**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

# "Proyecto de un Sistema Mecánico para el Transporte y Alimentación al Proceso de Molienda de Carbón Mineral usado como Combustible Industrial"

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Titulo de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

Bryant William Neira Suárez

GUAYAQUIL – ECUADOR
Año: 2005

# AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Ing. Federico Camacho director de Tesis por su incondicional y constante ayuda prestada para la realización de este proyecto.

# DEDICATORIA

A MI MADRE

A MI PADRE

A MI HERMANA

A MI SOBRINA

## TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP

Ing. Federico Camacho B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL

Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

( Reglamento de Graduación de la ESPOL )

Bryant William Neira Suárez

## RESUMEN

El Carbón Mineral es un combustible sólido, compuesto principalmente por pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y otros elementos; así como grandes cantidades de Carbono. Surge por la degradación de los restos de organismos vegetales debido a la acción del calor, presión y otros fenómenos físico – químicos. El carbón mineral no es un mineral uniforme y se distinguen por rangos según su grado de metamorfosis, en series que van desde Lignitos a Antracitas, las cuales poseen diferencias considerables en su contenido de volátiles, carbono fijo y poder calorífico.

En la actualidad se estima que existen más de 1 billón de toneladas en reservas totales accesibles de forma económica y mediante las tecnologías de explotación actualmente disponibles; estas reservas son suficientes para varios siglos. Su gran desventaja es el problema ambiental que causa la explotación y el tratamiento del carbón, pero existen sistemas de ventilación y extracción de polvos adecuados para controlar estos efectos bajo concentraciones máximas permisibles.

El objetivo de la presente Tesis es el desarrollo del proyecto mecánico de un Sistema para la Transportación y Alimentación del Carbón desde la sala de almacenamiento hacia la molienda, con una capacidad de 100 toneladas por hora. Todo este proceso estará basado en normas y estándares como: AISC, AWS, ASTM, OSHA, EPA, NFPA y otras.

En el primer capitulo se tratará acerca del carbón mineral como combustible, así como su procesamiento, derivados, propiedades físicas y químicas, consideraciones y normas ambientales. Se dará énfasis a los efectos ambientales causados por el manipuleo de este producto.

En los capítulos dos, tres y cuatro se tratarán los sistemas de transportación, alimentación y el ensamble de estos, en cada sistema habrá que diseñar ciertos equipos y otros habrá que seleccionarlos. Para este efecto, se deberán considerar factores de influencia como: características del material, capacidad requerida, longitud de desplazamiento, elevación de la carga y requisitos del proceso. Los equipos que serán diseñados son: Bandas Transportadoras, Colectores de Polvos, Tolvas de Recepción y Alimentación al Proceso y Desempolvado; y Los equipos que serán seleccionados son: Motores Eléctricos, Transportador de Derrame, ventiladores, Separador Magnético, Detector de Metales y Transportador de Rastra.

En el Capitulo cinco se describirá en forma general los Requerimientos y Sistemas para Automatizar el Proceso de Transporte y Alimentación.

En el Capitulo seis se presentará el análisis de costos en el cual se detallara los costos de fabricación e importación de equipos, costos de montaje y puesta en marcha y costos de operación.

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN..... II

ÍNDICE GENERAL..... V

ABREVIATURAS..... VIII

SIMBOLOGÍA..... IX

ÍNDICE DE FIGURAS..... XIV

ÍNDICE DE TABLAS..... XVI

ÍNDICE DE PLANOS..... XVI

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO 1

1.- CARBON MINERAL..... 2

1.1.- Definición y Clasificación..... 2

1.2.- Propiedades Químicas y Físicas..... 11

1.3.- Procesamiento..... 17

1.4.- Normas para el Transporte y Manipuleo..... 23

1.5.- Comparación con otros Combustibles..... 34

1.6.- Consideraciones y Normas Ambientales.....37

CAPÍTULO 2

2.- SISTEMAS PARA TRANSPORTE Y ALIMENTACION.....45

2.1.- Transporte.....45

2.2.- Alimentación.....48

2.3.- Sistema Seleccionado..... 55

CAPÍTULO 3

3.- SISTEMA DE TRANSPORTACION.....58

3.1.- Descripción.....58

3.2.- Diseño y Selección de Equipos..... 59

3.2.1.- Sistema de Pesaje..... 59

3.2.2.- Bandas Transportadoras..... 60

3.2.3.- Transportador de Derrames.....102

3.2.4.- Sistema de Desempolvado..... 105

3.2.5.-Sistemas de Detección y Separación de Metales.....108

CAPÍTULO 4

4.- SISTEMA DE ALIMENTACION.....113

4.1.- Descripción.....113

4.2.- Diseño y Sección de Equipos.....114

4.2.1.- Tolva de Alimentación.....114

4.2.2.- Transportador de Rastra.....159

4.2.3.- Banda Transportadora.....162

4.2.4.- Sistema de Pesaje.....175

4.2.5.- Sistema de Desempolvado.....177

4.2.6.- Válvula Rotatoria.....194

CAPÍTULO 5

5.- SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN..... 196

5.1.- Descripción..... 196

5.2.- Selección de Dispositivos..... 199

CAPÍTULO 6

6.- ANÁLISIS DE COSTOS..... 204

6.1.- Costos de Fabricación e Importación de Equipos..... 204

6.2.- Costos de Montaje y Puesta en Marcha..... 208

6.3.- Costos de Operación..... 208

CAPÍTULO 7

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....217

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICES

# ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| ° | Grados |
| °C | Grados Centigrados |
| “ | Pulgadas |
| arctan | Arco Tangente |
| CFM | Pies cúbicos por minutos |
| FT | Pies |
| $FT^2$ | Pies Cuadrados |
| g | Gravedad |
| In | Pulgadas |
| hr | Hora |
| HP | Caballos de Fuerza |
| kg | Kilogramo |
| kg/m | Kilogramo por metro lineal |
| $kg/m^2$ | Kilogramo por metro cuadrado |
| kW | Kilovatios |
| lb | Libra |
| $lb/pie^3$ | Libras por pie cúbico |
| $kN/m^3$ | Kilo newton por metro cúbico |
| m | Metro lineal |
| m/s | Metro por segundo |
| $m^2$ | Metro cuadrado |
| $m^3$ | Metro cúbico |
| mm | Milímetro |
| MPa | Mega Pascales |
| N | Newton |
| N/mm | Newton por milímetro lineal |
| $pie^3$ | Pie cúbico |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| s | Segundo |
| tan | Tangente |
| ton | Tonelada métrica [1000 kg o 2200 lb] |
| ton/h | Toneladas por hora |
| $ton/m^3$ | Toneladas por metro cúbico |

# SIMBOLOGÍA

| | |
|---|---|
| $a_{cercha}$ | Ancho de la Cercha |
| $A_{fil)1}$ | Area Filtrante para $Q_1$ |
| BT-1 | Primera Banda Transportadora |
| BT-2 | Segunda Banda Transportadora |
| BT-3 | Tercera Banda Transportadora |
| $b_s$ | Ancho del anillo en la parte cilíndrica |
| $b_{RS}$ | Ancho del Anillo rigidizador |
| $C_{fil}$ | Cargamento de área de filtro |
| CERCHA-1 | Cercha de BT-1 |
| CERCHA-2 | Cercha de BT-2 |
| Cub-1 | Cubierta para BT-1 |
| CR-1 | Caja reductora de velocidad para BT-1 |
| CR-2 | Caja reductora de velocidad para BT-2 |
| CR-3 | Caja reductora de velocidad para BT-3 |
| CP-1 | Colector de polvos en BT-2 |
| CP-2 | Colector de Polvos en el nivel 21.4m del Edificio |
| D | Diámetro de la Tolva |
| $D_{pingate}$ | Diámetro del PIN GATE |
| d | Diámetro de salida de la tolva |
| $d_{ducto}$ | Diámetro del Ducto |
| DM | Detector de Metales |
| $D_H$ | Diámetro Hidráulico |
| $f_c$ | Esfuerzo de Fluencia |
| ff | Factor de Flujo |
| $F_{soporte}$ | Fuerza por metro lineal que actúa sobre los soportes de BT-1 |
| $F_{T-1)}$ | Fuerza por metro lineal que actúa sobre las torres de BT-1 |
| $F_{T-2)}$ | Fuerza por metro lineal que actúa sobre las torres de BT-2 |
| $h_{vs}$ | Altura del Soporte |
| H | Altura de la tolva. |
| $H_{c90}$ | Caída de presión para codos de $90^0$ |
| $H_{c60}$ | Caída de presión para codos de $60^0$ |
| $H_{c150}$ | Caída de presión para codos de $150^0$ |
| $H_{bifurcación}$ | Caída de presión en bifurcaciones |
| $H_{campana}$ | Caída de presión en las campanas de succión. |

| | |
|---|---|
| $H_{accesorios}$ | Caída de presión de Accesorios |
| $H_f$ | Caída de presión en la sección F |
| $H(\theta)$ | factor de Angulo |
| $K_{cil}$ | Constante de Janssen para el cilindro |
| $K_{cono}$ | Constante de Janssen para el Cono |
| $L_{BT\text{-}1)inclinada}$ | Longitud inclinada de BT-1 |
| $L_{BT\text{-}2}$ | Longitud de BT-2 |
| L | Largo de la ranura de la tolva |
| $L_{ducto}$ | Longitud del ducto |
| $L_{pingate}$ | Longitud del PIN GATE |
| LC | Celda de Carga |
| $\dot{m}$ | Flujo masico de VR |
| $m_{personas)cercha}$ | Peso de la cercha por metro lineal |
| $m_{BT-1}$ | Peso de BT-1 |
| $m_{BT-2}$ | Peso de BT-2 |
| $m_{BT-3}$ | Peso de BT-3 |
| $m_{carbón}$ | Peso del Carbón en la tolva |
| $m_{cercha\text{-}1}$ | Peso de la Cercha-1 |
| $m_{cercha\text{-}2}$ | Peso de la Cercha-2 |
| $m_{cercha}$ | Peso por longitud de la Cercha |
| $m_{cub\text{-}1}$ | Peso de Cub-1 |
| $m_{Total}$ | Peso total de la Tolva |
| $m_{ductos}$ | Peso de Ductos |
| $m_{accesorios}$ | Peso de los Accesorios de los Ductos |
| $m_{total)ducto}$ | Peso total del Ducto |
| P | Potencia Teórica |
| P-1 | Juego de poleas para la reducción de velocidad de BT-1 |
| P-2 | Juego de poleas para la reducción de velocidad de BT-2 |
| P-3 | Juego de poleas para la reducción de velocidad de BT-3 |
| $P_{menor)BT\text{-}1}$ | Polea menor de P-1 |
| $P_{menor)BT\text{-}2}$ | Polea menor de P-2 |
| $P_{menor)BT\text{-}3}$ | Polea menor de P-3 |
| $P_{mayor)BT\text{-}1}$ | Polea mayor de P-1 |
| $P_{mayor)BT\text{-}2}$ | Polea mayor de P-2 |
| $P_{mayor)BT\text{-}3}$ | Polea mayor de P-3 |
| $P_{cilindro}$ | presión Estática en el Cilindro |
| $Q_{valvula}$ | Flujo volumétrico en la válvula rotatoria |
| $Q_1$ | Caudal de polvo generado en CP-1 |
| $Q_{rastra}$ | Flujo Volumétrico de la Rastra |
| $Q_{BT\text{-}2}$ | Caudal de polvo generado en BT-2 |
| $Q_{T\text{-}1}$ | Caudal de polvo generado en la entrada de la tolva |
| $Q_{T\text{-}2}$ | Caudal de polvo generado en la descarga de la tolva |

| | |
|---|---|
| $Q_{BT-A3}$ | Caudal de polvo generado en la alimentación de BT-3 |
| $Q_{R-1}$ | Caudal de polvo generado en la descarga del TR |
| $Q_{BT-D3}$ | Caudal de polvo generado en BT-2 |
| $Q_t$ | Caudal Total de generación de polvo |
| $Q_{ducto}$ | Caudal que pasa por los ductos |
| $R_{BT-2}$ | Ramal de BT-2 |
| $R_{T1}$ | Ramal de la entrada de la tolva |
| $R_{T2}$ | Ramal de la salida de la tolva |
| $R_{R1}$ | Ramal de la descarga del TR |
| $R_{BT-A3}$ | Ramal de la alimentación de BT-3 |
| $R_{BT-D3}$ | Ramal de la descarga de BT-3 |
| $r_{cil}$ | radio del cilindro |
| $r_{v)BT-1}$ | Relación de velocidad para CR-1 |
| $r_{v)BT-2}$ | Relación de velocidad para CR-2 |
| $r_{v)BT-3}$ | Relación de velocidad para CR-3 |
| $r_{vP)BT-1}$ | Relación de velocidad de las poleas de BT-1. |
| $r_{vP)BT-2}$ | Relación de velocidad de las poleas de BT-3. |
| $r_{vP)BT-3}$ | Relación de velocidad de las poleas de BT-3. |
| s | Directriz |
| $S_{6)BT-2}$ | Torre soportando el peso de BT-2 |
| $S_{6)BT-1}$ | Torre soportando el peso de BT-2 |
| SM | Separador Magnético |
| $SP_{filtro}$ | Caída de presión del Filtro |
| $SP_{ductos}$ | Caída de presión en los ductos |
| $SP_{total}$ | Caída de presión total |
| SP-1 | Sistema de Pesaje |
| $t_{cil}$ | Espesor del cilindro |
| $t_{cono}$ | Espesor del Cono |
| $t_{vs}$ | Espesor del Soporte |
| $t_{RS}$ | Espesor del anillo rigidizador |
| $t_{llenado}$ | Tiempo de llenado de la Tolva |
| TR | Transportador de Rastra |
| $T_1$ | Tensión en el lado apretado |
| $T_2$ | Tensión en el lado flojo |
| $T_3$ | Tensión en el retorno |
| $t_b$ | Espesor de la banda |
| $T_{cp}$ | Tensión del contrapeso |
| TD-1 | Transportador de Derrames para BT-1 |
| TD-2 | Transportador de Derrames para BT-2 |
| TD-3 | Transportador de Derrames para BT-3 |
| $T_e$ | Tensión efectiva |
| VP | Cabezal Dinámico |
| VR-1 | Válvula Rotatoria |
| $V_{BT-1}$ | Velocidad lineal de BT-1 |

| | |
|---|---|
| $V_{BT-2}$ | Velocidad lineal de BT-2 |
| $V_{BT-3}$ | Velocidad lineal de BT-3 |
| $V_{ducto}$ | Velocidad de arrastre en el ducto |
| W | Ancho de la ranura de la tolva |
| $W_{CR-1}$ | Peso de CR-1 |
| $W_{CR-2}$ | Peso de CR-2 |
| $W_{CR-3}$ | Peso de CR-3 |
| $W_{pingate}$ | Carga distribuida que actúa sobre el Pin Gate |
| $y_{cil}$ | Variación de la altura del cilindro |
| $y_{cono}$ | variación de la altura del cono |
| ρ | Densidad del carbón |
| $\rho_{ac}$ | Densidad del Acero |
| θ | Semiangulo de inclinación de la tolva |
| $\theta_R$ | Angulo de Reposo |
| $\phi_{Pmenor)BT-1}$ | Diámetro de la polea menor de P-1 |
| $\phi_{Pmenor)BT-2}$ | Diámetro de la polea menor de P-2 |
| $\phi_{Pmenor)BT-3}$ | Diámetro de la polea menor de P-3 |
| $\phi_{Pmayor)BT-1}$ | Diámetro de la polea mayor de P-1 |
| $\phi_{Pmayor)BT-2}$ | Diámetro de la polea mayor de P-2 |
| $\phi_{Pmayor)BT-3}$ | Diámetro de la polea mayor de P-3 |
| $\Phi_{tambor)BT-1}$ | Diámetro del tambor motriz de BT-1 |
| $\Phi_{tambor)BT-2}$ | Diámetro del tambor motriz de BT-2 |
| $\Phi_{tambor)BT-3}$ | Diámetro del tambor motriz de BT-3 |
| $\phi_w$ | Angulo de pared de fricción |
| $\omega_{valvula}$ | Velocidad angular de VR-1 |
| $\varpi_{tambor)BT-1}$ | Velocidad angular del tambor motriz de BT-1 |
| $\varpi_{tambor)BT-2}$ | Velocidad angular del tambor motriz de BT-2 |
| $\varpi_{tambor)BT-3}$ | Velocidad angular del tambor motriz de BT-3 |
| δ | Coeficiente de fricción interna |
| μ | Coeficiente de fricción de pared |
| $\sigma_1$ | Esfuerzo de Compactamiento |
| $\sigma_{y)AS}$ | Esfuerzo Vertical Aplicado |
| $\sigma_y$ | Esfuerzo Vertical |
| $\sigma_n$ | Esfuerzo de Pared en el Cilindro |
| $\sigma_{no}$ | Esfuerzo de Pared en la tolva |
| $\sigma_s$ | Esfuerzo de pared para flujo de masa |
| ζ | Esfuerzo cortante |
| $\forall_{cil)_{carbón}}$ | Volumen que ocupa el carbón en la parte cilíndrica |
| $\forall_{cil)cono}$ | Volumen que ocupa el carbón en la parte cónica |

| | |
|---|---|
| $\forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}}$ | Volumen que ocupa en carbón en la tolva |
| $\forall_{\text{cil})_{\text{metal}}}$ | Volumen del metal en la parte cilíndrica |
| $\forall_{\text{cono})_{\text{metal}}}$ | Volumen total del metal en el cono |
| $\forall_{\text{tapa})\text{neto}}$ | Volumen de la Tapa de la Tolva |

