingenieros de campo. Se procede a presentar los planos para su revisión.

Una vez se haya revisado y aprobado los planos para fabricación correspondientes en la planta, se procederá a la transformación de los mismos, considerando los detalles necesarios referidos a tolerancias de fabricación, normas de soldadura, preparación y acabado superficial. De igual manera para el control y el avance se utilizará un software (MS Project), para mejorar la eficiencia de las tareas y cumplir con los tiempos asignados por el contrato.

### **b. Descripción del montaje**

Para el montaje de las estructuras fabricadas, se elaboró un Plan de Puntos de Inspección, el cual es necesario para garantizar el montaje en cada una de sus etapas, desde el reconocimiento e inspección de materiales, el pre-montaje, el torqueo final, touch up y liberación final de la estructura.

Dentro del Anexo n° 4, se muestra el Plan de Puntos de Inspección para las fabricaciones y el montaje correspondiente de la estructura del sistema de Derivación Bypass.

### **5.3. Interpretación de planos**

Los planos de montaje deben ser detallados y revisados por el personal competente, aquellas personas que lo generan, como el diseñador mecánico y el ingeniero a cargo del proyecto, de igual manera el cliente tendrá un departamento encargado del visado de estos planos antes de iniciarse el montaje. En los planos cabe mencionar la importancia que debe diferenciarlos de los planos de fabricación, es así que los planos de montaje deben contar con el correlativo de montaje de cada elemento, la secuencia, medidas de referencia a las cuales deben permanecer los elementos una vez montados y aquellos elementos que se deben mantenerse en espera ante un eventual modificación o conexión con estructuras existente.

Se considera tres planos principales para la descripción de la implementación a realizar los cuales se pueden ubicar en el Anexo n° 3 – Planos.

#### **Normalización**

La normativa usada la generación de los planos en la DIN, con esta norma se detallará; los tamaños de los planos, los títulos y listas de piezas, las disposiciones de los dibujos, listas de planos, el escalado, entre otros alcances indispensables para el desarrollo de los planos.

### **5.4. Evaluación del montaje**

Antes de la presentación de los trabajos de montaje estos se deben corroborar con el topógrafo para la liberación del final, puesto que la nivelación de las estructuras es importante, si es que no se desea presentar un desgaste prematuro de los elementos, ya sean de los chutes, o de

la propia banda transportadora. Dentro de las labores de liberación con topografía se destaca la labor de Ingeniero de Calidad y del Técnico Topógrafo los cuales mediante la constatación en campo mediante equipos y la documentación brindan la confiabilidad necesaria para que el producto entregado al final cumpla con los lineamientos técnicos establecidos por normas nacionales e internacionales y del mismo modo con las características establecidas por el cliente.

### **5.5. Sistemas de prevención y seguridad**

Dentro de los sistemas de prevención y seguridad, establecidos durante las etapas de fabricaciones y la etapa de montaje, se implementó con ayuda de un ingeniero de seguridad un plan tanto para las labores en la planta y las labores en campo.

El sistema de seguridad implantado se basa en cuatro documentos; plan de seguridad, matriz de riesgos y prevención de incidentes, un plan de manejo ambiental y un IPECR. Estas herramientas tienen la finalidad proveer la visión de las tareas a desarrollarse acabó tanto en el área de fabricaciones como en el montaje.

Dentro del plan de seguridad se puede detallar de manera precisa el desarrollo de las actividades como acciones en caso de incidentes, línea de mando, documentación reservada para cada labor y las capacitaciones necesarias con las que debe contar el personal, según se le designe las tareas. Otro aspecto resaltante es el plan de manejo ambiental que tiene por bien la aplicación de la normativa vigente en temas de medioambiente, además de establecer las condiciones del área de trabajo, los insumos químicos usados y la respectiva difusión en casos de primera respuesta ante eventuales incidentes.

En temas de prevención de seguridad, es importante que el personal tenga por bien el conocimiento de las labores que va a desarrollar y los peligros a los que está expuesto y más importante aún, es de que manera puede cada uno de ellos, a nivel personal, reducir y mitigar el riesgo al que se expone todos los días en al ambiente laboral.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN**

#### **6.1. Descripción de costos de fabricación**

Para determinar los costos totales del proyecto de implementación del sistema, se dividió los gastos en fabricaciones y montaje. Para el análisis de costos en fabricación, se dividió los gastos en materiales para la fabricación, producción de chutes de transferencia, ductos de despolvorización, faja transportadora y acabado superficial y pintura.

Dentro de los materiales para las fabricaciones, se consideró los perfiles disponibles en el mercado para evitar retrasos en la disponibilidad de suministros. Para las fabricaciones de los chutes de transferencia, ductos de despolvorización y faja transportadora se designó los grupos de acuerdo a las habilidades y se consideró que elementos deberían de producirse primero, previendo la secuencia del montaje.

Para la etapa del montaje de las estructuras, se establece un cuadro de prioridades y fechas, en las cuales se debe contar con los elementos puestos en obra, de tal manera que los recursos asignados a las distintas tareas no se entrecrucen o se produzcan vacíos (tiempos muertos), para ello la comunicación entre ambas partes debe ser fluida, además de manejar la misma información a ambos lados.

Dentro del análisis de costos para el montaje se considera como partida inicial los trabajos previos, acondicionamiento de área. Es en esta parte donde se debe lograr una distribución de las tareas, los grupos de trabajos y la función de los supervisores. Consiste también en realizar trabajos como; desplazamiento de estructuras existentes, demarcación de área, localización de campamento, entre otros.

Cuadro 2. Análisis de costos de fabricación, chutes de transferencia y ductos de despolvorización

ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN						
MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN						
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio por unidad \$/.	Parcial \$/.		
MATERIALES PARA FABRICACIÓN						
Perfil C8 x 11.5	m	6.0000	80.00	480.00		
Plancha de 1/2 pulg. ASTM A36	m <sup>2</sup>	10.0000	120.00	1,200.00		
Plancha de 1/4 pulg. ASTM A36	m <sup>2</sup>	10.0000	90.00	900.00		
Platina de 2 1/2 pulg. X 3/8 pulg. ASTM A36	hh	20.0000	60.00	1,200.00		
Plancha Bimetálica de Alta Resistencia de 3/4 pulg.	m <sup>2</sup>	20.0000	400.00	8,000.00		
Plancha de 3/8 pulg.	m <sup>2</sup>	15.0000	100.00	1,500.00		
Angulo de 3" x 3" x 1/4" ASTM A36	m	10.0000	80.00	800.00		
Viga W 8 x 31 ASTM A36	m	10.0000	350.00	3,500.00		
Angulo de 2" x 2" x 1/4" ASTM A36	m	18.0000	60.00	1,080.00		
Plancha de 5/8" ASTM A36	m <sup>2</sup>	5.0000	150.00	750.00		
Plancha Bitálica T1 de Alta Resistencia de 1/2".	m <sup>2</sup>	8.0000	350.00	2,800.00		
Viga W 6 x 15 ASTM A36	m	25.0000	250.00	6,250.00		
Recubrimientos Industriales	m <sup>2</sup>	16.0000	200.00	3,200.00		
Consumibles, (Electrodos, Discos, Hojas de Sierra, Brocas, etc).	und	1.0000	5,000.00	5,000.00		
TOTAL DE MATERIALES				36,660.00		
CHUTES DE TRANSFERENCIA						
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio por día \$/.	Días Laborados	Parcial \$/.	
Mano de Obra						
PEON MECANICO	hh	2.0000	60.00	8.00	960.00	
CAPATAZ MECANICO	hh	0.1000	120.00	5.00	60.00	
OPERARIO MECANICO	hh	1.0000	90.00	8.00	720.00	
SOLDADOR POSICION 4G	hh	1.0000	110.00	8.00	880.00	
OFICIAL MECANICO	hh	1.0000	60.00	8.00	480.00	
					3,100.00	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.0000	100.00	8.00	800.00	
EQUIPO OXICORTE Y SOLDEO	hm	1.0000	30.00	8.00	240.00	
SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD EN OBRA	hm	2.0000	30.00	8.00	480.00	
CONSUMIBLES	hm	3.0000	15.00	8.00	360.00	
					1,880.00	
TOTAL CHUTES DE TRANSFERENCIA					4,980.00	

Fuente: Elaboración propia.



Cuadro 4. Análisis de costos de fabricación, acabado superficial y pintura, resumen de costos de fabricación

<b>ACABADO SUPERFICIAL Y PINTURA</b>						
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio por día S/.	Días Laborados	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ MECANICO	hh	0.3000	120.00	7.00	252.00	
OPERARIO MECANICO	hh	1.0000	90.00	7.00	630.00	
OFICIAL MECANICO	hh	2.0000	60.00	7.00	840.00	
					<b>1,722.00</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.0000	100.00	7.00	700.00	
COMPRESORA DE AIRE	hm	2.0000	200.00	7.00	2,800.00	
MONTACARGA DE 2 TON	hm	1.0000	50.00	7.00	350.00	
CAMARA DE GRANALLADO	hm	1.0000	50.00	7.00	350.00	
					<b>4,200.00</b>	
<b>TOTAL ACABADO SUPERFICIAL</b>					<b>5,922.00</b>	
<b>RESUMEN DE COSTOS DE FABRICACIÓN</b>						
Descripción Recurso						Parcial S/.
MATERIALES PARA FABRICACION						36,660.00
CHUTE DE TRANSFERENCIA						4,980.00
DUCTOS DE DESPOLVORIZACION						6,360.00
FAJA TRANSPORTADORA						10,550.00
ACABADO SUPERFICIAL - PINTURA						5,922.00
<b>TOTAL</b>					<b>64,472.00</b>	
<b>GASTO GENERAL</b>					<b>12,894.40</b>	
<b>TOTAL GENERAL</b>					<b>77,366.40</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de costos del montaje se considera los siguientes divisiones: Trabajos previos al montaje, chutes de transferencia, ductos de despolvorización, faja transportadora y puesta en marcha y resanes (touch-up).