# ÍNDICE DE FIGURAS


Figura 1.1 Carbón Mineral..... 3
Figura 1.2 Reservas Internacionales..... ..... 4
Figura 1.3 Países Productores de Carbón en el 2000..... 6
Figura 1.4 Principales Usos del Carbón..... 8
Figura 1.5 Composición del Carbón Bituminoso..... 12
Figura 1.6 Proceso de Recepción y Almacenamiento..... 18
Figura 1.7 Esquema del Sistema de Transporte y Alimentación..... 20
Figura 1.8 Esquema del Sistema de Molienda..... 21
Figura 1.9 Esquema del Sistema de Dosificación..... 22
Figura 1.10 Participación de los Combustibles para la generación de energía..... 36
Figura 2.1 Posiciones de Aplicación del Separador Magnético..... 46
Figura 2.2 Detector de Metales..... 47
Figura 2.3 Transportador de Rastra..... 48
Figura 2.4 Banda Transportadora..... 50
Figura 2.5 Operación de una válvula rotatoria.....52
Figura 2.6 Celda de pesaje..... 53
Figura 2.7 Colector de Polvos..... ..... 55
Figura 2.8 Esquema del Sistema de Transporte y Alimentación 57
Figura 3.1 Balanza para las Bandas Transportadoras..... 60
Figura 3.2 Esquema de BT-1..... 61
Figura 3.3 Rodillo Terna $35^0$..... 62
Figura 3.4 Angulo de Contacto.....67
Figura 3.5 Dimensiones del Motor eléctrico 284T..... 69
Figura 3.6 Rodillo inferior..... 71
Figura 3.7 Esquema de los Tambores para BT-1..... 72
Figura 3.8 Características del Tambor Motriz para BT-1..... 73
Figura 3.9 Trayectoria de la BT-1..... 75
Figura 3.10 Radio de Transición ..... 76
Figura 3.11 Esquema de un Acople Voith TVRI..... 78
Figura 3.12 Esquema de BT- 2..... 79
Figura 3.13 Dimensiones del Motor eléctrico 215T..... 82

Figura 3.14 Esquema de los tambores de BT-2..... 85
Figura 3.15 Dimensiones del Tambor motriz de BT-2..... 87
Figura 3.16 Trayectoria de la BT-2..... 88
Figura 3.17 Esquema de la Caja Reductora..... 90
Figura 3.18 Esquema de un Rodillo Superior Terna..... 95
Figura 3.19 Cubierta para BT-1..... 95
Figura 3.20 Limpiador para las Bandas Transportadoras..... 96
Figura 3.21 Esquema del limpiador para Banda..... 97
Figura 3.22 Revestimiento Antideslizante..... 97
Figura 3.23 Área Transversal del Transportador de Derrame.....104
Figura 3.24 Esquema del Transportador de Derrame.....104
Figura 3.25 Colector de Polvo para la descarga de BT1 a BT2.....107
Figura 3.26 Esquema del Separador Magnético.....109
Figura 3.26 Vistas del Detector de Metales..... 111
Figura 3.26 Esquema del Detector de Metales..... 112
Figura 4.1 Dimensiones de la Tolva..... 115
Figura 4.2 Diferentes tipos de Flujos en una Tolva..... 116
Figura 4.3 Tolva cónica con cambio de sección a rectangular..... 118
Figura 4.4 Parámetros que rigen el “flujo de masa” ..... 121
Figura 4.5 Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida cónica..... 123
Figura 4.6 Tipo de Flujo en el Cono.....124
Figura 4.7 Esfuerzo Vertical Mínimo para que Fluya el Carbón en la sección Cónica..... 127
Figura 4.8 Geometría del cono..... 130
Figura 4.9 Flujo del carbón a lo largo de la tolva..... 133
Figura 4.10 Sección transversal de la parte cilíndrica..... 134
Figura 4.11 Distribución de los esfuerzos en el Cono..... 138
Figura 4.12 Distribución del Pico de presión..... 139
Figura 4.13 Distribución de los Esfuerzos a lo largo de la Tolva.....142
Figura 4.14 Espesores en la Tolva..... 144
Figura 4.15 Espesores de Anillos y Platinas del Cilindro..... 145
Figura 4.16 Dimensiones del Anillo Rigidizador del cono..... 146
Figura 4.17 Distribución de los esfuerzos en el Pin Gate..... 147
Figura 4.18 Esquema del Transportador Rastra para BT-3..... 163
Figura 4.19 Esquema de BT-3..... 164
Figura 4.20 Dimensiones del Motor Eléctrico 145T..... 167
Figura 4.21 Trayectoria de BT- 3..... 172
Figura 4.22 Dimensiones de la Celda de Pesaje..... 178
Figura 4.23 Esquema CP-2.....192
Figura 4.24 Válvula Contra explosión.....193
Figura 4.25 Dimensiones de VR-1..... 195
Figura 5.1 Ubicación de los Detectores de nivel..... 201
Figura 5.2 Varilla flexible..... 202

# ÍNDICE DE TABLAS


TABLA 1.1 Utilización y Precios del Carbón en Estados Unidos.....7
TABLA 1.2 Clasificación del Carbón por grado.....10
TABLA 1.3 Densidades de las diferentes clases de carbones.....13
TABLA 1.4 Calor Especifico.....14
TABLA 1.5 Clasificación de los Carbones por categorías.....16
TABLA 1.6 Factores de emisión de material particulado.....23
TABLA 1.7 Características de Explosividad.....26
TABLA 1.8 Reservas de Combustibles en Estados Unidos..... 34
TABLA 1.9 Poder Calorífico de los Combustibles.....35
TABLA 1.10 Reservas y Producción Carbón mineral en la Región Andina..36
TABLA 1.11 Niveles de Alerta, Alarma y Emergencia.....40
TABLA 1.12 Limites máximos persimibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión.....42
TABLA 3.1 Características del material .....61
TABLA 3.2 Fuerza que actúan en BT-1..... 66
TABLA 3.3 Potencias en BT-1.....66
TABLA 3.4 Tensiones que actúan en BT-1..... .....68
TABLA 3.5 Características del motor eléctrico para BT-1.....69
TABLA 3.6 Características de BT-1..... 70
TABLA 3.7 Característica de los rodillos seleccionados.....71
TABLA 3.8 Características de los tambores para BT-1..... 74
TABLA 3.9 Coordenadas de la trayectoria para BT-1.....76
TABLA 3.10 Dimensiones para Acoples Voith..... 78
TABLA 3.11 Fuerzas que actúan en BT- 2..... 80
TABLA 3.12 Potencias que actúan en BT-2..... 80
TABLA 3.13 Tensiones que actúan en BT-2..... 81
TABLA 3.14 Características del motor eléctrico para BT-2.....82
TABLA 3.15 Características de BT-2..... 83
TABLA 3.16 Característica de los rodillos para BT-2..... 84
TABLA 3.17 Características de los tambores para BT-2..... 86
TABLA 3.18 Coordenadas de la trayectoria para BT-2..... 87
TABLA 3.19 Dimensiones de los rodillos superiores terna.....94
TABLA 3.20 Selección del limpiador de banda..... 96
TABLA 3.21 Peso de los accesorios para BT-1 Y BT-2..... 98

TABLA 3.22 Fuerzas en los soportes.....101
TABLA 3.23 Capacidad del transportador de derrame .....102
TABLA 3.24 Ancho de banda de un transportador de derrame.....104
TABLA 3.25 Modelos de separadores electromagnéticos.....108
TABLA 4.1 Características principales de tolvas con flujo de masa y de embudo.....117
TABLA 4.2 Propiedades físicas de materiales cohesivos.....120
TABLA 4.3 Factores para el calculo de la función de flujo para materiales cohesivos.....126
TABLA 4.4 Capacidad del transportador rastra..... 160
TABLA 4.5 Potencia por metro de longitud..... .....161
TABLA 4.6 Fuerzas que actúan en BT-3 ..... 165
TABLA 4.7 Potencias que actúan en BT-3..... 165
TABLA 4.8 Tensiones que actúan en BT-3 ..... 166
TABLA 4.9 Características del motor eléctrico para BT-3..... 167
TABLA 4.10 Características de BT-3 ..... 168
TABLA 4.11 Características de los rodillos seleccionados..... 169
TABLA 4.12 Características de los tambores para BT-3..... 171
TABLA 4.13 Coordenadas de la trayectoria de BT-3..... 170
TABLA 4.14 Pesos de los Accesorios para BT-3..... 175
TABLA 4.15 Características de LC..... 177
TABLA 4.16 Caudales y Diámetro de los ductos.....183
TABLA 4.17 Caída de Presión por ramal..... .....184
TABLA 4.18 Coeficiente de Perdidas en Codos..... 185
TABLA 4.19 Coeficiente de Perdidas en Bifurcaciones..... 187
TABLA 4.20 Peso de los Ductos.....190
TABLA 4.21 Potencia requerida para la Válvula Rotatoria..... .196
TABLA 6.1 Costos de Fabricación de Materiales Locales.....205
TABLA 6.2 Costos de fabricación e Importación de Equipos..... 206
TABLA 6.3 Costos de Equipos.....207
TABLA 6.4 Costo de Montaje.....209
TABLA 6.5 Costo de Montaje (Continuación).....210
TABLA 6.6 Costo de Montaje y Costo Final por Equipo.....211
TABLA 6.7 Costo por Consumo de Energía Eléctrica.....212
TABLA 6.8 Costos de Sueldos.....213

# ÍNDICE DE PLANOS


| | |
|---|---|
| PC – DG - 01 | Distribucion General |
| PC – CORT – 02 | Distribucion General ( Corte G – G ) |
| PC – CORT – 03 | Distribucion General ( Corte F – F ) |
| PC – CORT – 04 | Distribucion General ( Corte H – H ) |
| PC – EDF – 05 | Edificio |
| PC – CORT – 06 | Edificio – Equipos ( Corte A – A ) |
| PC – CORT – 07 | Edificio – Fuerzas ( Corte A – A ) |
| PC – CORT – 08 | Edificio – Equipos ( Corte B – B ) |
| PC – CORT – 09 | Edificio – Fuerzas ( Corte B – B ) |
| PC – CORT – 10 | Edificio – Equipos ( Corte C – C ) |
| PC – CORT – 11 | Edificio – Fuerzas ( Corte C – C ) |
| PC – CORT – 12 | Edificio – Equipos ( Corte D – D ) |
| PC – CORT – 13 | Edificio – Equipos ( Corte E – E ) |
| PC – CORT – 14 | Edificio – Fuerzas ( Corte E – E ) |
| PC – FLUJO – 15 | Flujograma del Proceso |
| PC – BT – 16 | Banda Transportadora BT – 1 |
| PC – BT – 17 | Banda Transportadora BT – 2 |
| PC – BT – 18 | Banda Transportadora BT – 3 |
| PC – DUCT – 19 | Sistema de Desempolvado |
| PC – CC – 20 | Circuito de Control |
| PC – TOLV – 21 | Tolva |
| PC – PIN – 22 | Pin Gate |

# INTRODUCCIÓN

Utilizar el carbón mineral como combustible industrial es una nueva alternativa de utilizar recursos más perdurables que el petróleo. El Proyecto Presentado cubre la parte de Transportación y Alimentación al molino donde va a ser pulverizado el carbón.

Dentro del Proyecto existen equipos que habrá que diseñar y otros que habrá que seleccionar. Para el diseño y selección de algunos equipos se utilizara softwares debidamente explicados en la bibliografía. Se realizaran planos con diversos cortes donde se detallaran la ubicación de los equipos y ubicación de las fuerzas causadas por esos mismos equipos

El Proyecto Termina haciendo un análisis de costos para cuando *todo* el proyecto transformación de carbón como combustible esté terminado determinar que tan rentable es el Proceso.

# CAPÍTULO 1

## 1. CARBON MINERAL

### 1.1 Definición y Clasificación

#### Definición

El carbón mineral es un combustible sólido de origen vegetal que se encuentra distribuido en más de 100 países, y su explotación y producción se debe a su elevado poder calorífico y abundancia. Está compuesto principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y cantidades menores de azufre, potasio, calcio y magnesio. En la figura 1.1. se muestra el carbón bituminoso obtenido de las minas.

**Figura 1.1. Carbón Mineral**

El carbón Mineral será dominante en el futuro debido a que es mas barato que el petróleo y el gas natural, y la “utilización" de fuentes renovables de energías tales como la energía solar y eólica son caras y difíciles de utilizar con eficiencia y dependientes de la fuente que es la naturaleza.

**Reservas**

El carbón mineral tiene un aproximado de 1 billón de toneladas en reservas totales accesibles mediante las tecnologías de explotación actualmente disponibles, lo que lo hace el combustible fósil más abundante en la tierra, en la figura 1.2. se observa que las mayores reservas (en millones de toneladas) se encuentran en Europa y Estados Unidos. Las reservas de carbón son aproximadamente 4 veces las reservas de petróleo.

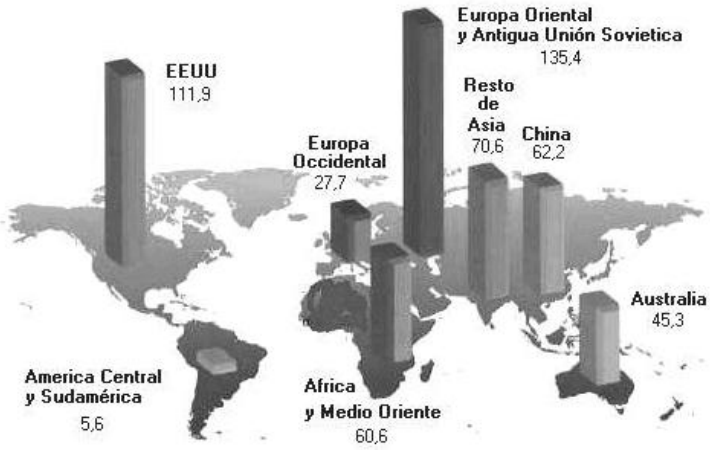



**Figura 1.2. Reservas Internacionales**

Los mayores depósitos de carbón están en América del Norte, Rusia y China, aunque también se encuentra en cantidades considerables en algunas islas del Ártico, Europa occidental, India, Africa del Sur, Australia y la zona este de América del Sur. Con el actual ritmo de consumo se calculan reservas de carbón para mas de 300 años.

**Proyecciones**

La continua importancia del carbón para impulsar el crecimiento económico es resaltada por el hecho de que la participación del carbón en la generación de electricidad en Asia creció del 26% en 1980 al 42% en 1992 y se proyecta que crezca un 54% en el año 2010. Se estima que la capacidad de generar electricidad con carbón en Asia se multiplique

por más de 3 entre los años 1992 y 2010, lo que equivale a una tasa de crecimiento superior a 20.000 MW por año durante este período.

La diversidad y abundancia de las reservas de carbón asegura que se cuente con energía por varios siglos. Se pronostica que una vez que las reservas económicas de petróleo y gas se hayan agotado ( 50 y 70 anos respectivamente), habrá todavía muchas reservas de carbón ampliamente disponibles para satisfacer las necesidades de energía del mundo. El carbón puede también atender el desafío económico de producir energía para las industrias y hogares a un costo razonable y con la debida atención al medio ambiente. No existe en el futuro previsible ninguna alternativa práctica, distinta al carbón, que permita generar la electricidad adicional que requiere la mayor parte de los países en desarrollo, para su crecimiento económico y para mejorar sus estándares de vida[4].

**Principales Países Productores de Carbón.**

En 1998 se produjeron mundialmente 3.656 millones de toneladas[1] (MMton) de carbón bituminoso, de las cuales más de la mitad fueron utilizadas para generar electricidad. Los principales diez productores de carbón fueron:

República Popular China, EEUU, India, Sudáfrica, Australia, Ex URSS, Polonia, Ucrania, Kazakhstan e Indonesia. En la figura 1.3 se observa que la República Popular China y Estados Unidos son los principales productores de carbón a nivel mundial en 1996.

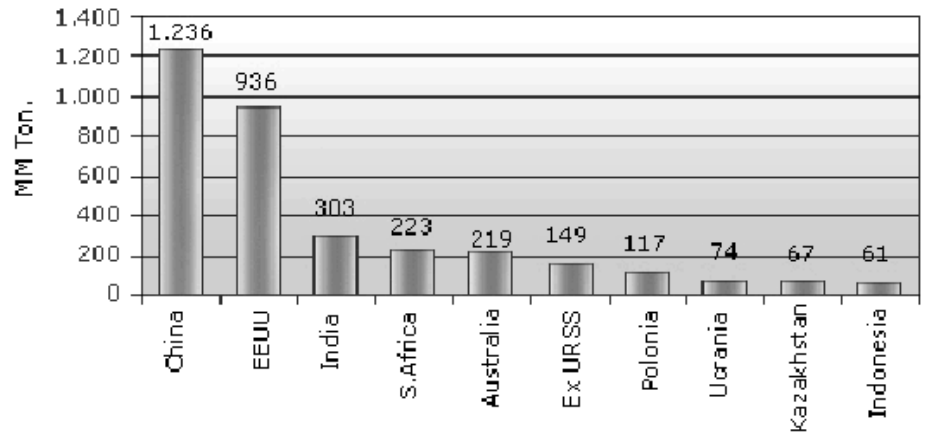



**Figura 1.3. Países Productores de Carbón en el 2000**

**Usos del Carbón**

El carbón como fuente energética satisface mercados muy diversos: generación eléctrica, fabricación de acero, fabricación de cemento, y variados procesos industriales de calentamiento. La Tabla 1.1 muestra la utilización y precios del carbón para los Estados Unidos. La figura 1.4. muestra los diferentes usos de las 3.762 MMton de carbón bituminoso producidas durante 1996.