Cuadro 5. Análisis de costos de montaje, trabajos previos al montaje y chutes de transferencia

ANÁLISIS DE COSTOS DE MONTAJE						
TRABAJOS PREVIOS AL MONTAJE - ACONDICIONAMIENTO DE ÁREA						
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio por día \$/.	Días Laborados	Parcial \$/.	
Mano de Obra						
PEON MECANICO	hh	3.0000	60.00	4.00	720.00	
CAPATAZ MECANICO	hh	0.1000	120.00	1.00	12.00	
OPERARIO MECANICO	hh	1.0000	90.00	4.00	360.00	
SOLDADOR POSICION 4G	hh	1.0000	110.00	2.00	220.00	
OFICIAL MECANICO	hh	2.0000	60.00	4.00	480.00	
					1,792.00	
Materiales						
CONSUMIBLES, (ELECTRODOS, DISCOS, HOJAS DE SIERRA)	%mo	1.0000	70.00	4.00	280.00	
					280.00	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.0000	10.00	4.00	40.00	
CAMION GRUA (BRAZO ARTICULADO) 6 TON	hm	1.0000	144.00	2.00	288.00	
EQUIPO OXICORTE Y SOLDEO	hm	1.0000	30.00	3.00	90.00	
SOLDADORA ELECTRICA TRIF. ALT/CONT 350 A	hm	2.0000	30.00	3.00	180.00	
ESMERIL DE 2600 W 7-9"	hm	3.0000	15.00	4.00	180.00	
CAMION PLATAFORMA 20 TON	hm	1.0000	120.00	1.00	120.00	
EQUIPO DE MANIOBRA, SOGAS, TECLE, CABALLETE, ETC	he	1.0000	24.00	4.00	96.00	
					994.00	
TOTAL - TRABAJOS PREVIOS					2,072.00	
CHUTES DE TRANSFERENCIA						
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio por día \$/.	Días Laborados	Parcial \$/.	
Mano de Obra						
PEON MECANICO	hh	2.0000	60.00	15.00	1,800.00	
CAPATAZ MECANICO	hh	0.1000	120.00	5.00	60.00	
OPERARIO MECANICO	hh	2.0000	90.00	15.00	2,700.00	
SOLDADOR POSICION 4G	hh	1.0000	110.00	15.00	1,650.00	
OFICIAL MECANICO	hh	1.0000	60.00	15.00	900.00	
					7,110.00	
Materiales						
CONSUMIBLES, (ELECTRODOS, DISCOS, HOJAS DE SIERRA)	%mo	1.0000	70.00	10.00	700.00	
					700.00	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	hm	1.0000	10.00	15.00	150.00	
CAMION GRUA (BRAZO ARTICULADO) 6 TON	hm	1.0000	144.00	5.00	720.00	
EQUIPO OXICORTE Y SOLDEO	hm	1.0000	30.00	15.00	450.00	
SOLDADORA ELECTRICA TRIF. ALT/CONT 350 A	hm	2.0000	30.00	15.00	900.00	
ESMERIL DE 2600 W 7-9"	hm	3.0000	15.00	15.00	675.00	
CAMION PLATAFORMA 20 TON	hm	1.0000	120.00	3.00	360.00	
EQUIPO DE MANIOBRA, SOGAS, TECLE, CABALLETE, ETC	he	1.0000	24.00	15.00	360.00	
					3,615.00	
TOTAL - CHUTE DE TRANSFERENCIA					11,425.00	

Fuente: Elaboración propia.



Cuadro 7. Análisis de costos de la implementación del sistema de derivación, resumen de costos de fabricación y montaje

ANÁLISIS DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE DERIVACIÓN			
<b>RESUMEN DE COSTOS DE FABRICACIÓN</b>			
Descripción Recurso			Parcial \$/.
MATERIALES PARA FABRICACION			36,660.00
CHUTE DE TRANSFERENCIA			4,980.00
DUCTOS DE DESPOLVORIZACION			6,360.00
FAJA TRANSPORTADORA			10,550.00
ACABADO SUPERFICIAL - PINTURA			5,922.00
		TOTAL	64,472.00
		GASTO GENERAL	12,894.40
		TOTAL GENERAL -FABRICACIONES	77,366.40
<b>RESUMEN DE COSTOS DE MONTAJE</b>			
Descripción Recurso			Parcial \$/.
TRABAJOS PREVIOS AL MONTAJE - ACONDICIONAMIENTO DE AREA			2,072.00
CHUTE DE TRANSFERENCIA			11,425.00
DUCTOS DE DESPOLVORIZACION			15,635.00
FAJA TRANSPORTADORA			29,682.00
PUESTA EN MARCHA Y RESANE			2,475.00
		TOTAL	61,289.00
		GASTO GENERAL	12,257.80
		TOTAL GENERAL - MONTAJE	73,546.80
<b>TOTAL DE GASTOS DE IMPLEMENTACIÓN</b>			
		TOTAL GENERAL -FABRICACIONES	77,366.40
		TOTAL GENERAL - MONTAJE	73,546.80
		<b>TOTAL GENERAL - IMPLEMENTACION</b>	<b>150,913.20</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

PRIMERA: El diseño propuesto cumple con las características propias del sistema existente, de tal manera que se pudo instalar sin alterar la línea de producción.

SEGUNDA: En base a la implementación realizada, se optimizó la línea de transporte de material granulado de 2 pulgadas; evitando su paso por los molinos secundarios.

TERCERA: Los cálculos realizados para la elaboración del diseño y el análisis de fatiga nos permiten saber los esfuerzos máximos a los que debe evitar llegar durante los ciclos de trabajo.

CUARTA: En relación a los trabajos de fabricación y montaje del sistema compuesto, se debe contar con la distribución del personal y un plan de puntos de inspección para la verificación de los procesos.

QUINTA: Al analizar los distintos sistemas de transporte, extracción de polvos y canalización del material, el sistema de derivación compuesto muestra eficiencia en el proceso y mitigación de contaminantes al ambiente.

## **Recomendaciones**

PRIMERA: Para la implementación del nuevo sistema compuesto, se debe considerar un plan de mantenimiento, en relación a las horas de trabajo, ciclos y desgaste de equipos.

SEGUNDA: El desgaste por rozamiento y por impacto, se deben considerar como factores determinantes en el sistema, por estar expuestos a agentes altamente abrasivos.

TERCERA: Para la verificación de la integridad de la estructura, llámese: poleas, ejes, banda, soportes, acoples, se puede recurrir a ensayos no destructivos, aplicando una medida predictiva sobre el sistema.

CUARTA: Todos los materiales usados para la elaboración del sistema de derivación, se deben registrar a fin de poder realizar una trazabilidad de los elementos si llegasen a mostrar algún defecto.

QUINTA: La generación de polvo de sílice es nociva para la salud (DS – 024), si bien se logra mitigar las emisiones con ductos, existe material particulado que todavía se mantiene suspendido en el ambiente, se debe tener el cuidado correspondiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Introducción a la ciencia de los materiales para ingeniero. 6ta edición by Shackerlford, James F. – Prentice Hall – 2005.
- Mecánica de Fluidos, sexta edición Mc-Graw – Hill / Interamericana de España. 2008.
- Timoshenko S., Strength of Materials, 3rd ed., Krieger Publishing Company, 1976.
- Manual CEMA, fajas transportadoras para materiales a granel, normas ANSI #350.
- Guía de colectores de polvo para la solución de problemas – Ge-Energy Imagination at work. 2003.
- Handbook for dust Control in Minig. – IC 9465 – Information Circular 2003.
- FOUNDATIONS, Martin Engineering, 2009 Manual para Ingenieros Mecanicos – Bandas Transportadoras.
- Continental Aktiengesellschaft, Hanover, Germany, 2da Edition 1990.
- Mecánica de Materiales, Gere – Goodno, Septima Edición – año 2009.
- Diseño de Elementos de Maquinas, Robert L. Mott P. E., University of Dayton, segunda edición – año 1992.

## Matriz de Consistencia

Título: “Diseño de un sistema de derivación compuesto en la optimización del transporte de puzolana en la empresa YURA S.A. distrito – YURA, AREQUIPA 2016”.

Cuadro 8. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><b>General:</b> ¿De qué manera se puede evitar el tránsito de los materiales por los molinos secundarios Krupp y O&amp;K, y de eso modo pasar directamente hacia el área de concentrado para la producción de Clinker?</p> <p><b>Específicos:</b> - ¿El sistema considerado para la función Bypass, conformado por una banda transportadora, tolvas de descarga y ductos de despolvorización es el más adecuado? - ¿Existe información precedente respecto a diseño de tolvas de descarga y ductos de despolvorización?</p>	<p><b>General:</b> Diseñar e implementar el sistema de derivación (bypass), que comunique directamente la línea de descarga de del almacén n°1 y la línea que descarga hacia el área de concentrado para la producción de Clinker.</p> <p><b>Específicos:</b> Demostrar el sistema bypass más adecuado para ser implementado en este en esta derivación. Estudiar los diferentes tipos de sistemas de derivación que se pueden encontrar en el mercado y selección de alternativas.</p>	<p>En la empresa YURA S.A. el diseño e implementación de un sistema de derivación que comunique ambas líneas de descarga del almacén n°1 y concentrado para la obtención de Clinker, optimizaría la línea de producción evitando que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&amp;K.</p>	<p><b>-Variable Independiente</b> Diseño e implementación de un sistema de derivación</p> <p><b>Variable dependiente</b> Evitar que el material transite por los molinos secundarios Krupp y O&amp;K.</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b> El tipo de investigación según Fernández Sampieri es descriptiva.</p> <p><b>Nivel de Investigación</b> El nivel de investigación es de tipo Descriptiva</p> <p><b>Método de Investigación</b> El método de investigación aplicado es tipo Cualitativa</p> <p><b>Orientación de la Investigación</b> La investigación está orientada a decisiones.</p> <p><b>Tiempo de Ejecución</b> Según el tiempo de ejecución es de tipo síncrona.</p> <p><b>Grado de abstracción</b> Según el grado de abstracción es aplicada.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## Plan de Manejo Ambiental

La finalidad de implementar un plan de manejo ambiental durante la ejecución del proyecto es conocer, controlar y mitigar el impacto que se podría originar por el uso de los distintos tipos de productos químicos, utilizados durante el proceso de fabricación, montaje y puesta en marcha del Sistema de derivación Bypass, para el transporte de material granulado de 2 pulgadas.

### A. Mapeo de Procesos

En el siguiente cuadro se puede observar el mapeo de proceso del Sistema de Derivación para el transporte de puzolana granulada de 2", el cual se fundamenta en las actividades del proyecto.

Cuadro 9. Obras preliminares: zona de fabricación

N°	Obra	Actividad	Descripción
1	Obras Preliminares Fabricación	Facilidades y Movilización para el área de fabricación	Para este trabajo se contará con la ayuda de un camión grúa de 8 ton, material para la instalación de facilidades.
		Instalación de Conexiones Eléctricas	Se realizará también la distribución de las áreas, como almacenes, fabricación, Pintado, pre-montaje, zona de productos terminados.
		Habilitado de zonas para el almacenamiento de materiales y zona de fabricación	La zonas destinadas para almacenamiento de materiales y fabricación, contarán con la delimitación de área correspondiente y de un instructivo de contingencia en caso de ocurrencia de derrames y hoja de datos técnicos de todos los productos Químicos almacenados en el lugar.
		Habilitado de zona de pintado de estructura y zona de pre-montaje	En la zona de pintado se dispondrá de bandejas para la ubicación de los productos a utilizar, como diluyentes, solventes, bases, etc. Y sus hojas de datos técnicos correspondientes.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10. Obras de montaje y puesta en marcha

N°	Obra	Actividad	Descripción
2	Obras Montaje y Puesta en Marcha	Facilidades y Movilización para el área Montaje.	Para este trabajo se contara con la ayuda de un camión grúa de 8 ton, material para la instalación de facilidades.
		Instalación de Conexiones Eléctricas para montaje.	Se habilitarán tableros con las tomas correspondientes para 220v y 440v, según sea el caso, además de las extensiones correspondientes.
		Habilitado de zonas para la descarga de las estructuras y el área de montaje.	Para este trabajo se utilizar una grúa de 8 toneladas. La zona de descarga de materiales y de montaje debe estar delimitada, además de contar con los permisos correspondientes para modificaciones y montajes de nuevas estructuras en el área.
		Puesta en Marcha de la estructura del sistema de derivación.	Para este trabajo se contara con la ayuda del personal calificado para el alineamiento y uniones mecánicas faltantes, además de realizar la prueba de equipos en vacío antes del sistema en conjunto.

Fuente: Elaboración propia.

### B. Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales

Se plantea como un instrumento de gestión ambiental conteniendo las medidas de carácter económico y social de control ambiental, que eviten o minimicen los efectos sobre el medio ambiente, en todas las estructuras del proyecto. Para lo cual se elabora la siguiente matriz de identificación y evaluación de aspectos ambientales, el cual involucra todas las actividades del proceso de fabricación e instalación del sistema de derivación bypass para el transporte de material granulado de dos pulgadas.

Matriz de identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales																																																																															
Versión: 1 Actualización																																																																															
Identificación de Actividades o Subprocesos Principales			Identificación de Estradas y Salidas				Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales				Evaluación de Significancia de Aspectos Ambientales		Identificación y Evaluación de los Controles Operacionales																																																																		
Escala	Actividad	Tarea	Entradas: Materia Prima e Insumos	Salidas: Residuo sólido, Líquido, Emisiones, Productos y Otros	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Frecuencia / Consecuencia	Riesgo Puro	Categoría de la Consecuencia	¿Significativo?	Controles implementados	Frecuencia / Probabilidad	Concepto Ambiental	Riesgo Residual																																																																	
														Valor	Calificación	Valor	Calificación																																																														
1	Obras Primarias Fabricación	Explotación y mantenimiento de la línea de fabricación	Materiales: Madera, metales, productos químicos, etc.	Residuos metálicos, plásticos, maderas	Estradas de metales no depositables al ambiente.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	2	2	Ambiental	No	Barridos artesanales, capacitación al personal sobre loges de datos de seguridad de materiales (MSDS)	2	1	2	Bajo																																																																
																Energía Eléctrica	Consumo de energía eléctrica	Estradas de metales no depositables al ambiente.	Efecto negativo sobre la calidad de aire y distribución de recursos.	3	1	3	Bajo																																																								
																								Cables para conexiones	Sustratos de cables, material cable	Estradas de metales no depositables al ambiente.	Atención del paisaje, afectación a la estructura del suelo.	3	1	3	Bajo																																																
																																Materiales para demarcar áreas	Materiales plásticos, resinas epoxídicas	Materiales usados no reciclados en sus conexiones, obstrucción al paso.	Atención del paisaje, aporte de metales olores y/o afectación a la estructura del suelo.	3	1	3	Bajo																																								
																																								Estructuras de metal, conductos químicos y orgánicos	Resaca de estructura de metal y sustr.	Materiales no reciclados al paso y/o afectación a la estructura del suelo.	Atención del paisaje, aporte de metales olores y/o afectación a la estructura del suelo.	3	1	3	Bajo																																
																																																Productos químicos, diluyentes, solventes, bases	Tarea que genera residuos químicos	Materiales no reciclados al paso y/o afectación a la estructura del suelo.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	3	1	3	Bajo																								
																																																								Productos químicos, grases, aceites	Materiales no reciclados al paso y/o afectación a la estructura del suelo.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	3	1	3	Bajo																
																																																																Energía Eléctrica, cables para conexiones eléctricas	Residuos de cables, terminales y material de cable	Materiales no reciclados al paso y/o afectación a la estructura del suelo.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	3	1	3	Bajo								
																																																																								Materiales necesarios para la demarcación de áreas, estructuras y líneas de montaje	Residuos de metales y plásticos, etc.	Materiales no reciclados al paso y/o afectación a la estructura del suelo.	Efecto negativo sobre la calidad de suelo, aire y agua.	3	1	3	Bajo

Cuadro 11, Matriz de identificación y evaluación de aspectos ambientales / Fuente: Elaboración propia.

### **C. Implementación de Controles Ambientales**

El propósito de la implementación de Controles Operacionales es establecer las medidas de mitigación, prevención y corrección destinadas a minimizar y/o eliminar los impactos ambientales.

#### **Condiciones del Aire**

Se consideran las siguientes medidas para evitar impactos en la calidad del en el aire:

- Se respeta los límites de seguridad para disminuir la generación de polvo en las rutas de acceso al taller.
- Se prohíbe quemar cualquier tipo de material o residuo dentro o fuera de las instalaciones.
- En la generación de partículas (polvo) en la actividad de descarga de material se procederá a colocar un toldo que minimice el impacto ambiental, no se aplicarán medidas de humectación de material y área de tránsito (vehicular y/o peatonal).
- En la generación de humos metálicos y gases, se procederá a verificar que se realice alejado de materiales inflamables para prevenir amagos de incendio.
- El mantenimiento de los equipos permitirá reducir los niveles de Generación de ruido así como consumir adecuadamente la energía eléctrica.
- Se programa y realiza el mantenimiento de vehículos para evitar la emisión de gases de combustión por encima de los límites permisibles que serán registrados en el formato de registro de consumo de combustibles.

## **Condición de los Suelos**

Para la conservación de los suelos se plantea la utilización de las bandejas para el almacenamiento de productos químicos, los cuales pudiesen derramarse por cualquier inconveniente.

En caso de emergencias con materiales peligrosos se procederá según el instructivo de derrames proporcionado por el DS – 055, el cual establece las medidas a tomar además de que el supervisor debe reportar los incidentes ambientales.

El cambio de lubricante en los equipos no serán realizados en las áreas de trabajo si no en las dispuestas para este fin, las cuales contarán con sistema de contención de derrames (Bandejas).

Otros controles:

- Llenado hasta el nivel de la tolva y limpieza externa
- Control de dispersión de polvo usando toldos o casetas cuando lo amerite
- Cubiertas de talleres tipo toldo
- Riego de vías de acceso vehicular, verificando que no interfiera con actividades establecidas.

## **Manejo de Productos Químicos (Normas OHSAS 18001)**

“Estándar para el Manejo de Productos Químicos” a fin de evitar derrames o impactos en la calidad del suelo.

El personal que utiliza materiales y químicos peligrosos, debe utilizar el Equipo de Protección Personal (EPP) de acuerdo a las recomendaciones entregadas por el fabricante en la MSDS u Hoja de Seguridad del Producto.

El personal que trabaje con materiales y químicos peligrosos, debe tener en todo momento acceso a las hojas de seguridad (MSDS), y debe revisar las MSDS antes de manipular cualquier producto químico.

Se difundirá mediante charlas de inicio de turno el uso correcto de los productos químicos, así como el contenido de las hojas de datos de seguridad MSDS. Todos los residuos deberán ser almacenados en áreas separadas de contención de materiales no usados.

Las áreas de almacenamiento de productos químicos deberán ser inspeccionadas continuamente.

### **Manejo de Residuos Sólidos**

El manejo de residuos durante la ejecución del servicio se realiza cumpliendo el código de colores establecido por DS – 055, para la segregación de residuos. Se hace uso de los contenedores correspondientes facilitados. El responsable de verificar la correcta disposición es el Supervisor de turno.

Se debe difundir y aplicar el Estándar de Seguridad para Orden y Limpieza

Cuadro 12. Manejo de residuos sólidos

<b>Residuos Generados</b>	<b>Clasificación de Residuo</b>	<b>Color de Cilindro / Contenedor</b>
RESIDUOS ORGANICOS	No peligroso	Marrón
RESIDUOS COMUNES Envolturas de repuestos, etc. Stickers y cintas adhesivas.	No Peligroso	Negro
PLÁSTICOS Botellas de gaseosa, refresco.	No peligroso	Blanco
PAPEL Hojas de A4	No peligroso	Caja Blanca (Re uso)
CARTÓN	No Peligroso	Azul
RESIDUOS METÁLICOS Repuestos no contaminados	No peligroso	Amarillo
TRAPOS IMPREGNADOS CON GRASA/ HIDROCARBUROS.	Peligroso	Rojo
ACEITE RESIDUAL	Peligroso	Contenedor amarillo con franja roja
FILTROS DE ACEITE	Peligroso	Rojo
AEROSOLES	Peligroso	Contenedor anaranjado con franja roja

Fuente: Elaboración propia.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Tiza:** También conocida como yeso y gis (México), se usa para escribir en las pizarras y, pulverizada, para limpiar metales y para hacer pinturas de fácil lavado.

**Pizarra:** Es una roca metamórfica homogénea formada por la compactación de arcillas. Se presenta generalmente en un color opaco azulado oscuro y dividida en lajas u hojas planas siendo, por esta característica, utilizada en cubiertas y como antiguo elemento de escritura.

**Yeso:** El yeso, piedra de yeso, yeso crudo, yeso natural o aljez, es un mineral compuesto de sulfato de calcio hidratado; también, una roca sedimentaria de origen químico. Son minerales muy comunes y pueden formar rocas sedimentarias mono-minerales.

**Puzolana:** Son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento

**Clinker:** Caliza cocida. Esa es la definición más exacta de lo que se conoce como clinker, la principal materia prima de la que se obtiene el cemento. Previamente, el clinker es sometido a un proceso de cocción, a partir del cual puede ser utilizado por las industrias que lo someterán a una trituración laboriosa de la que se obtiene el cemento.

**Despolvorización:** Acción de quitar o sustraer polvo mediante un proceso de extracción.

**Cangilones:** Un cangilón o canjilón es un recipiente usado para el transporte de agua como complemento de un ingenio motriz. Originalmente fabricados en arcilla, madera o metales, los más recientes son de plástico.