**TABLA 1.1**

**UTILIZACION Y PRECIOS DEL CARBON EN ESTADOS UNIDOS**

| AÑO | PRODUCCION ENERGETICA | | | PRODUCCION DE COKE | | | OTRAS INDUSTRIAS | | | TOTAL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INGRESO (TON) | PORCENTAJE % | Costo Promedio por ton | INGRESO (TON) | PORCENTAJE % | Costo Promedio por ton | INGRESO (TON) | PORCENTAJE % | Costo Promedio | INGRESO (TON) | Costo Promedio por ton |
| 2002 | 884,287 | 90.17 | $25.52 | 23,655 | 2.41 | $51.27 | 68,271 | 6.96 | $33.39 | 980,658 | $26.64 |
| 2001 | 762,815 | 75.09 | $24.68 | 26,384 | 2.60 | $46.42 | 71,696 | 7.06 | $32.26 | 1,015,9 | $25.95 |
| 2000 | 790,274 | 78.20 | $24.28 | 28,720 | 2.84 | $44.38 | 64,205 | 6.35 | $31.46 | 1,010,6 | $25.43 |
| 1999 | 908,232 | 85.78 | $24.72 | 28,155 | 2.66 | $45.85 | 64,824 | 6.12 | $31.59 | 1,059 | $25.74 |
| 1990 | 786,627 | 86.30 | $30.45 | 40,736 | 4.47 | $47.73 | 77,455 | 8.50 | $33.59 | 911,543 | $31.50 |

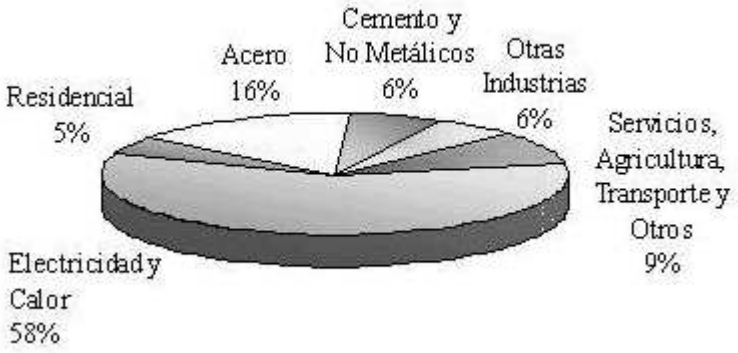



**Figura 1.4. Principales Usos del Carbón**

**Industria del Cemento**

La mayoría de las plantas productoras de cemento del mundo emplean carbón como combustible en sus hornos de producción de clinker.

**Industria Eléctrica**

Para la generación Eléctrica industrial se necesita de algún combustible para producir vapor. El carbón como combustible debe ser pulverizado para mejorar su poder calorífico, incrementar su área superficial en el horno y obtener un mejor rendimiento de la combustión. Actualmente, más de la mitad de la producción mundial de carbón suministra el 37% de la electricidad mundial. Existen muchos países son altamente dependientes del carbón para la generación de su electricidad: Polonia

(97%), Sudáfrica (93%), Australia (85%), China (80%), India (75%), República Checa (74%), Grecia (71%), Dinamarca (67%) y EEUU (57%).

**Industria del Acero**

La producción mundial de acero es actualmente de alrededor de 790 MMton por año y se espera un incremento constante. Casi el 70% de la producción total se basa en la fundición de mineral de hierro en altos hornos, los cuales necesitan mineral de hierro, coque, pequeñas cantidades de caliza para la elaboración del acero, además de utilizar el carbón pulverizado o granulado como combustible.

**Clasificación**

Los Carbones se clasifican según su grado de metamorfismo, las presiones y temperaturas de su formación. Cuanto más altas son las presiones y temperaturas, se origina un carbón más compacto y rico en carbono y con mayor poder calorífico. La tabla 1.2. indica las clases de carbono que existen con su respectiva subdivisión.

**TABLA 1.2.**

**CLASIFICACION DEL CARBON POR GRADO**

| CLASE | GRUPO |
|---|---|
| Antracítico | Metaantracita<br>Antracita<br>Semiantracita |
| Carbón Bituminoso | Bituminosos bajo en volátiles.<br>Bituminosos medio en volátiles.<br>Bituminosos A alto en volátiles.<br>Bituminosos B alto en volátiles.<br>Bituminosos C alto en volátiles |
| Subbituminoso | Subbituminosos A<br>Subbituminosos B<br>Subbituminosos C |
| Lignitico | Lignítico A<br>Lignítico B |

El Lignito es el carbón de peor calidad, tiene una capacidad calorífica baja debido a gran contenido de agua (43.4%) y bajo contenido de carbono ( 37.8%). El alto contenido de materia volátil de 18.8% provoca su desintegración rápida cuando esta expuesto al aire.

Los Carbones SubBituminosos no se pueden transformar en coque y se utilizan en las centrales Carbo eléctricas, posee un porcentaje de carbono entre 55 – 60 %.

El carbón Bituminoso posee un contenido de carbono y poder calorífico mayor al lignito. Se lo utiliza en las plantas de producción de energía. Está impregnado de sustancias bituminosas de cuya destilación se obtienen hidrocarburos aromáticos y un tipo de carbón muy usado en

siderurgia llamado coque, pero también contiene elevadas cantidades de azufre que es fuente contaminación del aire.

La antracita posee alto porcentaje de carbono ( 85 – 90%) , alto poder calorífico y es poco contaminante. La presión y Calor adicionales pueden transformarlo en grafito.

## 1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

### Composición

El carbón Bituminoso esta compuesto en su gran mayoría por Carbono, aunque también posee otros elementos como el azufre. El carbón con elevado contenido de azufre se oxida más rápido que uno con menos contenido. En la figura 1.5. se observa que la cantidad máxima presente en un carbón bituminoso es el carbono, además posee un elevado porcentaje de azufre (3%).

**Composición del Carbón Bituminoso**

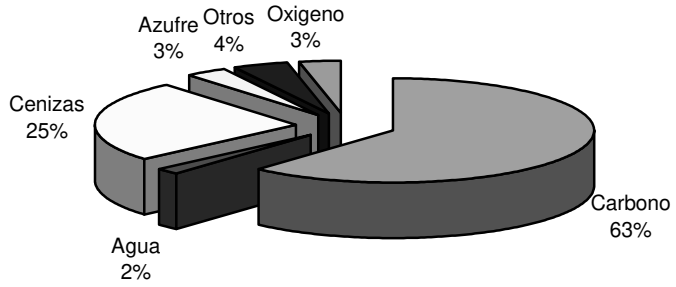



**FIGURA 1.5. Composición del Carbón Bituminoso**

**Indice de Hinchamiento Libre (FSI).**

Muestra el grado de inflación del carbón cuando se quema o gasifica en un lecho fijo o fluidizado. Cuando el índice es mayor que cuatro, el carbón causa problemas en los lechos.

**Indice de Molturabilidad Hardgrove ( HGI )**

Muestra la dificultad o facilidad para moler el carbón. Para medir esta molturabilidad se utiliza la maquina Hardgrove, la cual relaciona el carbón de prueba con un carbón normalizado, al que se le asigna un valor de 100 de molturabilidad, es decir, con un índice mayor a 100, se puede moler el carbón con mayor facilidad que el carbón normalizado; el

carbón bituminoso tiene una dureza relativa de 50, lo que significa que será mas difícil de pulverizar.

**Densidad**

Debido a que no hay dos carbones iguales, la densidad del carbón varia según el tamaño, contenido de humedad y capacidad de asentamiento del carbón cuando se encuentra amontonado. La tabla 1.3 indica las densidades promedios de los tipos de carbones.

**TABLA 1.3.**

**DENSIDADES DE LAS DIFERENTES CLASES DE CARBONES**

| Clase de carbón | $Kg/m^3$ | $lb/ft^3$ |
|---|---|---|
| Antracita | 800 – 930 | 50 –58 |
| Bituminoso | 670 – 910 | 42 – 57 |
| Lignito | 640 – 860 | 40 –54 |

[4]Perry, Manual del ingeniero Químico, capitulo 27

**Estabilidad de Tamaño**

Es la capacidad del carbón para resistir roturas durante el manejo o transportación. El carbón mientras más sea comprimido, menos riesgos de ignición espontánea se tienen debido a que la compresión reduce la posibilidad de circulación del aire en la tolva y así de oxidación. La

estabilidad se la obtiene en porcentajes; el método empírico es dejando caer dos veces una muestra de carbón de 22.7 Kg desde una altura de 1.83m sobre una placa de acero y se analiza la distribución de tamaños antes y después del impacto, obteniéndose el porcentaje de estabilidad.

**Calor Especifico**

El Calor Especifico al igual que la densidad va a variar mucho con el contenido de agua y las cenizas; siendo así que, las relaciones entre el calor especifico y el contenido de agua y entre el calor especifico y el contenido de cenizas son lineales. A continuación en la tabla 1.4. se muestra el Calor Especifico de carbón seco libre de cenizas.

**TABLA 1.4**

**CALOR ESPECIFICO**

| Clase de Carbón | KJ/(kg.K ) | BTU/(lb.$^0$F ) |
|---|---|---|
| Antracita | 0.92 – 0.96 | 0.22 – 0.23 |
| Bituminoso | 1.0 – 1.1 | 0.24 – 0.25 |

[4]Perry, Manual del ingeniero Químico, capitulo 27

**Poder Calorífico y Porcentaje de Carbono por Categoría**

"El poder calorífico se considera sobre base húmeda y el carbono fijo sobre base seca. Los carbones de categorías mas bajas (menos eficientes) se clasifican según su poder calorífico sobre base húmeda libre de material mineral"[(2)]. La tabla 1.5 indica el poder calorífico y el porcentaje de carbono de las diferentes clases de carbones minerales. Para Clasificar los carbones se utilizan las siguientes formulas:

$$F' = \frac{100\ F}{100 - ( M + 1.1A + 0.1S )}$$

$$Q' = \frac{100\ F}{100 - (1.1A + 0.1S )}$$

Donde M, F, A y S son porcentajes en peso sobre base húmeda, carbono fijo, de ceniza y azufre. Estas ecuaciones nos dan los porcentajes en peso sobre base seca libre de material mineral de carbono fijo ( F' ) y los poderes caloríficos en BTU/h sobre base húmeda libre de materia mineral ( Q').

**TABLA 1.5.**

**CLASIFICACION DE LOS CARBONES POR CATEGORIAS**

| Clase | Limites de Carbono fijo ( base seca y libre de ganga ) % | | Limites de materia volátil ( base seca y libre de ganga ) % | | Limites de Poder calorífico bruto ( húmedo y libre de ganga ) MJ/kg | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Igual o mayor que | Menor que | Igual o menor que | Igual o menor que | Igual o mayor que | Menor que |
| Antracitas: | | | | | | |
| Metaantracita | 98 | ---- | --- | 2 | | |
| Antracita | 92 | 98 | 2 | 8 | | |
| Semiantracita | 86 | 92 | 8 | 14 | | |
| Bituminosos: | | | | | | |
| Bituminosos bajo en volatiles. | 78 | 86 | 14 | 22 | | |
| Bituminosos medio en volatiles. | 69 | 78 | 22 | 31 | | |
| Bituminosos A alto en volatiles. | --- | 69 | 31 | | 32.6 | |
| Bituminosos B alto en volatiles. | | | | | 30.2 | 32.6 |
| Bituminosos C alto en volatiles. | | | | | 26.7 | 30.2 |
| Subbituminosos: | | | | | | |
| Subbituminosos A | | | | | 24.4 | 26.7 |
| Subbituminosos B | | | | | 22.1 | 24.4 |
| Subbituminosos C | | | | | 19.3 | 22.1 |
| Lignitos: | | | | | | |
| Lignito A | | | | | 14.7 | 19.3 |
| Lignito B | | | | | | 14.7 |

## 1.3. PROCESAMIENTO

El proceso industrial para utilizar el carbón mineral como combustible consta de cuatro etapas como son: Recepción y Almacenamiento, Transporte y Alimentación, Molienda del Carbón y Dosificación.

### RECEPCION Y ALMACENAMIENTO

El proceso Comienza con la recolección del carbón mineral de las minas, luego el carbón es transportado en camiones hacia los parques de almacenamiento, donde se descarga el material sobre las tolvas de recepción y se disponen en parvas separadas mediante un equipo apilador que puede ser rectangular o circular (ver figura 1.6). La reserva de carbón estará relacionada con la capacidad del parque; por ejemplo, si la capacidad del parque es de 100.000 ton; entonces se tendrá una reserva aproximada de 40 días. En las pilas de carbón hay sensores de temperatura cada 3 metros para evitar una posible auto ignición.

### TRANSPORTE Y ALIMENTACION AL MOLINO

El material que sale de la nave de almacenamiento, llega a la primera banda que traslada el material 500m, luego pasa a una segunda banda

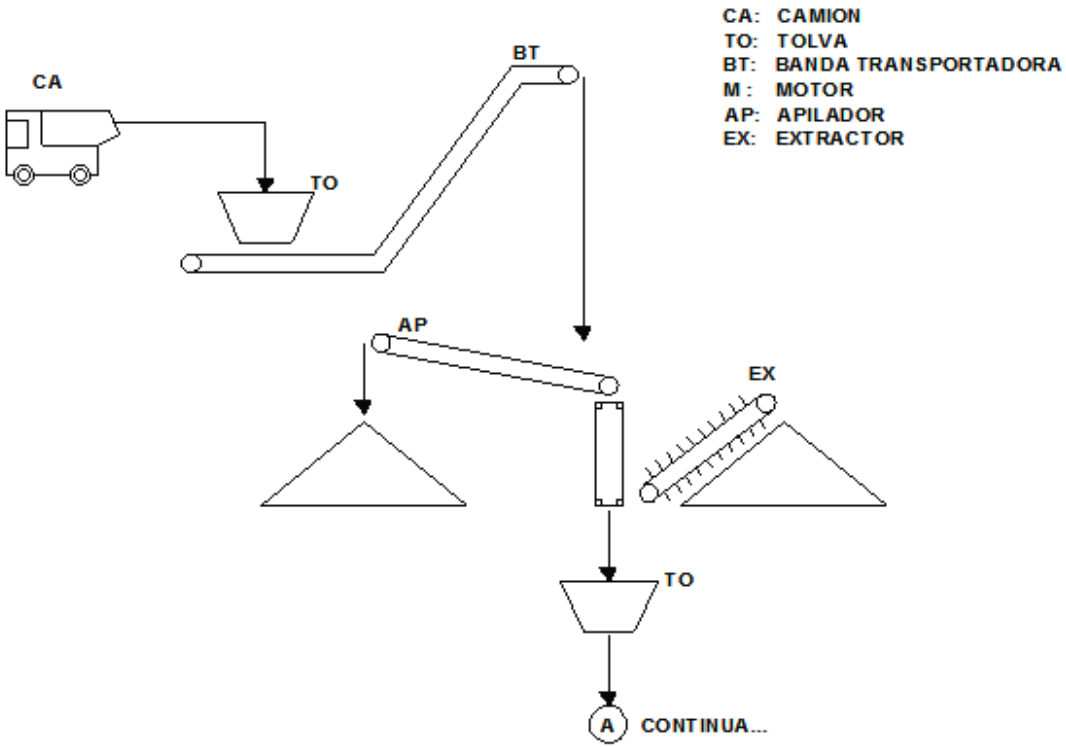



**FIGURA 1.6. Proceso de Recepcion y Almacenamiento**

que lo lleva hasta el edificio donde se lo deposita en la tolva; luego cae en una banda transportadora que lleva el material por un sistema de desempolvado, separador de metales y detector de metales; así el carbón esta listo para ir a la molienda para su pulverización. La figura 1.7 muestra un esquema del proceso.

**MOLIENDA DEL CARBON**

El molino tiene incorporado un sistema de secado para disminuir la humedad al 2% del carbón. El aporte de energía para el secado de la mezcla se realiza por un calentador operado con gas natural y vapor del proceso de gasificación. El combustible pulverizado resulta con una granulometría entre 12-26% para la fracción superior a 70 micras. La figura 1.8 muestra un esquema del Proceso.

**DOSIFICACION DEL CARBON**

El polvo de carbón pasa a un dosificador, el cual regula mezcla exacta entre el carbón pulverizado y el aire para que se produzca una combustión eficiente. La Figura 1.9 muestra el esquema del proceso.

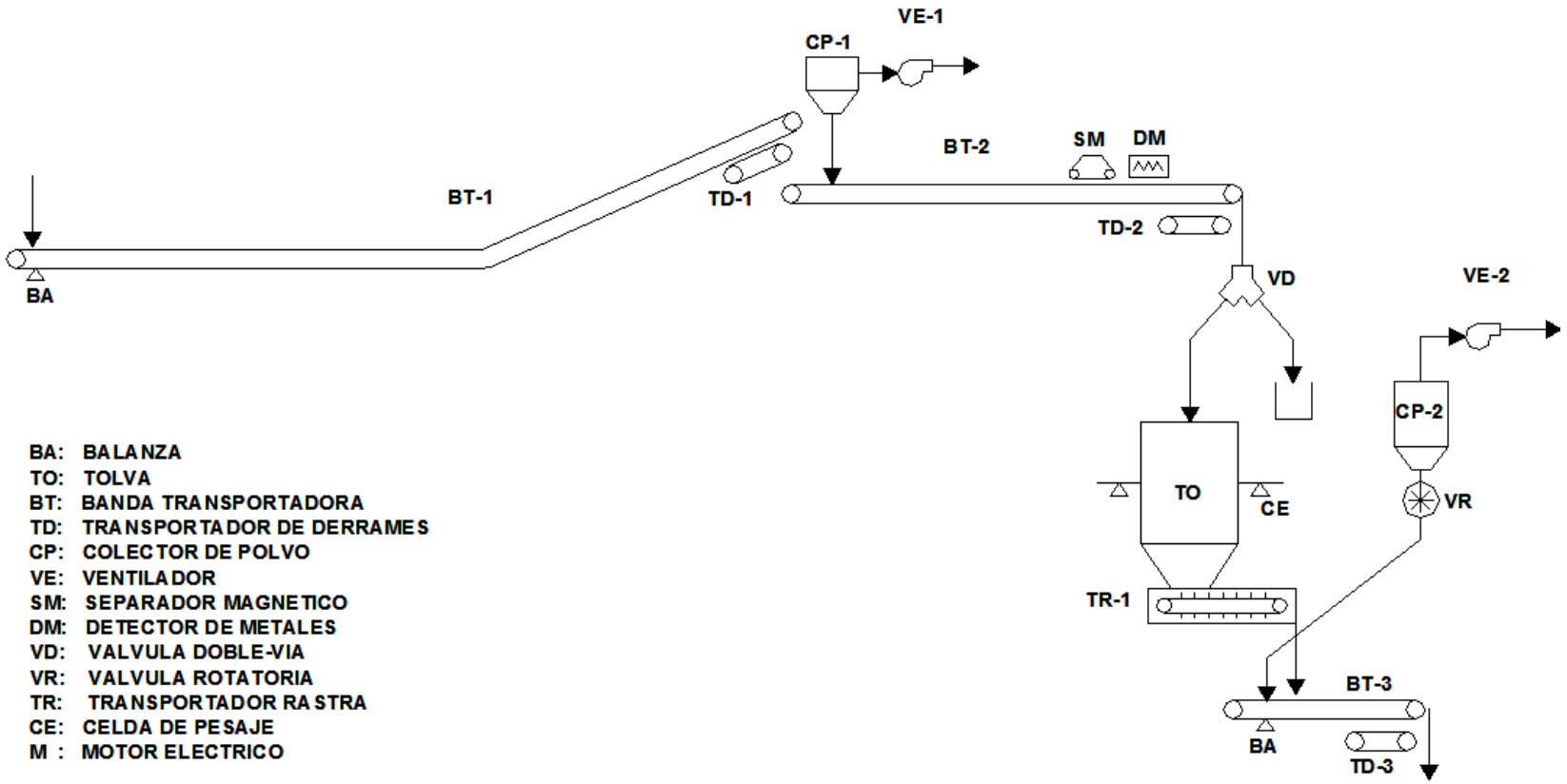



**Figura 1.7. Esquema del Sistema de Transporte y Alimentación.**

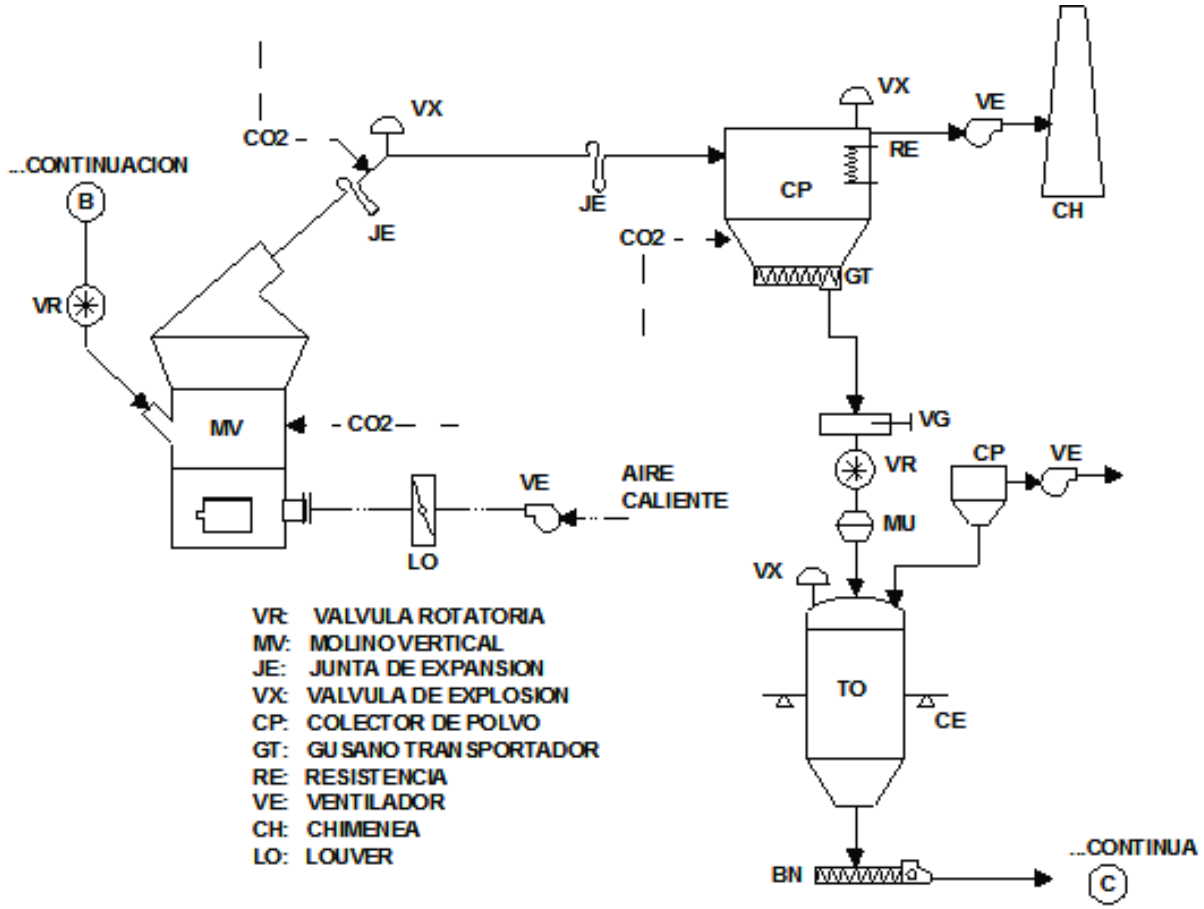



**Figura 1.8. Esquema del Sistema de Molienda.**

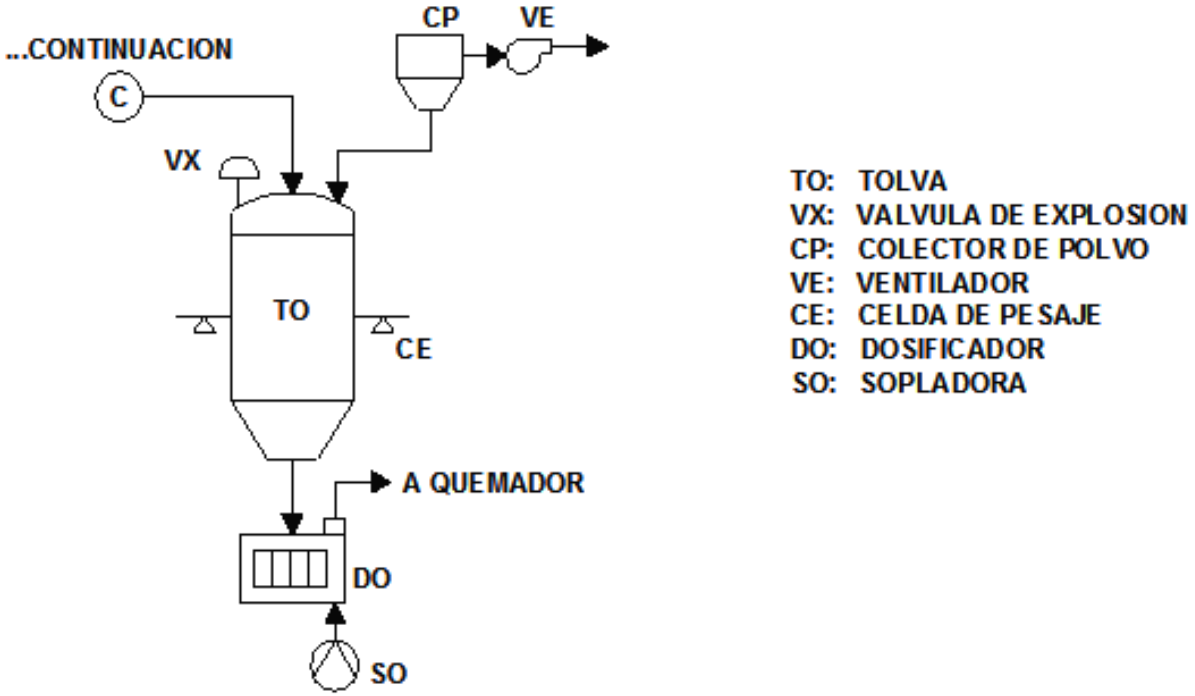



**Figura 1.9. Esquema del Sistema de Dosificación.**

## 1.4. NORMAS PARA EL TRANSPORTE Y MANIPULEO.

### Fuentes de Emisión de Polvo

La generación de polvo se produce por el almacenamiento, transporte y principalmente de la molienda del carbón donde sale el material particulado del tipo PST[1]. Se identificaron los principales fuentes de emisión de acuerdo a los factores de emisión establecidos por EPA, apartado 42. En la tabla 1.6 se muestran los procesos donde se genera el mayor volumen de partículas, observándose que el proceso de transportación es una fuente potencial de contaminación de polvo.

**TABLA 1.6**

**FACTORES DE EMISION DE MATERIAL PARTICULADO**

| PROCESO | PST Gr/unidad | Unidad |
|---|---|---|
| Descarga | 0.50 | Kilogramos de polvo procesado |
| Carga | 0.15 | |
| Remoción de la Tolva | 1.40 | |
| Banda | 0.85 | |

[12] ALMACENADORA SUR S.A., Control de Ambientes Explosivos en terminales Graneleras,.

### Manejo del Polvo

Todo el polvo de carbón generado por movimientos en el manipuleo del carbón, en las bandas transportadoras y tolvas, debe ser ventilado

mediante extracción para evitar que los polvos se dispersen. Todo el polvo que se genera, debe ser removido rápidamente para prevenir la contaminación en el ambiente.

**Dispositivos de Limpieza del Aire**

Los ciclones, filtros y ductos deben ser diseñados y seleccionados de acuerdo a la cantidad, calidad y característica del polvo de carbón, y las condiciones del flujo de polvo determinaran el tipo de filtro o colector para cada aplicación. Los filtros están diseñados para remover el polvo menores a un grano por cada 1000 pies cúbicos de aire; los colectores están diseñados para cargas mayores provenientes de procesos industriales, las cargas varían de 0.1 a 20 granos por cada pie cubico de aire. [6]

**Filtros para el Polvo**

Debido a que una porción considerable de polvo se encuentra en los filtros, el riesgo de explosión en este sector va a ser grande. La diferencia entre la temperatura del gas a la salida del filtro y el punto de rocío debe ser mínimo $15^0$C para que no ocurra la condensación en el

filtro, para evitar esto, se debería pasar un flujo de aire caliente al filtro antes de iniciar el trabajo.

Los filtros poseen termo censores que tienen 2 alarmas, Max1 y Max2 y se activan cuando la temperatura esta a $5^0$C y $10^0$C por encima de la temperatura normal de operación. La alarma Max1 indica que los filtros deben ser revisados y la alarma Max2 indica un riesgo de incendio.

Se debe evitar la acumulación de polvo en el fondo de la tolva colocada en la parte inferior del colector. Si la temperatura en el fondo de la tolva es mas baja que su temperatura normal de operación; esto indica que existe un bloqueamiento en el fondo del polvo. Si la temperatura incrementa significativamente, entonces se esta produciendo un incendio en el filtro. El incremento estará acompañado por el crecimiento del monóxido de carbono.

En las tolvas de los colectores existen termo sensores que tienen 3 alarmas llamadas Min1, Max1 y Max2. La alarma Min1 se activa cuando la temperatura en el fondo de la tolva es menor a $10^0$C de la temperatura normal de operación, esto se debe a que existe un bloqueamiento en el fondo que reduce el flujo masico de salida. La alarma Max1 se activa cuando se llega a una temperatura de $70^0$C e indica que la tolva requiere

atención. La alarma Max2 se activa a $85^0$C e indica un alto riesgo de incendio[10].

**Características Explosivas**

El Polvo de carbón al mezclarse con el aire se convierte en una mezcla explosiva que necesita de una dispersión, temperatura y confinamiento para poder detonar. De la tabla 1.7 se observa que las partículas más pequeñas necesitan menor energía para su combustión, debido a que se encuentran más tiempo suspendidos en el aire.

**TABLA 1.7**

**CARACTERISTICAS DE EXPLOSIVIDAD(1)**

| Tamaño de partícula ( $\mu$ ) | Concentración mínima de explosión ( $gr/m^3$) | Temperatura mínima de combustión ($^0$C) | Indice minimo de severidad | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Primaria | Secundaria |
| < 74 | 110 | 645 | 3.71 | 6.47 |
| < 106 | 120 | 690 | 8.06 | 9.51 |
| < 150 | 150 | 670 | 2.52 | 2.26 |

Las explosiones se evitan cuando se cumplen las siguientes condiciones:

a) El contenido de polvo en la mezcla aire-polvo debe estar dentro del rango limite de explosión baja y alta, el cual a presión atmosférica es de

30 a 2000 gramos de polvo por metro cubico de aire respectivamente, con una alta presión, el rango se estrecha a 800 – 1000 gramos de polvo por metro cubico[4]. El riesgo explosión en aun mayor cuando el carbón esta seco y/o pulverizado.

b) La concentración de oxigeno en el aire no debe de ser mayor a 14%.

c) La dispersión hace que el polvo se dispersione rápidamente.

d) Evitar temperaturas elevadas en el ambiente de trabajo, además de chispas de impacto, chispas electrostáticas, herramientas eléctricas, procesos de oxi-acetileno y procesos de soldadura. Una carga de energía de 10 joules será suficiente para iniciar una explosión[7].

**Operación inerte**

La operación inerte significa que el aire que se encuentra en la tolva y en los colectores de polvos tiene una cantidad de oxigeno que esta bajo los limites para que no se pueda producir la ignición. El máximo porcentaje de oxigeno que puede existir en el carbón para que no se produzca una combustión es de 14%$O_2$[10]. Esta disminución del oxigeno se logra introduciendo aire caliente inerte como dióxido de carbono $CO_2$ y gas

nitrógeno $N_2$ a través del colector, el aire caliente también ocasionara que aumente la temperatura del polvo, por lo que se debe utilizar separadores húmedos; 2 kilogramos de $CO_2$ por metro cubico o un metro cubico de gas nitrógeno por metro cubico son estimados para que se produzca la inertizacion. La inyección del gas inerte no debe ser echo demasiado rápido para no activar la compuerta de presión de descarga[10].

**Ventiladores**

El nivel de ruido para los equipos no deben exceder 85dBA cuando este es medido a 1.5m de la fuente en condiciones normales. Todos los ventiladores deben ser dimensionados para motores de 1750 rpm a menos que se indique lo contrario, pero no deben exceder de 2000 rpm.

**Banda Transportadora**

Las Bandas Transportadoras no deben tener una excesiva velocidad e inclinación debido a que se puede producir derrames, irregular carga y ancho inadecuado, falta de tensión de la banda y adherencias de material húmedo o mojado. La banda transportadora debe estar en buen estado de mantenimiento; si los rodamientos y el resto del mecanismo

no esta bien lubricado, podría causar un ignición en el área de trabajo. El deslizamiento entre el tambor y la banda generara calor y puede resultar en electricidad estática.

Todas las bandas deben ser de capacidad estándar debido al eventual requerimiento de utilizar bandas de un fabricante local como repuesto. Un factor de seguridad de alrededor de 1.6 debe ser aplicado para la selección de la banda[17].

**Tolva**

Aunque la tolva es un sitio de recepción y alimentación, existe la posibilidad de ignición en su interior; esto va a depender sobremanera del flujo másico del carbón, el contenido de materia volátil y el porcentaje de humedad del carbón; por esta razón, se debe inspeccionar la temperatura a la que se encuentra el polvo, siendo consideradas las temperaturas por encima de $50^0$C como criticas, y como probable una ignición espontánea a $70^0$C[7]. Si la temperatura aumenta a esos valores, el carbón debe ser rápidamente sacado de la tolva y rociado con agua. Si la temperatura en el fondo de la tolva es menor que la temperatura normal de operación en el mismo fondo, entonces, existe un bloqueamiento del carbón en el fondo que reduce el flujo masico de

salida. Si la temperatura esta incrementándose, esto es indicio de un incendio.

La tolva se debe colocar lo mas cerca de las bandas transportadoras como lo permitan las normas, para así reducir el impacto de caída del carbón en las bandas lo que causa levantamiento de polvo y si el carbón esta muy seco podría causar una inflamación; por esta misma razón, se debe tratar de mantener la tolva siempre llena para reducir la "altura de caída" y el volumen donde los gases puedan acumularse.

La tolva se encuentra equipada con termo sensores en su parte superior e inferior. Los censores tienen 2 niveles alarmas: Max1 y Max2 Max2 y se activan cuando la temperatura esta a $5^0$C y $10^0$C por encima de la temperatura normal de operación. La alarma Max1 indica que los filtros deben ser revisados y la alarma Max2 indica un riesgo de incendio.