**Vehículo Tampers:** Es una unidad de transporte de material, modificado para el traslado de materia prima, como puzolana y otros elementos.

**Pulverizado:** Reducir partículas sólidas a condiciones muy pequeñas, destruir algo.

**Homogenizar:** La homogeneización es un término que connota un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia

**Fiabilidad:** Es la probabilidad del buen funcionamiento del algo.

**Bombeamiento:** Condición presentada en un elemento, en el cual se observa una convexidad en la superficie.

**Campana de captación:** Es un elemento mecánico cuya función es captar los materiales pulverizados (polvo) y direccionarlos hacia un lugar específico.

**Chute:** Es un conducto acondicionado para el transporte de materiales específicos.

**Canaleta:** Es un conducto acondicionado para el transporte de materiales.

**Deflectores:** Aparato utilizado para cambiar de dirección un flujo o corriente en un sistema.

## ANEXOS

### Anexos 1. Tablas

Tabla A. Característica del material y peso por pie cúbico

Material	Peso Promedio (lb por pie <sup>3</sup> )	Angulo de Reposos (grados)	Inclinación máxima recomendada	Código
Tabaco, deshechos de	15-25	45		D45Y
Tabaco, hojas de, secas	12-14	45		E45QV
Tabaco, tallos	15	45		E45Y
Taconita, granulado	116-130	30-44	13-15	D37Q
Talco, cernido hasta 1/2 pulgada	80-90	20-29		C25
Talco, en trozos de 1 1/2 a 3 pulgada	85-95	20-29		D25
Tierra de excavación seca	70-80	35	20	B36
Tierra húmeda, conteniendo arcilla	100-110	45	23	B46
Timothy, semilla de	36	20-29		B25NY
Titanio esponja	60-70	45		E47
Titanio, dióxido	140	30-44		B36
Trébol, semilla de	48	28	15	B25N
Tricálcico, fosfato	21-50	45 +		A45
Trigo	45-48	28	12	C25N
Trigo negro	37-42	25	11-13	B25N
Trigo, molido	35-45	30-44		B35N
Trisódico, fosfato	60			D36
Trisódico, fosfato, en granos	60	30-44	11	B35
Trisódico, fosfato, pulverizado	50	40	25	B35
* Urea en habas, seca	43-46	25		B25
Vermiculita, esparcido	16	45		C45Y
Vermiculita, mineral de	70-80		20	D36Y
Vidrio deshecho	80-120	30-44	20	D37Z
Vidrio, fibra de (fibra de vidrio textil)	45-55	0-10		A16LM
Vidrio, fibra de (lana y contenedor)	80-100	30-44	20-22	D38Z
Yeso en trozos	75-85	45		D46
Yeso, cernido hasta 1/2-pulgada	70-80	40	21	C36
Yeso, trozos de 1 1/2- to 3-pulgada	70-80	30	15	D36
Zinc concentrado	75-80			B26
Zinc, mineral de, calcinado	110	38		C36
Zinc, mineral de, chancado	160	38	22	*
Zinc, óxido de, pesado	30-35	45-55		A45X
Zinc, óxido, ligero	10-15	45		A45XY

Fuente: Manual CEMA. Las características de la transportabilidad de los materiales a granel.

Tabla B. Peso de polea soldada de tambor de acero

Polea		Ancho de la faja (pulgadas)																					
Diámetro (pulgadas)	Agujero máximo (pulgadas)	18		24		30		36		42		48		54		60		72		84		96	
		Ancho de la superficie de la polea (pulgadas)																					
		20	22	24	26	30	32	36	38	44	46	51	54	57	60	63	66	78	90	102			
30	3	315	330	350	380	400	430	450	485	525	550	670	700	750	800	850	900						
	3 ½	325	340	360	390	410	440	475	500	550	600	660	700	750	800	850	900	925	1000	1100	1200	1300	
	4	350	375	400	425	450	475	500	525	575	635	700	750	800	825	860	900	1100	1200	1300	1400		
	4 ½	370	385	400	435	460	490	520	550	600	650	700	780	815	860	900	950	1100	1200	1300	1400		
	5	400	420	440	470	500	525	550	580	630	690	750	840	870	900	950	1000	1200	1300	1400			
	6	525	550	575	600	625	650	680	740	775	825	875	900	925	950	1000	1050	1500	1600	1700	1800		
	7	550	560	575	600	650	675	725	750	800	850	900	950	975	1000	1050	1100	1500	1700	1800	1900		
	8																		1600	1800	1900		
10																		2200	2300	2500			
36	3 ½	450	475	500	550	590	625	650	675	800	840	880	925	950	1000	1075	1150	1400	1500	1700			
	4	475	500	540	575	600	650	675	700	800	850	900	950	975	1000	1100	1200	1400	1500	1700			
	4 ½	490	500	550	600	625	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1200	1500	1600	1800			
	5	530	550	575	630	675	700	735	775	850	925	960	1000	1050	1100	1200	1300	1700	1900	2100			
	6	635	660	690	735	765	800	835	875	1000	1030	1100	1200	1250	1275	1300	1400	1900	2000	2200			
	7	725	750	800	850	900	950	1000	1050	1150	1175	1250	1350	1375	1400	1475	1550	2000	2100	2300			
	8	-	-	850	900	950	1000	1050	1100	1200	1250	1300	1400	1450	1500	1550	1600	2100	2300	2500			
	10																	2700	2900	3200			
42	4	625	650	700	750	800	850	900	950	1000	1075	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1900	2100	2300			
	4 ½	640	675	700	775	850	875	900	950	1050	1100	1175	1225	1275	1300	1350	1500	2000	2200	2400			
	5	675	700	740	800	850	900	950	1000	1075	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1500	2100	2200	2400			
	6	800	825	875	925	960	1000	1050	1125	1200	1250	1325	1400	1475	1525	1600	1700	2200	2400	2600			
	7	975	1000	1050	1100	1150	1200	1260	1325	1425	1500	1550	1600	1700	1750	1800	1900	2800	3100	3400			
	8	1025	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1375	1450	1525	1600	1650	1700	1750	1825	1900	3000	3300	3600			
	10																	3500	3700	4000			
	48	4	775	800	825	950	1000	1050	1075	1125	1200	1300	1500	1575	1650	1700	1750	1800	2500	2700	2900		
4 ½		800	825	875	950	1050	1100	1150	1200	1300	1450	1600	1650	1700	1750	1850	2000	2500	2700	2900			
5		825	850	875	1000	1050	1100	1175	1225	1300	1450	1600	1700	1750	1800	1900	2000	2500	2700	3000			
6		900	950	1000	1100	1175	1225	1275	1350	1450	1600	1750	1825	1900	1950	2000	2100	2700	2900	3200			
7		-	1025	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2075	2150	2225	2300	3500	3700	4100			
8		-	1150	1225	1300	1400	1450	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	3700	4000	4300			
10																		4200	4400	4800			
54		4 ½	1050	1100	1200	1300	1375	1450	1525	1600	1700	1800	1925	2000	2100	2200	2300	2400	3000	3200	3500		
	5	1100	1150	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2150	2200	2300	2400	3100	3300	3700			
	6	1225	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2250	2325	2400	2500	2600	3800	4100	4500			
	7	1350	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	4000	4300	4700			
	8	1500	1500	1550	1650	1750	1825	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	4400	4700	5100			
	10	-	2000	2050	2130	2230	2330	2400	2500	2625	2750	2850	2950	3025	3100	3200	3300	5000	5300	5700			
	60	4 ½	1300	1350	1450	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2450	2525	2600	2700	4100	4600	5100		
		5	1325	1400	1500	1625	1750	1850	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	4300	4600	5100		
6		1450	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2250	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	4600	4900	5400			
7		1600	1650	1750	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2750	2850	2975	3000	3200	4600	4900	5400			
8		1700	1750	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	5200	5500	6000			
10		-	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2850	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3800	5800	6100	6600			

Fuente: Manual CEMA. Poleas y ejes.

Tabla C. Velocidades recomendadas para diseños de ductos

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

Fuente: Diseño de ductos. Esquema de Funcionamiento.

Tabla D. Selección de motores: marca SIEMENS

	Synchronous Speed, RPM						
	3600	1800	1200	900	720	600	514
	Load Wk <sup>2</sup> (Exclusive of Motor Wk <sup>2</sup> ), lb-ft <sup>2</sup>						
<b>HP</b>							
<b>1</b>	...	5.8	15	31	53	82	118
<b>1.5</b>	1.8	8.6	23	45	77	120	174
<b>2</b>	2.4	11	30	60	102	158	228
<b>3</b>	3.5	17	44	87	149	231	335
<b>5</b>	5.7	27	71	142	242	375	544
<b>7.5</b>	8.3	39	104	208	355	551	799
<b>10</b>	11	51	137	273	467	723	1050
<b>15</b>	16	75	200	400	684	1060	1540
<b>20</b>	21	99	262	525	898	1390	2020
<b>25</b>	26	122	324	647	1110	1720	2490
<b>30</b>	30	144	384	769	1320	2040	2960
<b>40</b>	40	189	503	1010	1720	2680	3890
<b>50</b>	49	232	620	1240	2130	3300	4790
<b>60</b>	58	275	735	1470	2520	3920	5690
<b>75</b>	71	338	904	1810	3110	4830	7020
<b>100</b>	92	441	1180	2370	4070	6320	9190
<b>125</b>	113	542	1450	2920	5010	7790	11300
<b>150</b>	133	640	1720	3460	5940	9230	...
<b>200</b>	172	831	2240	4510	7750	...	...
<b>250</b>	210	1020	2740	5540	...	...	...
<b>300</b>	246	1200	3240	...	...	...	...
<b>350</b>	281	1370	3720	...	...	...	...
<b>400</b>	315	1550	...	...	...	...	...
<b>450</b>	349	1710	...	...	...	...	...
<b>500</b>	381	1880	...	...	...	...	...

Fuente: Manual de para la Selección de Motores - SIEMENS

Tabla E. Factor de arrollamiento, Cw

Tipo de Polea Motriz	Arrollamiento $\theta$	Tensor automático		Tensor manual	
		Polea desnuda	Polea recubierta	Polea desnuda	Polea recubierta
Simple sin polea de reenvío	180°	0.84	0.50	1.2	0.8
Simple con polea de reenvío	200°	0.72	0.42	1.0	0.7
	210°	0.66	0.38	1.0	0.7
	220°	0.62	0.35	0.9	0.6
	240°	0.54	0.30	0.8	0.6
Dual	380°	0.23	0.11	0.5	0.3
	420°	0.18	0.08	-	-

Fuente: Manual CEMA. Criterios para el diseño de bandas transportadoras.