**Tamaño de las partículas**

El riesgo de explosión tiene una gran dependencia del tamaño de las partículas de carbón, esto se debe a que mientras las partículas sean más pequeñas va a aumentar la dispersión y disminuir la humedad, y así requerir menos energía para provocar una explosión. Partículas de

carbón bituminoso que pasen a través de una malla #20 ( 1000μ ) pueden ser causa de explosiones; debido a que el sistema de pulverización reduce el carbón a tamaños de partículas donde mas del 85% pasan por mallas #200 ( 74μ ), el riesgo de explosión aumenta aun mas.

**Cantidad**

La concentración mínima de explosión MEC para el polvo de carbón bituminoso es aproximadamente de 100gramos por metro cubico, es decir 25000 veces mayor que la concentración de polvo respirable expuesto en 8 horas de trabajo. La presencia de otro gas o polvo inflamable puede bajar el MEC del carbón, con lo cual se incrementaría el riesgo de explosión. El riesgo puede ser disminuido añadiendo ceniza, gas inerte, piedra caliza y otros materiales inertes.

**Calor**

El calor para que produzca un incendio o explosión puede presentarse en forma de temperatura o energía. La energía mínima para que ocurra la combustión es de 0.06 Joules. El incremento de la temperatura es el resultado de una reacción química entre la materia volátil y el aire

atmosférico, por esta razón el acceso de aire debe de ser limitado tanto como sea posible; en espacios cerrados, se debe inyectar gases inertes. Si suficiente oxigeno procedente del aire atmosférico es admitido dentro del recinto ( apilador, silo, tolva, colector de polvo, etc ) existirá un alto riesgo de incendio[5].

La temperatura de ignición de la nube de polvo de carbón disminuye con el incremento de la razón de volatilidad; para un elevado contenido de volatilidad la temperatura de ignición de la nube de polvo de carbón se acerca a $440^0$C; también la temperatura de ignición del polvo de carbón disminuye mientras menor sea el tamaño de las partículas. La temperatura de ignición de una capa de polvo de carbón puede llegar a ser tan baja como $160^0$C, debido a que la capa de polvo absorbe y mantiene mas rápidamente el calor. La temperatura de ignición para el carbón antes de ser pulverizado es de $620^0$C.

**Compresión**

El carbón mientras más sea comprimido, menos riesgos de ignición espontánea se tiene debido a que la compresión reduce la posibilidad de circulación del aire en la tolva y así de oxidación.

**Razón de Volatilidad**

El carbón emite materia volátil que combinada químicamente con el aire atmosférico da como resultado gases combustibles. El contenido de componentes volátiles depende del tipo de carbón utilizado; el carbón con elevada cantidad de gas se enciende mas fácilmente que uno con menos contenido. La razón de volatilidad indica la cantidad de materia volátil que se encuentra en una muestra de carbón, una cantidad mayor a 0.12 representa un riesgo de explosión. El carbón Antracita tiene una razón de volatilidad menor al 12% y no se enciende espontáneamente, aun bajo malas condiciones de almacenamiento. El carbón Bituminoso que tiene una razón de volatilidad entre 15 – 40 % puede encenderse espontáneamente después de un prolongado almacenamiento. El carbón lignitico posee un elevado contenido de gas ( sobre 40%), por esta razón, se enciende relativamente rápido cuando es almacenado.

**Dispersión**

Cuando el polvo se encuentra dispersado dentro de un recinto confinado, solo se necesita una pequeña cantidad de energía para producir la explosión. La velocidad y duración del aire en una explosión es capaz de dispersar polvo adicional procedente de equipos cercanos. En la mayoría

de explosiones de polvo de carbón la velocidad de aire es mayor a 320 km/h. La presión máxima de explosividad es de 400 Kpa y la tasa máxima de presión es de 16Mpa por segundo, es decir, que cuando en un confinamiento, la presión llegue a 400Kpa, se dispondrá de solo 0.025 segundos para accionar un sistema de alivio de presión.

## 1.5. COMPARACION CON OTROS COMBUSTIBLES.

Las reservas probadas, probables y posibles que existen en Estados Unidos para los principales combustibles se muestran en la tabla 1.8:

**TABLA 1.8.**

**RESERVAS DE COMBUSTIBLES EN ESTADOS UNIDOS**

| Combustible | Reservas Probadas $10^{21}$ Joule | Reservas Probables $10^{21}$ Joule | Reservas Posibles $10^{21}$ Joule |
|---|---|---|---|
| Carbón | 7.3 | ------- | 110 |
| Petróleo | 0.15 | 0.31 | ------ |
| Gas Natural | 0.19 | 0.43 | ------ |

### Contenido Energético de los principales Combustibles.

El contenido energético indica la cantidad de energía que se produce para cierta cantidad de masa o volumen de combustible. En la tabla 1.9

se muestran el poder calorífico de los combustibles fósiles, donde el Petróleo es el combustible fósil que mas contenido energético posee; y en la figura 1.10 se indica la participación de los Combustibles para la generación de energía.

**TABLA 1.9.**

**PODER CALORIFICO DE LOS COMBUSTIBLES**

| Combustible | Poder Calorífico | Unidades |
|---|---|---|
| Carbón Bituminoso y Antracita. | 30.2 | MJ/kg |
| Carbón subbituminoso y Lignito. | 23.2 | MJ/kg |
| Petróleo Crudo. | 38.5 | MJ/lt |
| Líquidos procedentes de gas natural. | 25.2 | MJ/lt |
| Gas Natural. | 38.4 | MJ/lt |

[4] PERRY, Manual del Ingeniero Químico, capitulo 27

**Generación de energía Primaria por tipo de Combustible, 1998.**

En la generación mundial de energía primaria por tipo de combustible, para 1998 el carbón representó un 26,2%, se espera que para el 2010 la generación eléctrica producida por carbón alcance un 34%.

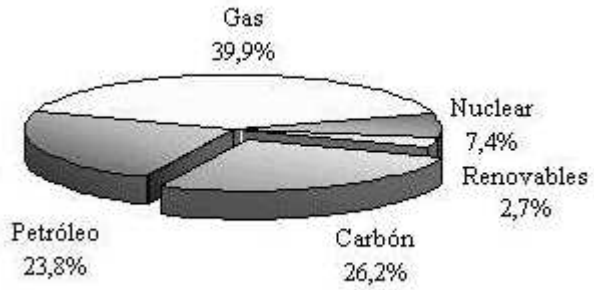



**FIGURA 1.10. Participación de los Combustibles para la generación de energía.**

**Reservas en La Región Andina**

Las Principales Reservas de Carbón mineral en la región Andina se encuentran en Colombia y Venezuela con aproximadamente 8 mil millones de toneladas en reservas de alta calidad. La producción de carbón en el año 2000 fue de 46 millones de toneladas y se estima una duración de las reservas de 171 años. En la tabla 1.10 se muestran la distribución de las reservas en la región Andina.

**TABLA 1.10**

**RESERVAS Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN MINERAL EN LA REGION ANDINA**

| PAÍS | Reservas Probadas | Producción | Reservas/Producción |
|---|---|---|---|
| | ($10^6$ Ton) | ($10^3$ Ton) | (años) |
| Bolivia | ---- | ---- | ---- |
| Colombia | 6,655 | 38,142 | 174 |
| Ecuador | 22 | ---- | ---- |
| Perú | 6 | 17 | 294 |
| Venezuela | 1,303 | 8,434 | 154 |
| Total | 7,986 | 46,593 | 171 |

[43] SIEE, Sistema de Información Económica Energética.

## 1.6. CONSIDERACIONES Y NORMAS AMBIENTALES.

El carbón y sus gases de combustión contribuyen al calentamiento global del planeta. El carbón produce mas dióxido de carbono por unidad de energía que el petróleo y el gas. Cada tonelada de carbón quemado libera mas de dos toneladas y media de dióxido de carbono al aire, por lo que hay que utilizar colectores de polvos para reducir estos contaminantes. La minería del carbón, el transporte y su combustión causan importantes problemas ambientales y tienen también consecuencias negativas para la salud humana. El daño que la combustión del carbón causa es mucho mayor cuando se usa combustible de mala calidad, porque las impurezas que contienen se convierten en óxidos de azufre y en otros gases tóxicos; estos óxidos expuestos al ambiente húmedo reaccionan con el agua para formar ácidos, los cuales producen la "lluvia ácida".

El polvo de carbón que se produce por el manipuleo del producto genera contaminación al ambiente de trabajo; según las normas ACGIH el TLV-TWA la concentración máxima que una persona puede respirar el polvo de carbón en un ambiente de trabajo es de 2 miligramos por cada metro cubico de aire ($2mg/m^3$) [(7)].

**Norma de calidad del aire ambiente**

En el ambiente de trabajo, el aire estará contaminado por el polvo que se produce en el momento del manipuleo del carbón, por lo que se debe ventilar el ambiente hasta que cada concentración de cada contaminante sea disuelta.

**Azufre**

El azufre se encuentra en el carbón de tres maneras: como piritas ($Fe_2S_2$), como azufre orgánico y como sulfatos. El azufre orgánico representa del 20 al 80% del azufre total, el azufre en sulfatos posee un porcentaje muy bajo en el carbón ( 0.03%). El contenido de azufre varia muchos y va desde 0.2 hasta 7% sobre base seca.

**Dióxido de Azufre**

El promedio aritmético de la concentración de $SO_2$ determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80 µg/$m^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350 µg/m 3), más de una vez en un año[(2)].

**Oxidos de Nitrógeno**

La norma de calidad del ambiente expresa que el promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno ( $NO_2$) en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/m 3 ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 µg/m 3 ) más de dos (2) veces en un año.

**Material particulado menor a 10 micrones (PM10)**

El promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m 3 ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 µg/m 3 ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

**Monóxido de carbono**

La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 horas, no deberá exceder diez mil

microgramos por metro cúbico (10 000 µg/m 3 ) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40 000 µg/m 3 ) más de una vez en un año.

**Niveles de Alerta, Alarma y de Emergencia.**

En la tabla 1.11 se definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia para la calidad del aire a condiciones de $25^0$C y 1 atmósfera.

**TABLA 1.11**

**NIVELES DE ALERTA, ALARMA Y EMERGENCIA**

| Contaminante y Periodo de Tiempo | Alerta | Alarma | Emergencia |
|---|---|---|---|
| Material Particulado PM10, Concentración en veinticuatro horas | 0.25 | 0.4 | 0.5 |
| Monóxido de Carbono, Concentración promedio en ocho horas | 15 | 30 | 40 |
| óxidos de Nitrógeno, concentración promedio en una hora. | 1.2 | 2.3 | 3.0 |
| Dióxido de Azufre, concentración promedio en veinticuatro horas. | 0.8 | 1.6 | 2.1 |

Todos los valores de concentración expresados en miligramos por metro cubico de aire (mgr/$m^3$).

[6] MINISTERIO DEL AMBIENTE, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria, Quito – Ecuador, diciembre 2002.

**Limites Permisibles de Emisiones al Aire para Fuentes fijas de Combustión.**

Las fuentes existentes evalúan su impacto en la calidad del aire mediante modelos de dispersión. El modelo de dispersión calcula la concentración esperada de contaminantes del aire a nivel del suelo, que se espera sean emitidos y se procederá a determinar si estas concentraciones calculadas cumplen o no con la norma de calidad de aire.

"Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica *(heat input*) sea igual o mayor a tres millones de vatios ($3 \times 10^6$ W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora ($10 \times 10^6$ BTU/h)"[3]. Debido a que "el Proceso de Molienda del Carbón" entrega al quemador un flujo masico de 30ton/horas de polvo de carbón y posee un contenido energético de 30.2 MJ/Kg, se obtiene una potencia calorífica de $9.06 \times 10^{11}$W, la cual es mayor a $3 \times 10^6$ W; por lo que se considera al este proceso como una "Fuente Fija Significativa"

Para las fuentes fijas que se determinen como fuentes significativas, éstas deberán demostrar cumplimiento con los límites máximos permisibles de emisión al aire, definidos en esta norma técnica en la tabla 1.12. Para esto, la fuente deberá efectuar mediciones de la tasa actual de emisión de contaminantes. Si los resultados fuesen superiores a los valores máximos permisibles de emisión, la fuente fija deberá entonces establecer los métodos o los equipos de control necesarios para alcanzar cumplimiento con los valores máximos de emisión estipulados en esta norma.(2)

**TABLA 1.12**

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTION.**

| Contaminante Emitido | Combustible Utilizado | Valor | Unidades |
|---|---|---|---|
| Partículas Totales | Sólido | 150 | $mg/Nm^3$ |
| óxidos de Nitrógeno | Sólido | 850 | $mg/Nm^3$ |
| Dióxido de Azufre | Sólido | 1650 | $mg/Nm^3$ |

[6] MINISTERIO DEL AMBIENTE, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria, Quito – Ecuador, diciembre 2002.

**Emisiones de dióxido de carbono.**

El carbono presente en el carbón mineral puede convertirse en emisiones de dióxido de carbono a partir de la combustión espontánea

en el almacenado y en los desechos, así como también en el consumo final. Un factor limitante para los cálculos de las emisiones de $CO_2$ es el desconocimiento del tiempo de almacenado de los carbones y lavado, como también de las pilas de desechos.

**Tecnologías para la limpieza del Carbón.**

Existen varios métodos para la limpieza del carbón y la depuración del azufre, oxido nitroso, etc.; entre los más eficientes y seguros están:

**Lavado del Carbón**

El azufre es una sustancia amarillenta que existe en pocas cantidades en el carbón, es aproximadamente del 1 al 10% del peso del carbón. Una forma de limpiar el carbón antes de que llegue a la planta de poder, es triturarlo en pequeños pedazos y luego lavarlo en tanques con agua; así se retira parte del azufre que tiene. El carbón flota en la superficie, mientras las impurezas del azufre por gravedad se acumulan en el fondo del tanque. Sin embargo, existen algunos azufres enlazados químicamente con el carbono del carbón llamados " azufres orgánicos".

**Limpieza de los gases de combustión.**

La mayoría de los depuradores cuentan con la “piedra caliza”. Esta sustancia se encuentra en forma de polvo después de haber sido triturada y procesada. Bajo las condiciones correctas, este polvo absorbe el azufre de los gases de combustión, impidiendo así, que estos salgan por la chimenea. El polvo de piedra caliza combinado con el azufre forman pasta parecida a la pasta de dientes.

**Separación del Oxido Nitroso del Carbón.**

El aire contiene gran cantidad de nitrógeno y carbono. Cuando el aire es calentado por encima de los $120^0$C, las moléculas de oxigeno se unen con las del nitrógeno para formar óxidos. Estos oxido también son formados de átomos de nitrógeno que pertenecen al carbón mineral. El oxido nitroso es un contaminante que causa la lluvia ácida. Para prevenir todo esto, se debe quemar el carbón en hornos donde halla mas combustible que aire in la cámara de combustión, bajo estas condiciones, la mayoría del oxigeno en el aire se combinara con el carbón y no con el nitrógeno. Luego, La mezcla de combustión es llevada a una segunda cámara de combustión donde un proceso similar es repetido, hasta que todo el carbón sea quemado.

# CAPÍTULO 2

## 2. SISTEMA PARA TRANSPORTE Y ALIMENTACION

### 2.1. TRANSPORTE

#### Separadores Magnéticos Autolimpiantes

Los separadores electromagnéticos y de imán permanente con sistemas autolimpiantes se emplean para separar automáticamente los materiales magnéticos de los no magnéticos (tierras de fundición, carbón, minerales, arcillas, residuos, productos alimenticios y otros) que circulan sobre cintas transportadoras, canales, conductos o similares con el objeto de proteger maquinarias o para obtener productos libres de impurezas magnéticas. Están constituidos por un bastidor, al cual se le ubica en el centro un potente electroimán. En los extremos se colocan los tambores motriz y conducido con transmisión por moto reductor y una cinta que circunda todo el equipo

para arrastrar el material atraído. El electroimán de corriente continua se construye con bobinas con conductor de aluminio aptas para operar servicio continuo. En la figura 2.1 se muestra el desempeño de un separador Magnético.

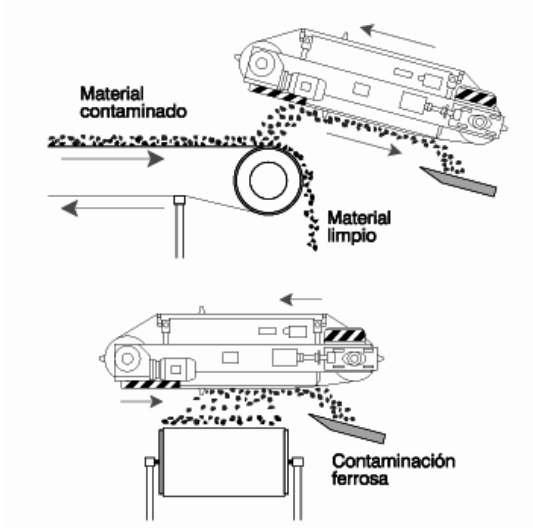



**Figura 2.1. Posiciones de Aplicación del Separador Magnético**

**Detector de Metales**

Detectan cuerpos metálicos de cualquier tipo y tamaño en materias primas o productos terminados. Es utilizado para proteger equipamientos alimentados por correas transportadoras, contra la presencia de objetos metálicos extraños que puedan estar mezclados con el material transportados. Por eso, el detector de metales debe de ser utilizado en el procesamiento del carbón. Cuando un objeto

metálico por encima de un cierto tamaño es hallado por la bobina detectora, instalada junto a la correa transportadora, el mismo comanda un relay que para la correa y da una señal al operador. La figura 2.2.  muestra un detector de metales.