Tabla F. Peso de faja estimado promedio con pliegues múltiples y reducidos, lb/pie

Ancho de la faja en pulgs. (b)	Material transportado, lbs/ft <sup>3</sup>		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4	4.5
24	4.5	5.5	6
30	6	7	8
36	9	10	12
42	11	12	14
48	14	15	17
54	16	17	19
60	18	20	22
72	21	24	26
84	25	30	33
96	30	35	38

1. Fajas con alma de acero, incrementar el valor en 50%  
 2. Los pesos reales de la faja varían con las diferentes construcciones, fabricaciones, calibres de cubierta, etc. Use estos valores para una estimación. Obtenga los valores reales de los fabricantes de faja, en lo posible.

Fuente: Manual CEMA. Tensión de faja, potencia y sistema de transmisión.

Tabla G. Peso promedio (lbs) de las partes rotatorias de rodillos abarquillados – rodillos de acero

Ancho de la faja (pulgadas)	Clasificación de rodillos CEMA										
	A4	A5	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7
18	12.7	16.2	15.0	19.2	14.5	19.1	26.7				
24	15.8	21.2	18.3	24.2	17.5	23.2	32.6	23.2	32.6		
30	18.9	25.0	21.8	28.3	20.5	26.8	38.0	26.8	38.0		
36	22.0	28.6	25.3	33.0	23.5	31.3	43.6	31.3	43.6	64.8	81.8
42			30.8	38.1	26.5	35.2	49.2	35.2	49.2	73.3	91.7
48			32.9	41.6	29.5	39.3	54.8	39.3	54.8	81.9	101.3
54						45.9	62.3	45.9	62.3	93.6	121.8
60						50.1	68.3	50.1	68.3	102.2	132.7
72								57.9	77.8	119.4	154.5
84										132.0	164.0
96										145.3	173.0

Fuente: Manual CEMA. Poleas y ejes.

Tabla H. Diámetros equivalentes para conductos regulares

Lados conducto rectang.	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
100	63	67	72	76	80	84	88	91	94	98	101	104	107	109													
105	64	69	74	78	82	86	90	93	97	100	103	106	109	112	115												
110	65	70	75	80	84	88	92	95	99	102	105	109	112	115	117	120											
115	67	72	77	81	86	90	94	97	101	104	108	111	114	117	120	123	126										
120	68	73	78	83	87	91	95	99	103	107	110	113	117	120	123	126	128	131									
125	69	74	79	84	89	93	97	101	105	109	112	116	119	122	125	128	131	134	137								
130	70	76	81	86	90	95	99	103	107	111	114	118	121	124	128	131	134	137	139	142							
135	71	77	82	87	92	96	101	105	109	113	116	120	123	127	130	133	136	139	142	145	148						
140	72	78	84	89	93	98	102	107	111	115	118	122	125	129	132	135	139	142	145	147	150	153					
145	73	79	85	90	95	100	104	108	112	116	120	124	128	131	134	138	141	144	147	150	153	156	159				
150	75	80	86	91	96	101	106	110	114	118	122	126	130	133	137	140	143	146	150	153	156	158	161	164			
155	76	82	87	93	98	103	107	112	116	120	124	128	132	135	139	142	146	149	152	155	158	161	164	167	169		
160	77	83	88	94	99	104	109	113	118	122	126	130	134	137	141	144	148	151	154	157	161	164	166	169	172	175	
165	78	84	90	95	100	105	110	115	119	124	128	132	136	139	143	147	150	153	157	160	163	166	169	172	175	178	180
170	79	85	91	96	102	107	112	116	121	125	129	134	137	141	145	149	152	156	159	162	165	168	171	174	177	180	183
175	79	86	92	98	103	108	113	118	123	127	131	135	139	143	147	151	154	158	161	164	168	171	174	177	180	183	186
180	80	87	93	99	104	110	115	119	124	129	133	137	141	145	149	153	156	160	163	167	170	173	176	179	182	185	188
185	81	88	94	100	106	111	116	121	126	130	135	139	143	147	151	155	158	162	165	169	172	176	179	182	185	188	191
190	82	89	95	101	107	112	117	122	127	132	136	141	145	149	153	157	160	164	168	171	174	178	181	184	187	190	193
195	83	90	96	102	108	113	119	124	129	133	138	142	146	151	155	158	162	166	170	173	177	180	183	187	190	193	196
200	84	91	97	103	109	115	120	125	130	135	139	144	148	152	156	160	164	168	172	175	179	182	186	189	192	195	198
205	85	92	98	104	110	116	121	127	131	136	141	145	150	154	158	162	166	170	174	177	181	184	188	191	194	198	201
210	86	93	99	106	111	117	123	128	133	138	142	147	151	156	160	164	168	172	176	179	183	186	190	193	197	200	203
215	87	94	100	107	113	118	124	129	134	139	144	149	153	157	162	166	170	174	178	181	185	189	192	196	199	202	205
220	87	95	101	108	114	120	125	130	136	141	145	150	155	159	163	168	172	176	180	183	187	191	194	198	201	204	208
225	88	95	102	109	115	121	126	132	137	142	147	152	156	161	165	169	173	177	181	185	189	193	196	200	203	207	210
230	89	96	103	110	116	122	128	133	138	143	148	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	195	198	202	205	209	212
235	90	97	104	111	117	123	129	134	140	145	150	155	159	164	168	173	177	181	185	189	193	197	200	204	208	211	214
240	91	98	105	112	118	124	130	135	141	146	151	156	161	165	170	174	179	183	187	191	195	199	202	206	210	213	217
245	91	99	106	113	119	125	131	137	142	147	153	158	162	167	172	176	180	185	189	193	197	201	204	208	212	215	219
250	92	100	107	114	120	126	132	138	143	149	154	159	164	169	173	178	182	186	190	195	198	202	206	210	214	217	221
255	93	100	108	115	121	127	133	139	145	150	155	160	165	170	175	179	184	188	192	196	200	204	208	212	216	219	223

Fuente: Diseño de ductos. Esquema de funcionamiento.

Tabla I. Factor corregido Ky

W <sub>b</sub> + W <sub>m</sub> (lbs por pie)	S <sub>v</sub> (ft)	Valores de Referencia de K <sub>v</sub> , para la interpolación									
		0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
<b>Menor de 50</b>	3.0	0.016	0.016	0.016	0.0168	0.0183	0.0197	0.0212	0.0227	0.0242	0.0257
	3.5	0.016	0.0160	0.0169	0.0189	0.0207	0.0224	0.0241	0.0257	0.0274	0.0291
	4.0	0.016	0.0165	0.0182	0.0204	0.0223	0.0241	0.0259	0.0278	0.0297	0.0316
	<b>4.5</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.026</b>	<b>0.028</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>
	5.0	0.0174	0.0195	0.0213	0.0236	0.0254	0.0273	0.0291	0.031	0.0329	0.0348
<b>50 a 99</b>	3.0	0.016	0.0162	0.0173	0.0186	0.0205	0.0221	0.0239	0.026	0.0274	0.029
	3.5	0.016	0.0165	0.0185	0.0205	0.0222	0.024	0.0262	0.0281	0.030	0.0321
	<b>4.0</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.026</b>	<b>0.028</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>
	4.5	0.0175	0.0193	0.0214	0.0235	0.0253	0.0272	0.0297	0.0316	0.0335	0.035
	5.0	0.0184	0.021	0.023	0.0253	0.027	0.029	0.0315	0.0335	0.035	0.035
<b>100 a 149</b>	3.0	0.016	0.0164	0.0186	0.0205	0.0228	0.0246	0.0267	0.0285	0.0307	0.0329
	<b>3.5</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.026</b>	<b>0.028</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>
	4.0	0.0175	0.0197	0.0213	0.0234	0.0253	0.0277	0.0295	0.0312	0.033	0.035
	4.5	0.0188	0.0213	0.0232	0.0253	0.0273	0.0295	0.0314	0.033	0.0346	0.035
	5.0	0.0201	0.0228	0.0250	0.0271	0.0296	0.0316	0.0334	0.035	0.035	0.035
<b>150 a 199</b>	<b>3.0</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.026</b>	<b>0.028</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>
	3.5	0.0172	0.0195	0.0215	0.0235	0.0255	0.0271	0.0289	0.031	0.0333	0.0345
	4.0	0.0187	0.0213	0.0235	0.0252	0.0267	0.0283	0.0303	0.0325	0.0347	0.035
	4.5	0.0209	0.023	0.0253	0.0274	0.0289	0.0305	0.0323	0.0345	0.035	0.035
	5.0	0.0225	0.0248	0.0272	0.0293	0.0311	0.0328	0.0348	0.035	0.035	0.035
<b>200 a 249</b>	<b>3.0</b>	<b>0.016</b>	<b>0.018</b>	<b>0.020</b>	<b>0.022</b>	<b>0.024</b>	<b>0.026</b>	<b>0.028</b>	<b>0.030</b>	<b>0.032</b>	<b>0.034</b>
	3.5	0.0177	0.0199	0.0216	0.0235	0.0256	0.0278	0.0295	0.031	0.0327	0.0349
	4.0	0.0192	0.0216	0.0236	0.0256	0.0274	0.0291	0.0305	0.0322	0.0339	0.035
	4.5	0.021	0.0234	0.0253	0.0276	0.0298	0.0317	0.0331	0.0347	0.035	0.035
	5.0	0.0227	0.0252	0.0274	0.0298	0.0319	0.0338	0.035	0.035	0.035	0.035

Fuente: Manual CEMA. Tensión de faja, potencia y sistema de transmisión.