**Figura 2.2. Detector de Metales**

Un detector de metales protege las instalaciones de gran tamaño a un costo que representa una pequeña fracción que puede ser causado por la inclusión de piezas metálicas, evitando grandes perjuicios por la paralización prolongada de la fábrica, por reparación de la máquina averiada. Asimismo representa indiscutibles ventajas sobre los separadores electromagnéticos, porque detecta partículas no ferrosas y la presencia de metales encastrados en el material transportado, que otros separadores magnéticos no consiguen imantar.

.

## 2.2 ALIMENTACION

### TRANSPORTADOR RASTRA

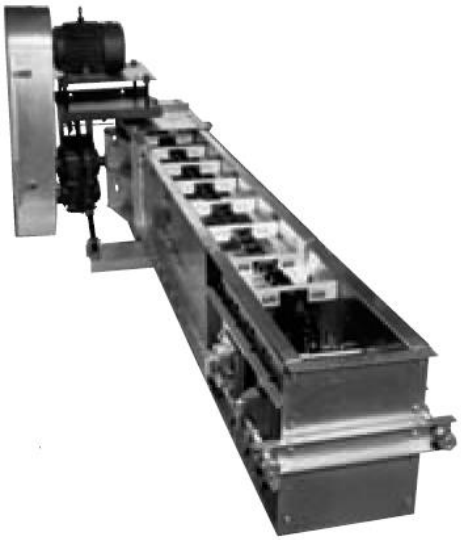


**Figura 2.3 Transportador de Rastra**

Para aplicaciones que requieren que el transportador permanezca limpio, se utiliza el transportador mostrado en la figura, es un transportador de rastras de fondo plano. Esto es particularmente importante cuando se quiere transportar grandes capacidades

El acero galvanizado hace el transportador resistente a la oxidación y a la corrosión lo cual disminuye gastos de mantenimiento. Las

cubiertas en forma de caballete permiten fácil deslizamiento del agua y reducen la acumulación de humedad. Diferentes capacidades son disponibles al combinar el tamaño de la artesa y la velocidad de la cadena. La cadena de alta resistencia y las paletas de polietileno UHMW reemplazables crean un movimiento de volumen en masa fluido donde hay poca fricción y no hay contacto de metal con metal. Los piñones de retorno de UHMW hacen que la operación de la cadena sea más lisa y uniforme. La cabeza de descarga tiene chumaceras esféricas de rodines y tensores ajustables; la cola en forma redonda; una tolva estándar; secciones intermedias con cubiertas en forma de caballete; piñones de retorno de UHMW; y cadena con paletas de UHMW. Accesorios opcionales incluyen tolvas con sobrepaso, y descargas adicionales con la misma forma de arco para la artesa con controles neumáticos o eléctricos. El juego de poleas y bandas de transmisión viene completo con cubierta. Los transportadores pueden operarse con cierto grado de inclinación en utilidades específicas. Las capacidades y caballaje del motor dependen de la inclinación.

**Banda Transportadora**

**Figura 2.4. Banda Transportadora**

Las Bandas Transportadoras pueden recorrer velocidades de hasta 5.08 m/s y manejar capacidades de hasta 5000 ton/h. La pendiente del transportador debe de estar dentro de un rango de 18 a $20^0$C y podría tener un máximo de hasta $30^0$C. Las Bandas Transportadoras no deben tener una excesiva velocidad e inclinación debido a que se puede producir derrames, irregular carga y ancho inadecuado de la

banda, falta de tensión de la banda, adherencias de material húmedo o mojado a la banda. Por cada 152 mm de aumento de la anchura de la banda, el tamaño de los carbones que puede transportar aumentara en 51mm. Posee un costo inicial de implementación mas elevado que otros tipos de transportadores.

En el sistema de transportación y alimentación al molino existen tres 3 transportadores de bandas que se utilizaran

**Transportador de Derrame**

El transportador de Derrame ( TD ) esta ubicado en la parte inferior de la Banda Transportadora. El TD posee vigas con perfil L las cuales se encarga de "recoger" el material que cae de la banda transportadora cuando esta descarga el material y comienza a retornar al tambor conducido.

En la descarga de BT-1 a BT-2 exitira un TD el cual llevara el material hacia BT-2; en la descarga de BT-2 a la Válvula Doble via exitira otro TD que llevara el material al chute ubicado antes de la Válvula doble via; y exitira otro TD en la descarga de BT-3 a la válvula rotatoria que

alimenta al molino vertical, este TD descarga el material en el chute que hay después de BT-3.

La capacidad que se requiere que tenga el transportador de derrame es el 5% de la capacidad de la Banda transportadora que se encuentra en la parte superior.

**Válvulas Rotatorias**

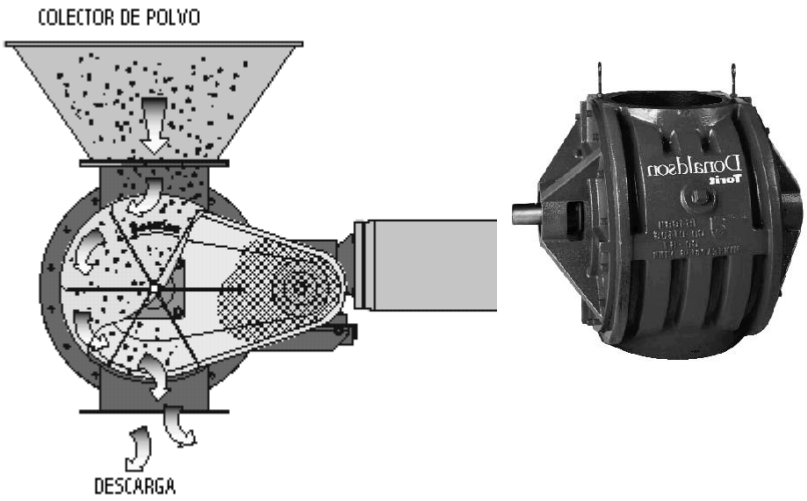



**Figura 2.5. Operación de una válvula rotatoria**
(16)DONALSON COMPANY, Filtración Industrial del aire, 2002

La integración de una válvula rotatoria con el colector crea un sistema completo que automática y continuamente transfiere polvo que se genera de la tolva al sistema de transportación. La válvula reduce el tiempo de espera y trabajo debido a que se encarga del manipuleo

del polvo sin que halla mano de obra de por medio, además, las válvulas rotatorias son diseñadas con un sello especial para mantener el polvo confinado y salvaguardar la eficiencia del colector. La figura 2.5 muestra el tipo de válvula rotatoria que se utilizara en el proyecto.

**Celdas de Pesaje**

Las celdas de pesaje se encargan se sensar la cantidad de carbón que se encuentra en la tolva; por lo que la tolva debe estar *apoyada* solamente sobre las celdas de pesaje y no debe haber equipos, accesorios, etc, que se apoyen a la tolva, porque modificarian el peso real de la tolva. Para nuestro proyecto se ultizarán 4 celdas. La figura 2.6 representa la celda de pesaje.

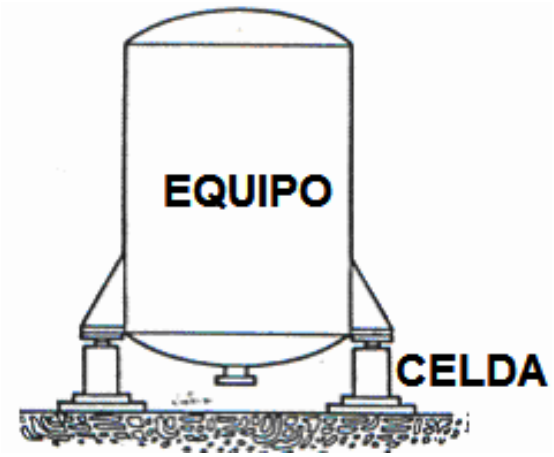



**Figura 2.6 Celda de Pesaje**

**Colector de Polvos**

El colector de polvos para la descarga de BT-1 a BT-2 es un Colector Donaldson Torit PJD con mangas compacto y tradicional para aplicaciones de volúmenes bajos. El colector PJD incluye un sistema de retiro de bolsas por la parte inferior que lo convierte en ideal para las aplicaciones en las que prácticamente no hay espacio superior; la figura 2.7 muestra un colector JPG típico. El Colector de Polvos para la descarga de BT-2 es un colector de polvo de cámara con bolsas Donaldson Torit HP; esta diseñado para aceptar volúmenes de aire entre intermedios y altos y caídas de la presión de funcionamiento a un nivel bajo. Menor inversión de capital y menos costos de instalación. Ofrece una relación aire-medio significativamente alta y, por lo tanto, un tamaño general del sistema mucho más pequeño.

**Figura 2.7 Colector de Polvos**

## 2.3. SISTEMA SELECCIONADO

El sistema comienza con la llegada del material a BT-1 el cual posee una balanza electrónica que censa la cantidad de material que esta ingresando a la Banda. Al final de BT-1 en la parte inferior posee un transportador de Derrame el cual evita que el material caiga al piso.

En la descarga BT-1 a BT-2 se coloca un colector de polvos de mangas. Al final de BT-2 existe un Separador Magnético y un detector de Metales. Existe una válvula doble vía al final de BT-2, la cual regularmente lleva el carbón hacia la tolva (la cual tiene 4 celdas de pesaje) donde se regula la salida de material mediante PIN GATES. El cae a un Transportador de Rastras el cual lleva el material hacia BT-3. La Figura 2.8 muestra la distribución de los equipos.

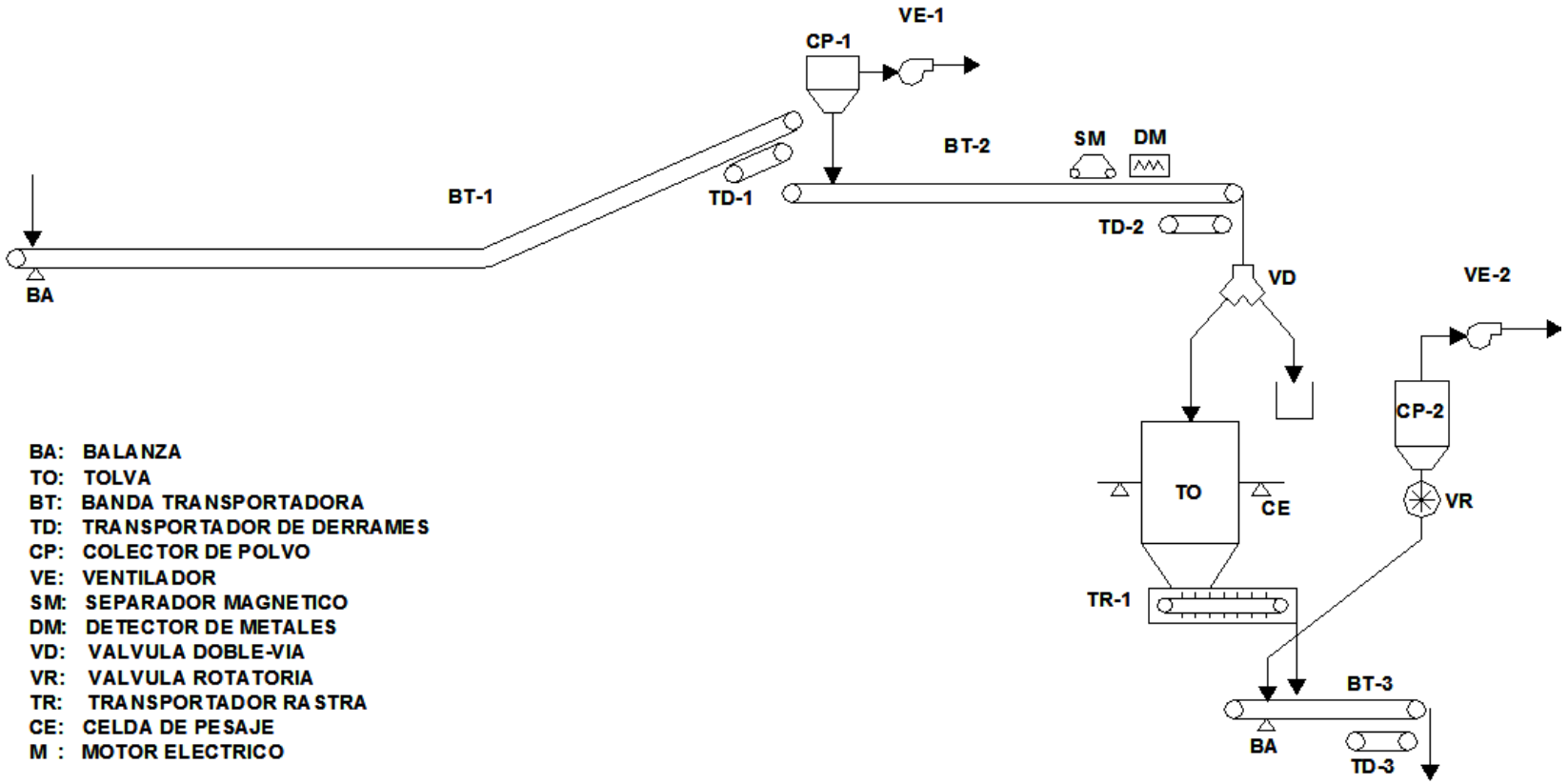



**Figura 2.8. Esquema del Sistema de Transporte y Alimentación.**

# CAPITULO 3

## 3. SISTEMA DE TRANSPORTACION

### 3.1. DESCRIPCION

El Proceso de Transportación comienza con la llegada del carbón a la Primera Banda Transportadora (BT-1) a razón de 80 ton/h (ver el plano PC-FLUJO-15), esta banda posee un sistema de pesaje (SP-1) para controlar la cantidad de carbón sacado de la nave de almacenamiento. La BT-1 lleva el carbón horizontalmente 320m y luego lo eleva 37m en una proyección horizontal de 180m tal como se muestra en los planos PC-CORT-02 y PC-CORT-03. El carbón cae a una Segunda Banda Transportadora (BT-2) que lleva horizontalmente el material 150m (como se observa en el plano PC-CORT-04) pasando a través de un Separador Magnético (SM) y un Detector de Metales(DM), para luego caer a una válvula doble vía cuya función es enviar los materiales metálicos “no-ferrosos” que el separador

magnético no capturó hacia un recipiente que se encuentra ubicado en el nivel cero del Edificio. Existe un sistema de desempolvado en la descarga del material de BT-1 a BT-2; además se ubican transportador de derrame en la parte inferior de las 2 bandas para recoger el material que cae al momento que la banda comienza el recorrido de retorno.

## 3.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

### 3.2.1. SISTEMA DE PESAJE

El sistema de pesaje (SP-1) de las Bandas transportadoras estará a cargo de balanzas electrónicas marca SCHENCK (Alemana), estarán ubicadas en la parte inferior de cada Banda y tendrán el mismo ancho que estas. Los parámetros que se deben entregar al proveedor para la selección de la Balanza son:

Ancho de la Banda transportadora: 24in (610mm)

Capacidad máxima de la Banda: 80 ton/h

Diámetro y Angulo de inclinación de los rodillos superiores:

$\phi$400mm, ángulo terna de 35°.

Material a Pesar: Carbón Bituminoso.

La figura 3.1 muestra la forma y dimensiones de la balanza

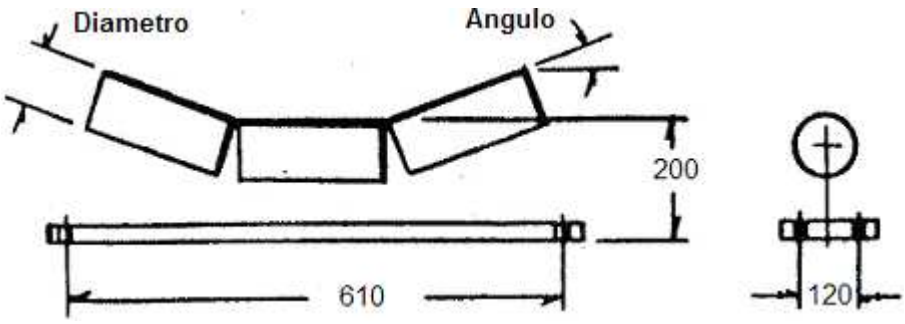



**Figura 3.1. Balanza para las Bandas Transportadoras**

### 3.2.2. BANDAS TRANSPORTADORAS

Para el Diseño de las Bandas Transportadoras se utilizara como herramienta técnica el Software HEBER 2002 desarrollado en la FIMCP-ESPOL[42]

**Diseño de Primera Banda Transportadora (BT-1)**

La Figura 3.2 indica esquemáticamente el recorrido de BT-1. Ingresando al Software las características del carbón Bituminoso que se muestran en la tabla 3.1, además, se ingresa la capacidad requerida de 80 ton/h, longitud horizontal de 320 m, la proyección horizontal de la distancia inclinada igual a 180m y la elevación de 37 m.