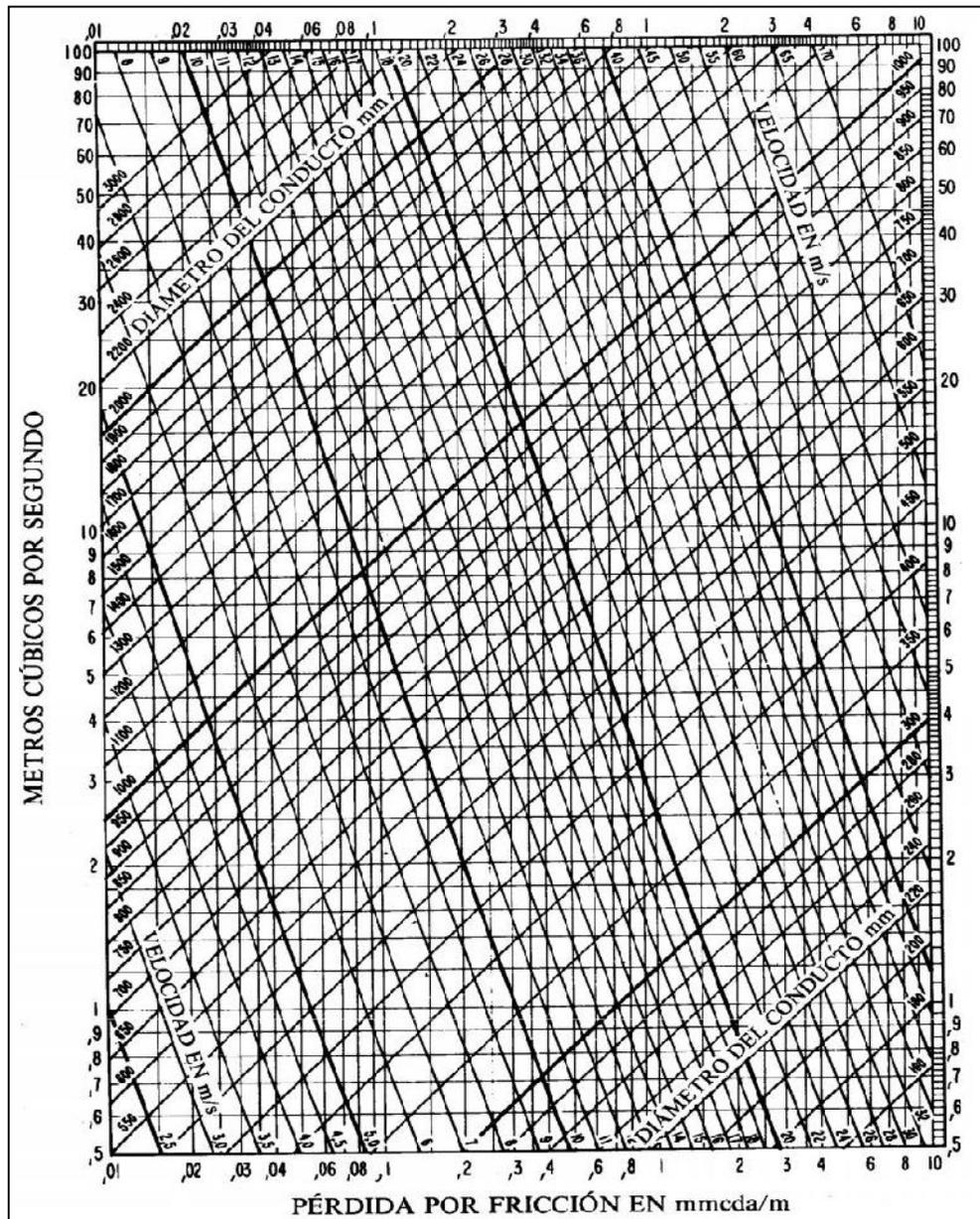
Tabla J. Cálculo de diámetros y pérdidas de carga

1	Tramo			1	2	3
2	Q	Ramal	(m <sup>3</sup> /s)	2-A	1-A	A-B
3		Troncal		-	-	3.2
4	V <sub>d</sub>		(m/s)	20	20	20
5	D		(mm)	319	319	451
6	D <sub>adaptado</sub>		(mm)	320	320	450
7	V <sub>r</sub>		(m/s)	19.89	19.89	20.12
8	L		(m)	11.7	6.53	12.6
9	j		(mmcda/m)	1.38	1.38	0.93
10	f <sub>c</sub>		-	1	1	1
11	Fr		(mmcda/m)	1.38	1.38	0.93
12	h <sub>1</sub>		(mmcda)	16.146	9.01	11.72
13	Σk		-	0.57	0.78	1.31
14	h <sub>d</sub>		(mmcda)	24.19	24.19	24.76
15	h <sub>DR</sub>	Troncal	(mmcda)	-	-	-
16	h <sub>2</sub>		(mmcda)	13.79	18.87	32.43
17	k <sub>entra</sub>		-	-	-	-
18	h <sub>entra</sub>		(mmcda)	24.19	24.19	-
19	k <sub>ran</sub>		-	1.78	1.78	-
20	v <sub>ran</sub>		(m/s)	10	10	-
21	h <sub>D ran</sub>		(mmcda)	6.1	6.1	-
22	h <sub>ran</sub>		(mmcda)	17	17	-
23	h <sub>DD</sub>	Troncal	(mmcda)		-	24.19
24	h <sub>3</sub>		(mmcda)	65.38	65.38	-
25	Δh <sub>D</sub>	Troncal	(mmcda)	-	-	0
26	Σh	Troncal	(mmcda)	95.136	93.26	-
27	Σh <sub>acumulada</sub>		(mmcda)	-	-	11.72
28	h <sub>adoptada</sub>		(mmcda)	-	-	104.95
29	Q <sub>corregido</sub>		(m <sup>3</sup> /s)	-	-	-
30	V <sub>r</sub> <sub>corregida</sub>		(m/s)	-	-	-
31	h <sub>D</sub> <sub>corregida</sub>		(mmcda)	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

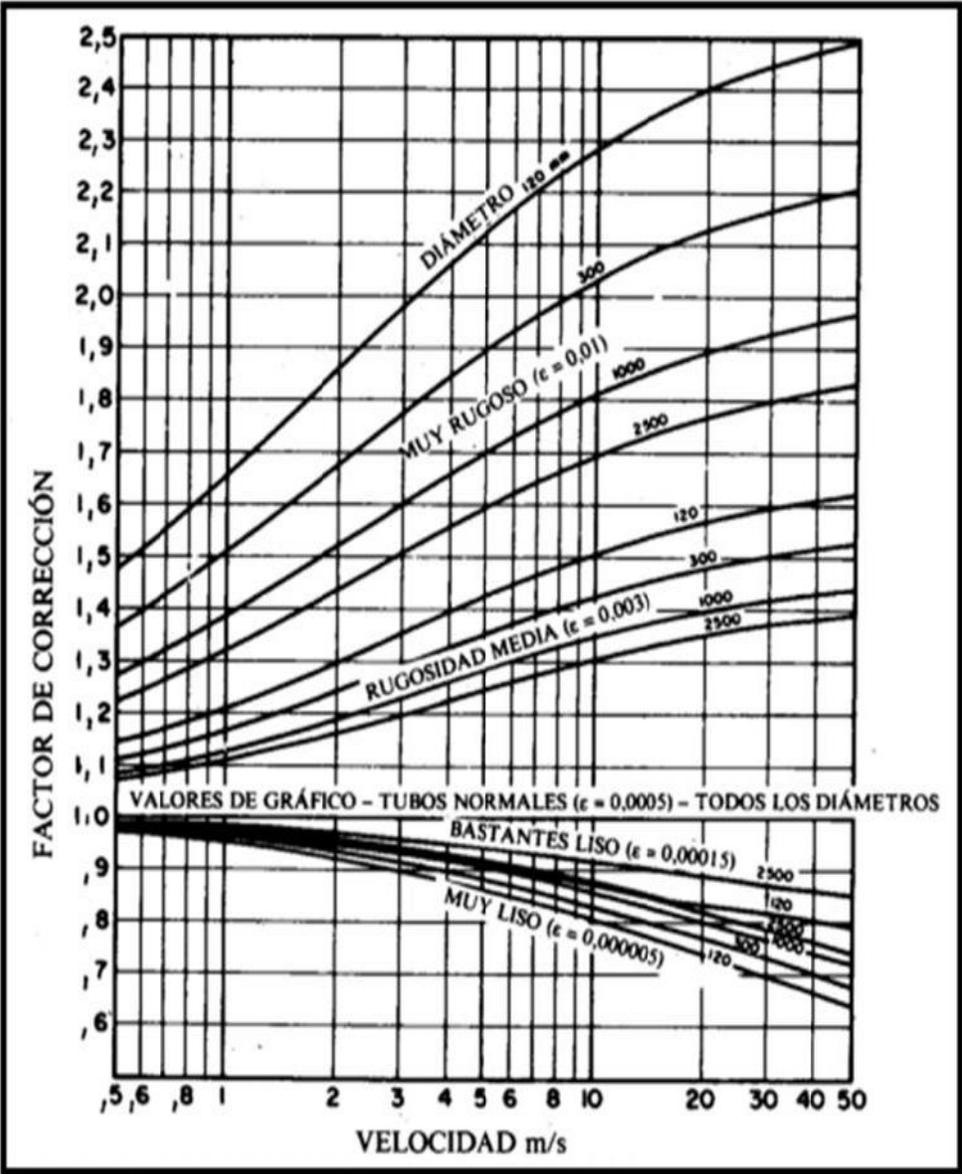
## Anexo 2. Figuras

Figura A. Perdidas por fricción en mmcda/mm



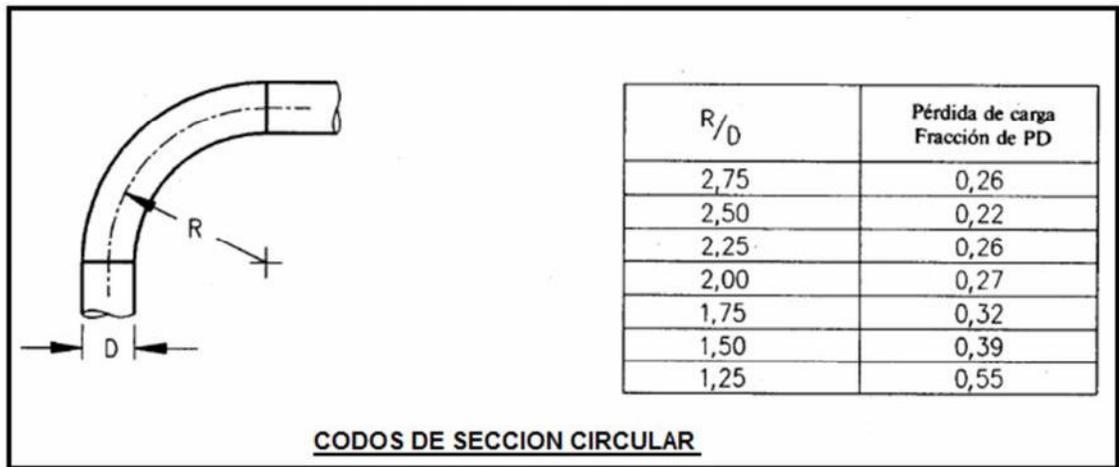
Fuente: Diseño de ductos colectores.