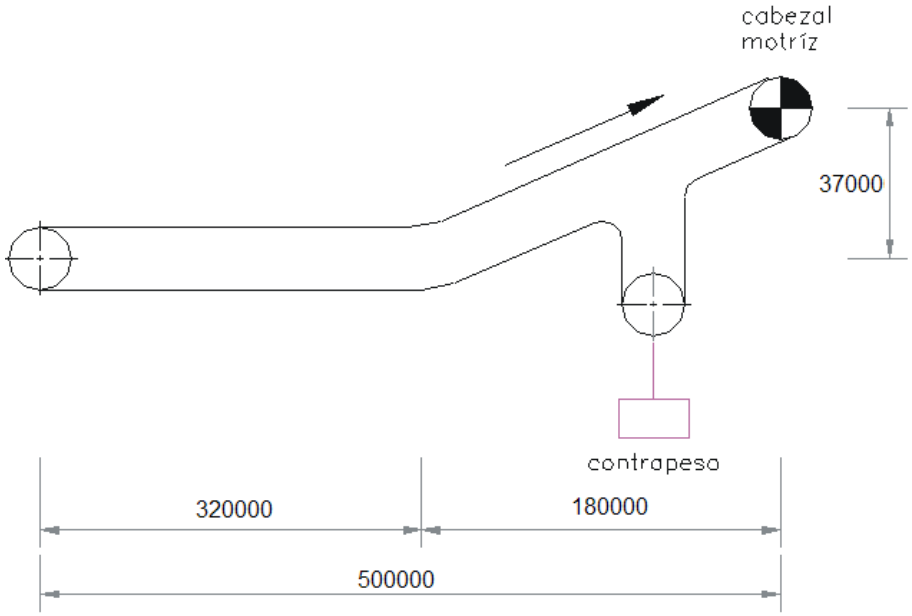



**Figura 3.2: Esquema de BT-1**

**TABLA 3.1**

**CARACTERISTICAS DEL MATERIAL**

| | | |
|---|---|---|
| Densidad Aparente | $kg/m^3$ | 800 |
| Angulo de Reposo | $^0$ | 45 |
| Angulo de Sobrecarga | $^0$ | $15^0$ |
| Angulo Máximo de Inclinación | $^0$ | $16^0$ |
| Temperatura Ambiente | $^0$ | $30^0$ |
| Abrasividad | | Moderada |
| Tamaño Máximo del carbón | mm | 50 |

Ancho de la Banda

El apéndice A indica que para un tamaño de terrón de 50mm el ancho mínimo debe de ser 400mm, por lo que se escoge un ancho de *610mm* que equivale a 24in, la cual es una medida

Standard para bandas transportadoras. Esto con el propósito de evitar cualquier posible derrame.

Velocidad de la Banda

El apéndice B muestra que para un ancho de Banda de 610mm y una densidad menor a 0.8ton/$m^3$ la velocidad máxima debe de ser 3.15m/s, por lo que se escoge una velocidad de *1.4 m/s*, con el propósito de generar la menor cantidad de polvo en el ambiente.

Tipo de rodillo Superior

El tipo de rodillos a utilizar son los de *Terna con un ángulo de inclinación de* $35^0$. En la figura 3.3 se indica la forma del rodillo superior.

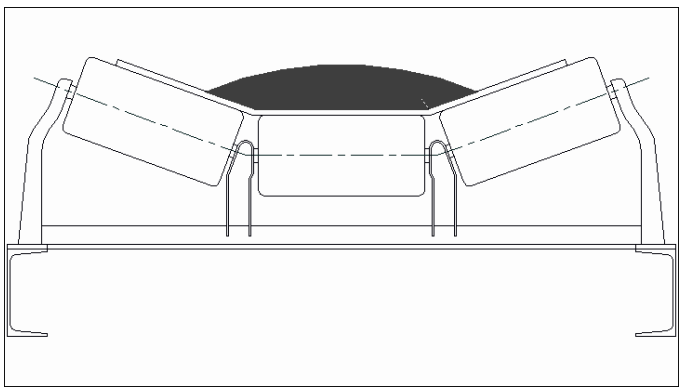


**Figura 3.3: Rodillo Terna $35^0$**

Con estos parámetros, obtenemos los siguientes resultados:

Capacidad máxima Calculada = 184.74 ton/h

Carga del material por metro de Banda = 16 Kg/m

Longitud total de la trayectoria (inclinada) = 503.76 m

Angulo de elevación de la Banda = $12^0$

**Calculo de Fuerzas y Potencias**

Para el cálculo de fuerzas y Potencias, se debe ingresar los siguientes parámetros:

*El coeficiente de fricción*

En el anexo C se muestran los valores del coeficiente de fricción de las partes giratorias para diferentes condiciones; la condición de la banda transportadora será trabajar en ambiente normal de trabajo y accesorios para la banda normales; por consiguiente, el coeficiente es igual a 0.02.

*Peso de la banda*

En el anexo D se muestran los *valores promedio* del peso de la cinta transportadora, para un ancho de banda de 610mm y con un peso especifico entre 0.8 a 1.6 ton/h se obtiene un peso de banda por longitud de *9 kg/m*.

*Peso de los Rodillos Superiores e Inferiores*

Los valores promedio del peso de los rodillos superiores e inferiores se muestran en el apéndice E; para un ancho de banda de 610mm y un peso especifico menor de 1.5 ton/$m^3$ se obtienen un peso de *5.5 Kg* para ambos rodillos.

*Espaciamiento entre Rodillos Superiores e Inferiores*

Los valores recomendados de los espaciamientos entre rodillos superiores e inferiores se encuentran en el apéndice F, el cual para un ancho de banda de 610mm y un peso especifico de 800 kg/$m^3$ da 1.4m de espaciamiento entre rodillos superiores y 3m de espaciamiento entre rodillos inferiores.

*Eficiencias mecánicas de reductores de velocidad*

En el apéndice G se muestran las eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad, debido a que el reductor de velocidad a usar es por engranes helicoidales de doble reducción, la eficiencia será de 94%.

*Eficiencia del Motor*

La eficiencia de un motor eléctrico se la estima en el rango de 90 a 95%, para este caso la eficiencia del motor se la coloca en *95%.*

*Longitud Total de la Guías*

Se coloca guías en el lado de la descarga del material para proteger que el material no se desborde, la longitud de la guía es de 6m.

En las tablas 3.2 y 3.3 se muestran las fuerzas y potencias respectivamente que actúan en BT-1, calculadas con los parámetros antes mencionados.

**TABLA 3.2**

**FUERZAS QUE ACTUAN EN BT-1(*1)**

| | |
|---|---|
| Fuerza para mover la banda en vacío y componentes móviles | 2631.61 |
| Fuerza para desplazar el material horizontalmente | 1757.93 |
| Fuerza para desplazar el material verticalmente | 5761.43 |
| Fuerza total para mover la banda en servicio | *10150.9* |

**(*1) Todas las fuerzas están en Newton (N)**

**TABLA 3.3**

**POTENCIAS EN BT-1**

| | | |
|---|---|---|
| Potencia Total teórica | kW | 14.88 |
| Potencia por guías de carga | kW | 0.67 |
| Potencia Requerida | kW | 16.67 |
| | HP | *22.23* |

**Calculo Tensiones**

Para el cálculo de las tensiones, se debe ingresar los siguientes parámetros:

*Coeficiente de fricción tambor-banda*

Del apéndice H se observa que el coeficiente de fricción tambor-banda teniendo el tambor revestido y seco es de *0.4*.

*Angulo de Contacto*

El ángulo de contacto de la banda con el rodillo es de $210^0$ para un arreglo del cabezal motriz como se muestra en la figura 3.4.

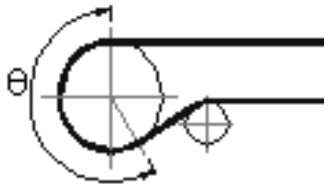



**Figura 3.4: Angulo de Contacto**

Flecha máxima permisible

El pandeo máximo permisible se encuentra entre valores de 0.005 y 0.02, se toma el máximo valor igual a 0.02.

Con estos parámetros se obtiene la tensión mínima que debe de tener el contrapeso la cual permite tener una suficiente tensión de la banda a lo largo de tota su longitud, por lo que, se debe colocar una tensión en el contrapeso igual o mayor a la calculada para proceder a hallar las tensiones en la banda. La tabla 3.4 muestra las tensiones que actúan en BT-1.

**TABLA 3.4**

**TENSIONES QUE ACTUAN EN BT-1(*1)**

| | |
|---|---|
| Tensión mínima para evitar el pandeo | 2146 |
| Tensión Efectiva | 10629 |
| Tensión mínima que debe tener el contrapeso | 8424 |
| Tensión en el contrapeso | **9000** |
| Tensión del lado apretado $T_1$ | *15129* |
| Tensión del lado flojo $T_2$ | *4500* |
| Tensión de retorno $T_3$ | *2434* |
| Tensión en la parte curva $T_a$ | *4951* |
| Tensión de trabajo unitaria(N/mm) | *25* |

**(*1) Todas las tensiones están en Newton (N) excepto la tensión unitaria.**

## Motor eléctrico

La potencia requerida que se calculó que necesita el motor es de 22.23HP, por lo tanto se escoge un motor cerrado con una potencia de 25 HP a 1800 rpm. La tabla 3.5 muestra las características del motor eléctrico y la figura 3.5 muestra sus dimensiones.

### Selección del tipo de banda

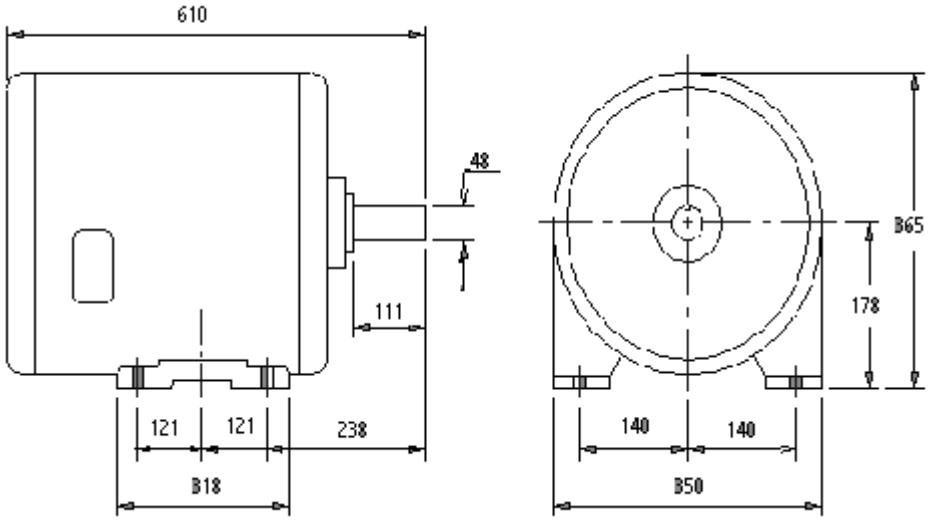
La resistencia mínima requerida ( tensión unitaria mínima ) que se calculó que debe tener la banda es de 25N/mm, por consiguiente se procede seleccionar una banda con una mayor

resistencia igual a 40 N/mm y con 4 lonas en la carcasa. Con esta resistencia y número de lonas, las características que tendrá la banda se muestran en la tabla 3.6.

**TABLA 3.5**

**CARACTERISTICAS DEL MOTOR ELECTRICO PARA BT-1**

| FRAME del motor: 284T cerrado | | |
|---|---|---|
| Potencia | HP | 25 |
| Velocidad Angular | rpm | 1750 |
| Eficiencia del motor | % | 95 |
| Eficiencia de transmisión | % | 94 |
| Peso | Kg | 168 |
| Diámetro de los pernos | mm | 10 |
| Longitud de los pernos | mm | 38 |




**[29] Normas Nema, motores de corriente alterna jaula de ardilla.**

**Figura 3.5 Dimensiones del Motor eléctrico 284T**

**TABLA 3.6**

**CARACTERISTICAS DE LA BT-1**

| Banda EP400 de mediana resistencia a la abrasión | | |
|---|---|---|
| Resistencia | N/mm | 40 |
| Espesor de la cubierta superior | mm | 3 |
| Espesor de la cubierta inferior | mm | 1.5 |
| Peso aproximado en un milímetro | $kg/m^2$ | 1.14 |
| Espesor de la carcasa | mm | 7.2 |
| Espesor de la cobertura | mm | 4.5 |
| Peso aproximado por lona | $Kg/m^2$ | 2.5 |
| Espesor aproximado por lona | mm | 1.8 |
| Peso de la carcasa | $kg/m^2$ | 10 |
| Peso de la cobertura | $Kg/m^2$ | 5.13 |
| Peso de la banda | Kg/m | 15.13 |
| Peso total de la cinta | Kg | 9298.7 |
| Espesor total de la cinta | mm | 11.7 |

**Selección de los rodillos**

Para la selección de los rodillos, se ingresa las condiciones externas a las que van a estar sometidos los rodillos como son, en un ambiente polvoso-seco y de pobre mantenimiento, además de un desalineamiento en los rodillos superiores e inferiores de 0.0028 m y 0.006m respectivamente. Del apéndice I se obtiene que para una carga ligera y un ancho de banda de 24”( 610mm) la clasificación CEMA de los rodillos superiores e inferiores podrían ser A o B y los diámetros del rodillo pueden estar entre 4”(102mm) y 5”(127mm); los tipos de rodillos inferiores serán

planos con un ángulo de $0^{o}$ como se muestra en la figura 3.6. En la tabla 3.7 se indican las características de los rodillos superiores e inferiores.

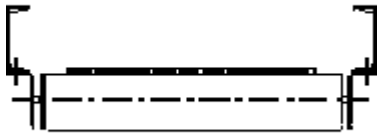


**Figura 3.6. Rodillo inferior**

**TABLA 3.7**

**CARACTERISTICAS DE LOS RODILLOS SELECCIONADOS**

| Rodillo | Unidades | Superior | Inferior |
|---|---|---|---|
| Clase | | Cema B | Cema B |
| Tipo | | Terna | Plano |
| Angulo | 0 | 35 | 0 |
| Diámetro | mm | 102 | 102 |
| Espaciamiento | m | 1.4 | 3 |
| Carga en rodillos | Kg | 35.84 | 27.84 |
| Desalineamiento | m | 0.0028 | 0.006 |
| Cantidad aproximada | u | 504 | 168 |
| Capacidad de carga | Kg | 186 | 75 |
| Velocidad angular | rpm | 262 | 262 |
| Vida útil | h | 123379 | 123379 |
| Eje | mm | 17 | 17 |
| Material del eje | | Acero macizo | Acero macizo |
| Capacidad dinámica de carga | lb | 2150 | 2150 |
| Rodamiento(*2) | | Bolas 6203-2RS,SKF | Bolas 6203-2RS,SKF |

(*2) Todos los rodamientos son sellados

**Selección y Características de las los Tambores.**

En la figura 3.7 se indica un esquema de los diferentes tambores que se usan para BT-1. Debido a que la banda transportadora tiene un ancho de 610mm, el mínimo ancho de la cara de todos los tambores debe de ser 750mm ( especificación en el Software).

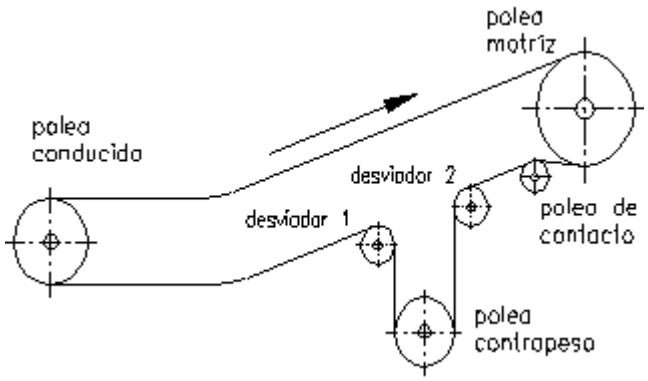



**Figura 3.7. Esquema de los Tambores para BT-1**

*Distancia entre apoyos en las Tambores*

Del apéndice J para un ancho de banda de 610mm, la distancia recomendada entre apoyos en el tambor motriz y de cabeza, y de tambor de cola y contrapeso es de 1170mm y la distancia de los tambores adicionales y los desviadores es de 990mm.

Material del eje

El material con que estará hecho el eje será de un acero AISI 1045, el cual estará soportando un esfuerzo permisible de 55.16 MPa.

Vida del Cojinete

En el apéndice K se indica que para máquinas de servicio de 8horas diarias utilizadas plenamente, la vida nominal se recomienda de 30000 horas.

Con los parámetros dados, en la tabla 3.8, se obtienen las características de todos los tambores utilizados en el diseño de la BT-1. En la figura 3.8 se muestra las dimensiones del Tambor Motriz.

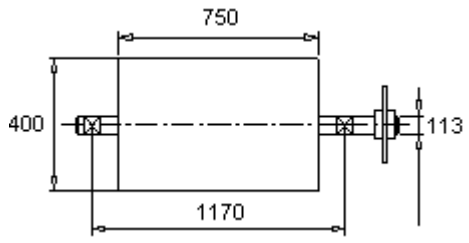



**Figura 3.8. Características del Tambor Motriz para BT-1**

# TABLA 3.8

**CARACTERISTICAS DE LOS TAMBORES PARA BT-1**

| Tambores | Motriz | Conducido | De contacto | Desviador 1 | Desviador 2 | Contrapeso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho de cara ( mm ) | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Diámetro ( mm ) | 400 | 250 | 200 | 250 | 300 | 250 |
| Distancia entre apoyos ( mm ) | 1170 | 1170 | 990 | 990 | 990 | 1170 |
| Fuerza Resultante ( kN ) | 18.96 | 9 | 2.33 | 6.99 | 5.66 | 9 |
| Angulo de contacto ( $^0$ ) | 210 | 180 | 30 | 102 | 78 | 180 |
| Peso del Tambor ( Kg ) | 76 | 36 | 26 | 36 | 50 | 36 |
| Material del eje | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 |
| Diámetro del eje ( mm ) | 113 | 113 | 57 | 57 | 57 | 113 |
| Capacidad de carga del rodamiento ( kN ) | 97.28 | 54 | 16.08 | 42.4 | 32.42 | 54 |
| Torque Máximo ( N.m ) | 2381.43 | | | | | |
| Momento flector Máximo ( N.m ) | 1990.8 | | | | | |

**Trayectoria del Material**

Con parámetros dados anteriormente se encuentra que el radio de curvatura del centro de gravedad del carbón en el momento de la descarga es de 275mm, la Fuerza Centrifuga es 11.62 N/m y el ángulo de fuga $\phi$ igual a $43^0$. Para intervalos de tiempo de 0.05 segundos se obtiene las coordenadas de la trayectoria y la grafica de dicha trayectoria mostrada en la tabla 3.9 y la figura 3.9 respectivamente.