Figura B. Factor de corrección por rugosidad de conducto



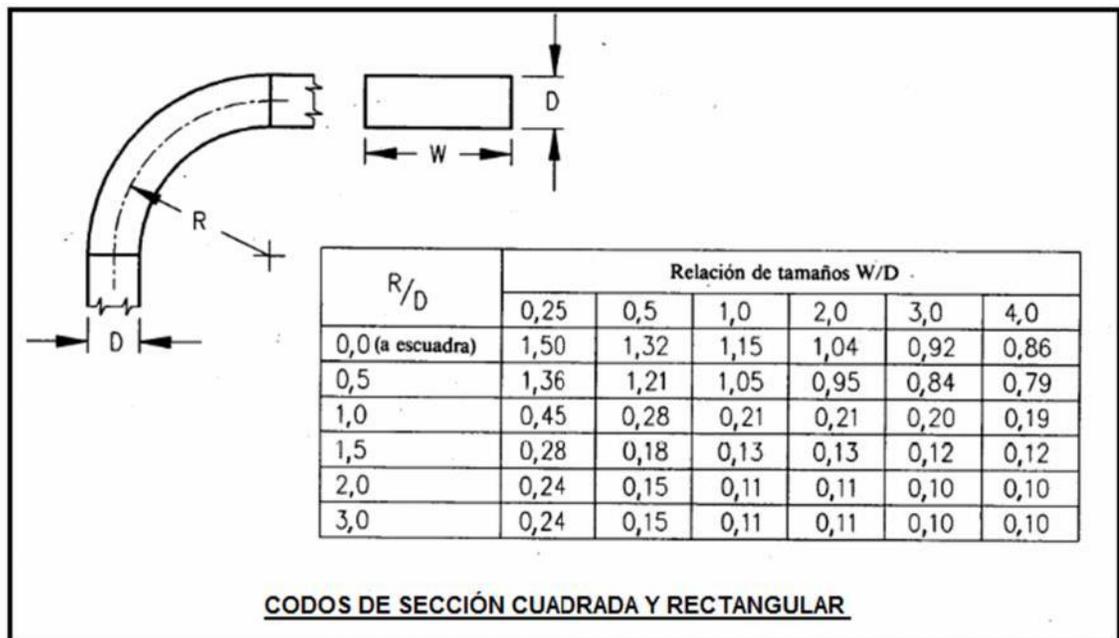
Fuente: Diseño de ductos colectores.

Figura C. Coeficiente de pérdidas en codos de sección circular



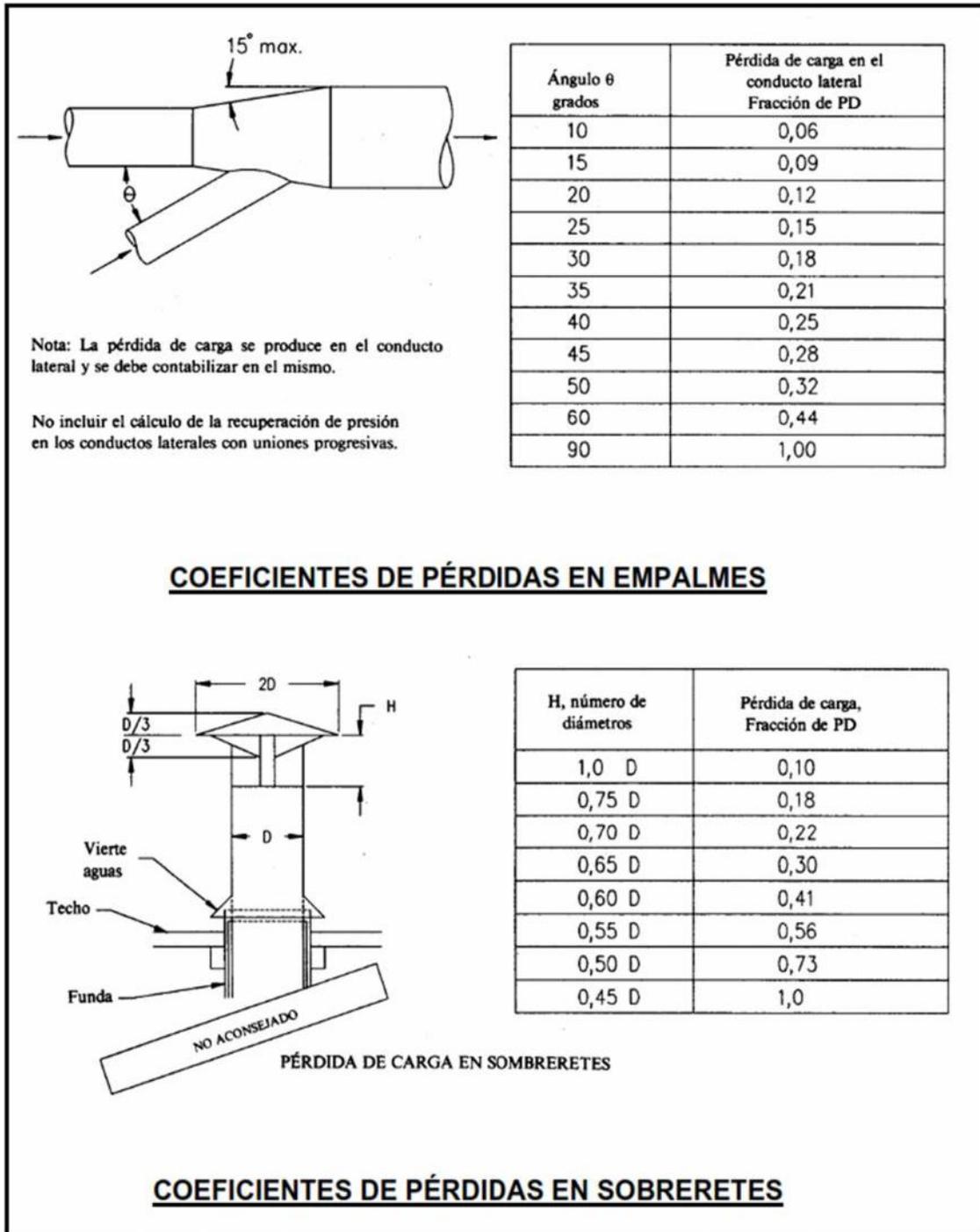
Fuente: Diseño de ductos colectores.

Figura D. Coeficiente de pérdidas en codos de sección cuadrada y rectangular



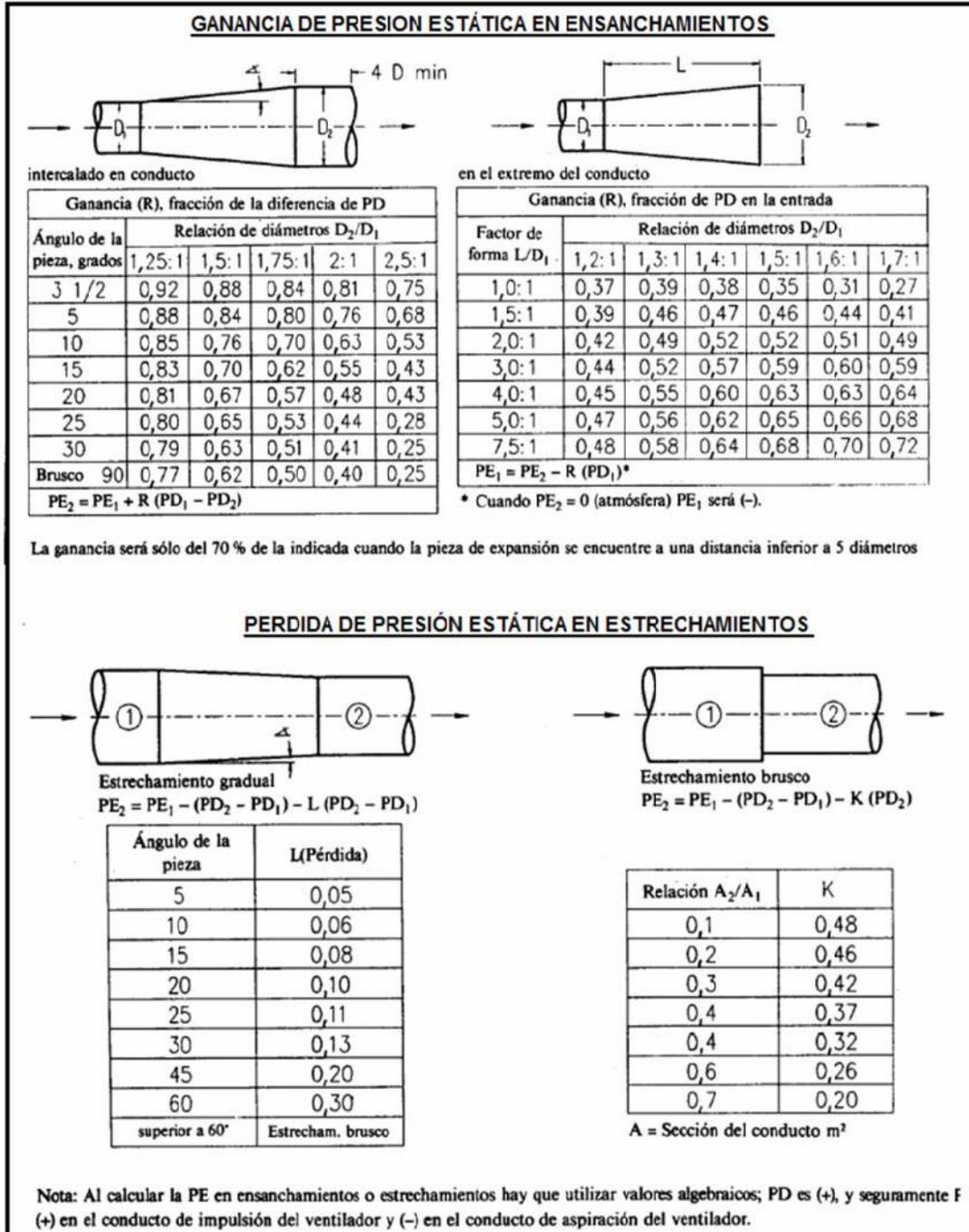
Fuente: Diseño de ductos colectores.

Figura E. Coeficientes de pérdida en empalmes y sombreretes



Fuente: Diseño de ductos colectores.

Figura F. Ganancia de presión estática en ensanchamientos y estrechamientos



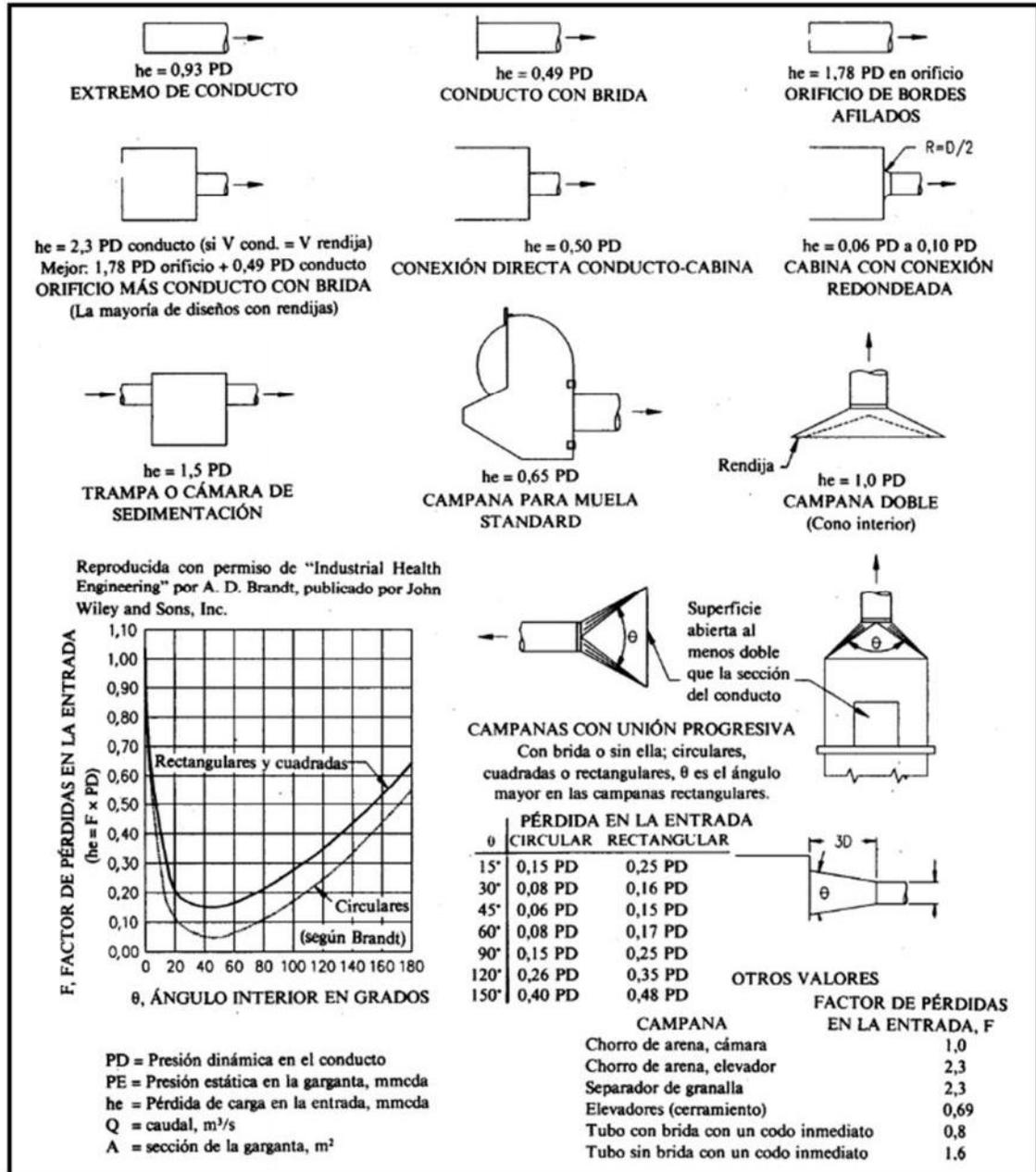
Fuente: Diseño de ductos colectores

Figura G. Longitudes equivalentes de accesorios en metros

Diámetro en mm	Codo de 90° Radio de curvatura R			Ángulo de la unión		H. expresada en diámetros		
	1,5D	2,0D	2,5D	30°	45°	1,0 D	0,75 D	0,5 D
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15
400	10	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18
450	12	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21
500	14	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23
600	17	11	9,5	7,3	11	4,0	7,3	29
700	21	14	11	8,8	14	4,8	8,8	35
800	24	16	13	10	16	5,7	10	41
900	28	19	15					
1000	32	21	18					
1200	39	26	22					

Fuente: Diseño de ductos colectores

Figura H. Coeficientes y factores de pérdidas en entradas al sistema



Fuente: Diseño de ductos colectores

### **Anexo 3. Planos**

- 8100 – 4D - 01: Vista lateral de la estructura.
- 8100 – 4D - 02: Vista la estructura puesta en el sistema.
- 8100 – 4D - 03: Vista Isométrica del sistema de derivación.







#### **Anexo 4. Plan de puntos de inspección.**

- Plan de puntos de inspección: Etapa de fabricación
- Plan de puntos de Inspección: Etapa de montaje

PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN - FABRICACIÓN					
ITEM	ETAPA	PROCESO	MÉTODO	DOCUMENTO DE REFERENCIA	RESPONSABLE
01	Recepción de Materiales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de Procedimiento de Almacenamiento, Embalaje y Despacho</li> <li>Verificación y Recepción de Materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Certificados de Calidad.</li> <li>Especificaciones Técnicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Proyecto.</li> <li>Jefe de Planta.</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>
02	Habilitado y Armado de Elementos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retiro de Materiales de Almacén</li> <li>Habilitado de Materiales.</li> <li>Armado de Elementos.</li> <li>Inspección y Control Dimensional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> <li>Tolerancia de nivelación <math>\pm 1 \text{ mm x mt}</math></li> <li>Tolerancia en alineamiento <math>\pm 1 \text{ mm x mt}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos de Fabricación.</li> <li>Especificaciones Técnicas.</li> <li>Registro de Control Dimensional en Armado.</li> <li>Normas ISO – 9001 – 2008</li> <li>Normas ISO – 9000 – 2000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Proyecto.</li> <li>Jefe de Planta.</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Armadores.</li> </ul>
03	Soldadura de Elementos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procedimientos de Soldadura WPS y POR.</li> <li>Homologación de Soldadores.</li> <li>Inspección Visual de Soldadura.</li> <li>Inspección de Soldadura por Tintes Penetrantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos de Fabricación.</li> <li>WPS y POR.</li> <li>Especificaciones Técnicas</li> <li>Normas AWS D1.1</li> <li>Registro de Inspección Visual de Soldadura.</li> <li>Registro de Inspección por Tintes Penetrantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Proyecto.</li> <li>Jefe de Planta.</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Asesor Técnico de SOLDEXA</li> <li>Soldadores.</li> </ul>
04	Preparación Superficial y Aplicación de Recubrimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de Procedimiento de Preparación Superficial.</li> <li>Preparación Superficial de Estructura</li> <li>Inspección de Rugosidad en Superficie de Estructura.</li> <li>Verificación de Procedimiento de Pintura.</li> <li>Pintado de Estructura.</li> <li>Inspección de EPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos de Fabricación.</li> <li>Especificaciones Técnicas.</li> <li>Normas SSPC.</li> <li>Registro de Preparación Superficial y Aplicación de Recubrimientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Proyecto.</li> <li>Jefe de Planta.</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Asesor Técnico del Proveedor</li> <li>Granallador.</li> </ul>
05	Despacho	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de Procedimiento de Almacenamiento, Embalaje y Despacho.</li> <li>Liberación de Estructuras.</li> <li>Coordinación con el cliente para la Liberación de Estructuras respectivas</li> <li>Verificación del Despacho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guías de Remisión.</li> <li>Registros Generados para Fabricación</li> <li>Certificados de Calidad de Materiales y Equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jefe de Proyecto.</li> <li>Jefe de Planta.</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>

PLAN DE PUNTOS DE INSPECCIÓN - MONTAJE					
ITEM	ETAPA	PROCESO	MÉTODO	DOCUMENTO DE REFERENCIA	RESPONSABLE
01	Verificaciones previas al montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placas de Nivelación</li> <li>Insertos</li> <li>Pernos de Anclaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montaje de Acero Estructural AISC 303</li> <li>Topografía de Construcción</li> <li>Erection of Structural Steel and Miscellaneous Metal.</li> <li>AISC – 303 – Cap 7.5.3</li> <li>AISC-303 –Cap 7.5.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de Proyecto.</li> <li>Sup. Mecánico</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>
02	Pre-montaje de Acero Estructural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verticalidad de Columnas</li> <li>Alineamiento de Columnas</li> <li>Control Geométrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> <li>Inclinación &lt; 1/500</li> <li>Elevación ±3.</li> <li>Alineamiento ±2.</li> <li>Distancia entre pernos ± 3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montaje de Acero Estructural AISC 303</li> <li>Topografía de Construcción</li> <li>Erection of Structural Steel and Miscellaneous Metal.</li> <li>Registro de Control Dimensional en Armado.</li> <li>Normas ISO – 9001 – 2008</li> <li>Normas ISO – 9000 - 2000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de Proyecto.</li> <li>Sup. Mecánico</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>
03	Torqueo de Pernos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificación de pernos según planos.</li> <li>Verificación de Humedad y Polvo</li> <li>Ver instrucciones de Proveedor.</li> <li>Corte de Espiga o giro de tuerca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> <li>Instrucciones del Proveedor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montaje de Acero Estructural AISC 303</li> <li>Topografía de Construcción</li> <li>Erection of Structural Steel and Miscellaneous Metal.</li> <li>AISC – 303 – Cap 7.5.3</li> <li>AISC-303 –Cap 7.5.1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de Proyecto.</li> <li>Sup. Mecánico</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>
04	Grout placa Base.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar la Temperatura ambiente, agua y mezcla.</li> <li>Verificación de Superficie.</li> <li>Verificación de la Humedad del Ambiente.</li> <li>Resistencia &gt;35 Mpa Sikagrout 212.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grouteo</li> <li>Concreto General, Cap 15</li> <li>ASTM – C -107</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de Proyecto.</li> <li>Sup. Mecánico</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>
05	Touch – Up	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superficie Metal Base</li> <li>Número de Capas</li> <li>Espesor de Capas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visual.</li> <li>Instrumental.</li> <li>Documentario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos de Fabricación.</li> <li>Normas SSPC.</li> <li>Especificaciones Técnicas.</li> <li>Hojas Técnicas de Pintura.</li> <li>ASTM D4417</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residente de Proyecto.</li> <li>Sup. Mecánico</li> <li>Supervisor QC.</li> <li>Logística-Almacén.</li> </ul>