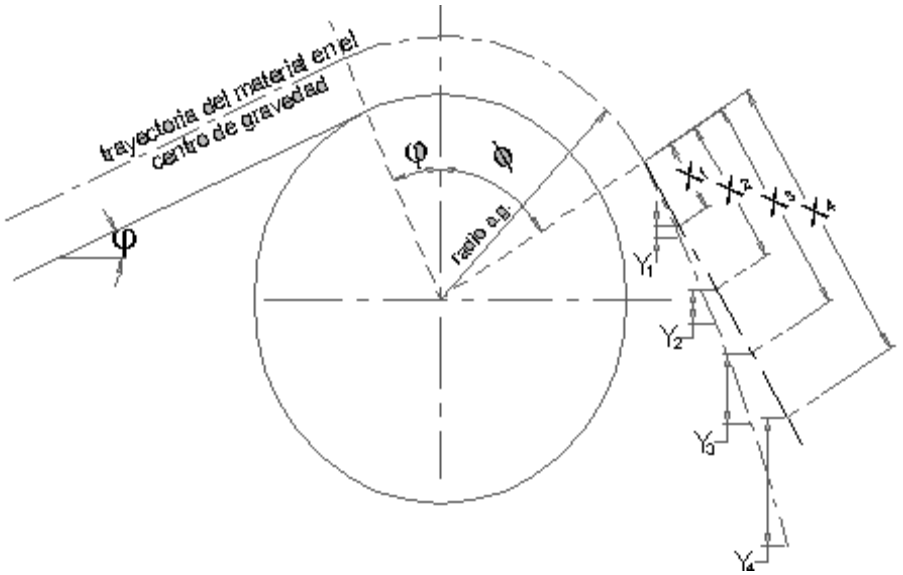



**Figura 3.9. Trayectoria de la BT-1**

**TABLA 3.9**

**COORDENADAS DE LA TRAYECTORIA PARA BT-1**

| Coordenada | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo (s) | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| X (mm) | 70 | 140 | 210 | 280 | 350 | 420 |
| Y(mm) | 12.26 | 49.05 | 110.36 | 196.2 | 306.56 | 441.45 |

El software también proporciona el radio de curvatura de la banda en la transición de horizontal a inclinado. La figura 3.10 muestra dicho cambio.

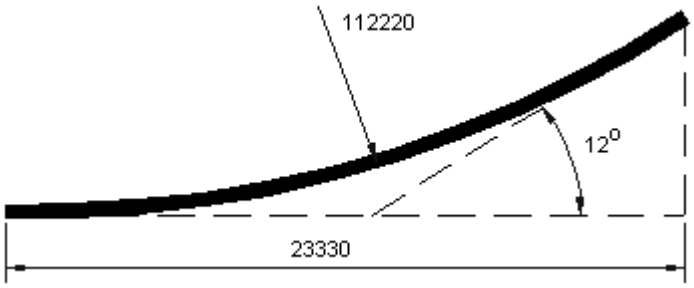



**Figura 3.10. Radio de Transición**

**Acople Hidrodinámico**

Para evitar un arranque brusco cuando la banda se quede parada con material se recomienda colocar un Acople Hidrodinámico en el motor eléctrico, cuya función es de acelerar paulatinamente al tambor cuando se enciende el sistema. Esto se

lo realiza debido a que el motor eléctrico para BT-1 posee una potencia de 25HP, y sobre tenemos una banda de 500m de longitud que se eleva 37m.

El tipo de Acoplador a usar es marca VOITH modelo TVRI , el cual se emplea cuando es necesario un arranque especialmente suave. El Acople se lo coloca en voladizo sobre la caja reductora; posee una polea de transmisión incorporada embridada a la caja del acoplador la cual facilita en los ejes dispuestos simétricamente un accionamiento o una salida con las relaciones de transmisión usuales.

De la figura del Apéndice N se ingresa con la potencia de accionamiento de 25 HP y una velocidad de accionamiento de 900 rpm y se observa que el tipo de acoplador que hay que usar es TVRI 487; ingresando a la tabla 3.10 con este modelo, se encuentran las especificaciones y en la figura 3.11 se muestra un esquema del acople seleccionado.

## TABLA 3.10

## DIMENSIONES PARA ACOPLES VOITH

**Las dimensiones más importantes, tipo TRI, TVRI***

| Tamaño del acoplador | D | B max. | d | $d_1$ min. | Ejecución TRI A | Ejecución TRI peso (kg) | Ejecución TVRI A | Ejecución TVRI peso (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 133 | 162 | 17 | 19 | 75 | 75,5 | 2 | – | – |
| 154 | 190 | 19 | 28 | 92 | 83,5 | 2,5 | – | – |
| 154 DT | 190 | 40 | 28 | 100 | 102 | 3,5 | – | – |
| 206 | 248 | 83 | 42 | 95 | 97 | 7 | – | – |
| 206 DT | 248 | 83 | 42 | 95 | 137 | 10 | – | – |
| 274 | 328 | 116 | 55 | 125 | 139 | 15,5 | – | – |
| 274 DT | 328 | 153 | 65 | 140 | 177 | 23 | – | – |
| 366 | 424 | 163 | 65 | 140 | 185 | 36 | 222 | 43 |
| 422 | 470 | 178 | 75 | 155 | 205 | 55 | 254 | 63 |
| 487 | 556 | 222 | 90 | 195 | 233 | 84 | 294 | 95 |
| 562 | 634 | 322 | 100 | 240 | 254 | 121 | 330 | 135 |
| 650 | 740 | – | 105 | 332 | 299 | 150 | 381 | 163 |

* tipo TVRI a partir del tamaño 366

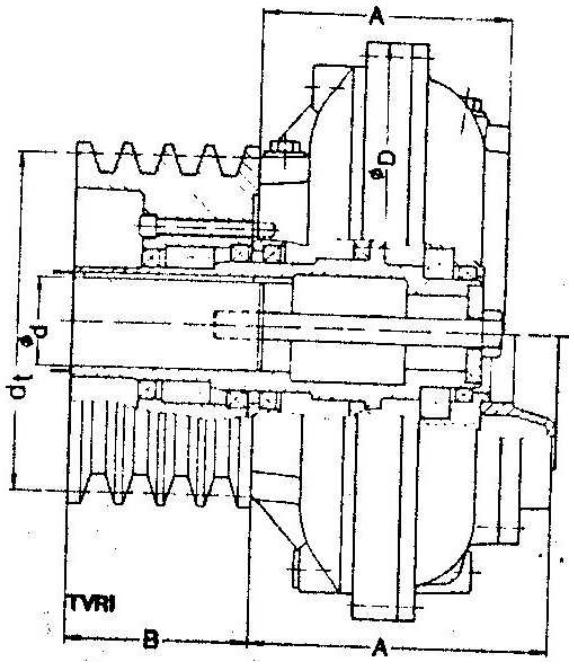



**Figura 3.11. Esquema de un Acople Voith TVRI**

**Diseño de la Segunda Banda Transportadora (BT-2)**

BT-2 mostrada en la figura 3.12, está ubicada a 36 m de altura y va a transportar horizontalmente el carbón hacia el edificio. Se ingresan al software las características de la tabla 3.1, además de la capacidad requerida de 80ton/h y la longitud horizontal que recorre la banda igual a 150m.

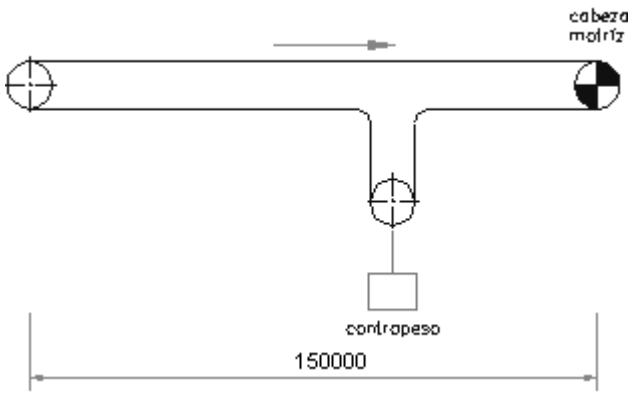



**Figura 3.12. Esquema de BT- 2**

El ancho de la Banda, la velocidad de la Banda y el tipo de rodillo Superior son los mismos que para BT-1. Con estos parámetros, el software da los siguientes resultados:

Capacidad máxima Calculada = 199.06 ton/h

Carga del material por metro de Banda = 16 Kg/m

**Calculo de Fuerzas y Potencias**

El coeficiente de fricción, el peso de la banda, el peso de los rodillos superiores e inferiores, el espaciamiento entre rodillos superiores e inferiores, la eficiencia del motor, la eficiencias mecánicas de reductores de velocidad y la longitud total de la guías son iguales que para BT-1; con estos parámetros se obtienen las fuerzas y potencias que actúan en BT-2, las cuales se muestran en la tabla 3.11 y 3.12 respectivamente.

**TABLA 3.11**

**FUERZAS QUE ACTUAN EN BT-2 (*1)**

| | |
|---|---|
| Fuerza para mover la banda en vacío y componentes móviles. | 1061.65 |
| Fuerza para desplazar el material horizontalmente. | 709.19 |
| Fuerza total para mover la banda en servicio. | *1770.84* |

**(*1) Todas las fuerzas están en Newton (N)**

**TABLA 3.12**

**POTENCIAS QUE ACTUAN EN BT-2**

| | | |
|---|---|---|
| Potencia Total teórica | kW | 3.15 |
| Potencia por guías de carga | kW | 0.67 |
| Potencia Requerida | kW | 3.53 |
| | HP | *4.71* |

## Calculo de Tensiones

El Coeficiente de fricción tambor-banda, ángulo de contacto, la flecha máxima permisible son iguales que para BT-1; con estos parámetros se obtiene la tensión mínima que debe de tener el contrapeso. La tabla 3.13 muestra las tensiones que actúan en BT-2.

**TABLA 3.13**

**TENSIONES QUE ACTUAN EN BT-2(*1)**

| | |
|---|---|
| Tensión mínima para evitar el pandeo | 2146 |
| Tensión Efectiva | 2250 |
| Tensión mínima que debe tener el contrapeso | 4292 |
| Tensión en el contrapeso | **5000** |
| Tensión del lado apretado $T_1$ | *4750* |
| Tensión del lado flojo $T_2$ | *2500* |
| Tensión de retorno $T_3$ | *2985* |
| Tensión de trabajo unitaria | *8N/mm* |

**(*1) Todas las tensiones están en Newton (N) excepto la tensión unitaria**

## Motor eléctrico

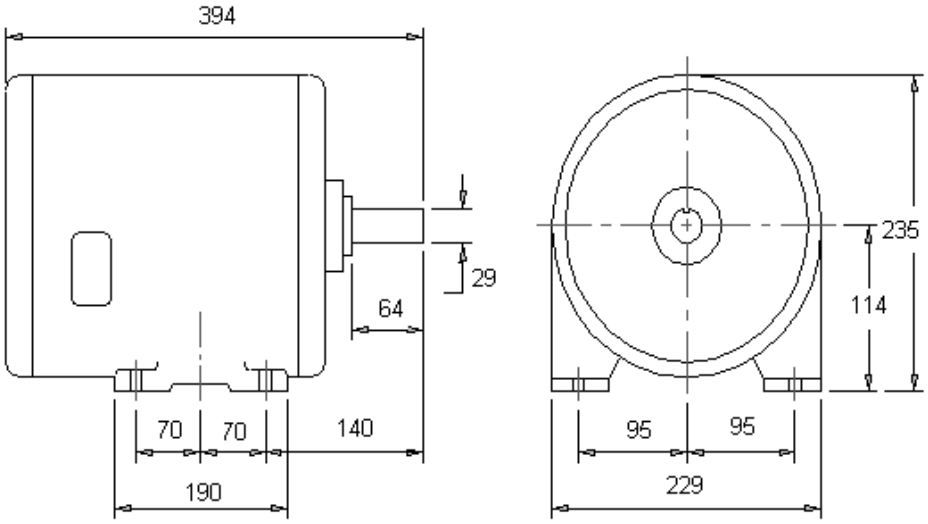
La potencia requerida que se calculo que necesita el motor es de 4.71HP, por lo tanto se coloca una potencia de 5 HP a 1800 rpm y un tipo de motor cerrado. La tabla 3.14 muestra las

características del motor eléctrico y la figura 3.13 muestra sus dimensiones.

**TABLA 3.14**

**CARACTERISTICAS DEL MOTOR ELECTRICO PARA BT-2**

| FRAME del motor: 184T cerrado | | |
|---|---|---|
| Potencia | HP | 5 |
| Velocidad Angular | rpm | 1750 |
| Eficiencia del motor | % | 95 |
| Eficiencia de transmisión | % | 94 |
| Peso | Kg | 43 |
| Diámetro de los pernos | mm | 8 |
| Longitud de los pernos | mm | 25 |




**[29] Normas Nema para motores de corriente alterna jaula de ardilla.**

**Figura 3.13 Dimensiones del Motor eléctrico 215T**

**Selección del tipo de banda**

La resistencia mínima requerida que se calculó que debe tener la banda es de 8N/mm, por consiguiente se procede seleccionar una banda con una mayor resistencia igual a 40 N/mm y con 4 lonas en la carcasa. Con esta resistencia y número de lonas, las características que tendrá la banda se muestran en la tabla 3.15.

**TABLA 3.15**

**CARACTERISTICAS DE BT-2**

| Banda EP400 de mediana resistencia a la abrasión | | |
|---|---|---|
| Resistencia | N/mm | 40 |
| Espesor de la cubierta superior | mm | 3 |
| Espesor de la cubierta inferior | mm | 1.5 |
| Peso aproximado en un milímetro | $kg/m^2$ | 1.14 |
| Espesor de la carcasa | mm | 7.2 |
| Espesor de la cobertura | mm | 4.5 |
| Peso aproximado por lona | $Kg/m^2$ | 2.5 |
| Espesor aproximado por lona | mm | 1.8 |
| Peso de la carcasa | $kg/m^2$ | 10 |
| Peso de la cobertura | $Kg/m^2$ | 5.13 |
| Peso de la banda | Kg/m | 9.23 |
| Peso total de la cinta | Kg | 2770 |
| Espesor total de la cinta | mm | 11.7 |

**Selección de los rodillos**

La condiciones externas a las que van a estar sometidos los rodillos, el desalineamiento en los rodillos superiores e inferiores, la clasificación CEMA y los tipos de rodillos inferiores son los mismos que para BT-1. En la tabla 3.16 se indican las características de los rodillos superiores e inferiores.

**TABLA 3.16**

**CARACTERISTICAS DE LOS RODILLOS PARA BT-2**

| Rodillo | Unidades | Superior | Inferior |
|---|---|---|---|
| Clase | | Cema B | Cema B |
| Tipo | | Terna | Plano |
| Angulo | $^0$ | 35 | 0 |
| Diámetro | mm | 102 | 102 |
| Espaciamiento | m | 1.4 | 3 |
| Carga | Kg | 35.48 | 27.78 |
| Cantidad aproximada | u | 150 | 50 |
| Capacidad de carga | Kg | 186 | 75 |
| Velocidad angular | rpm | 262 | 262 |
| Vida útil | h | 123379 | 123379 |
| Eje | mm | 17 | 17 |
| Material del eje | | Acero macizo | Acero macizo |
| Capacidad dinámica de carga | lb | 2150 | 2150 |
| Rodamiento(*2) | | Bolas 6203-2RS,SKF | Bolas 6203-2RS,SKF |

(*2) Todos los rodamientos son sellados

**Selección y Características de los Tambores**

El mínimo ancho de cara, la distancia entre apoyos en las Poleas, el material del eje y la vida del Cojinete serán iguales que para él calculo de la primera banda transportadora. En la figura 3.13 se indica la ubicación de los tambores. En la tabla 3.17 con los parámetros dados, se obtienen las características de todos los Tambores utilizados en el diseño de BT-2, en la figura 3.14 muestra el esquema de los tambores y en la figura 3.15 indican las dimensiones del Tambor Motriz para BT-2.

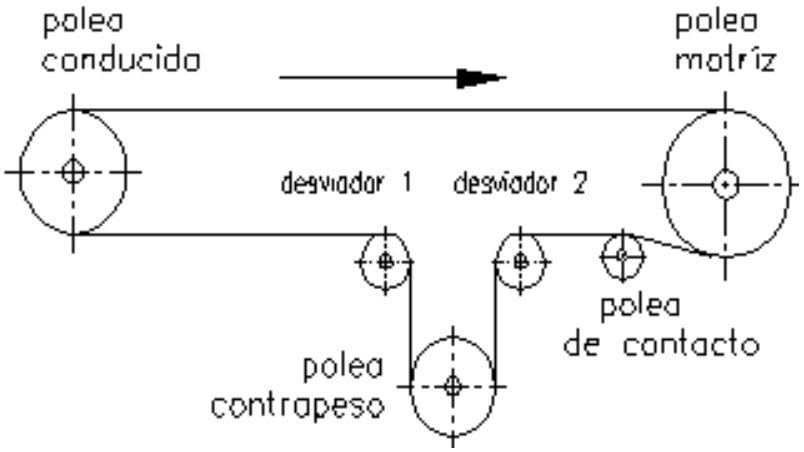



**Figura 3.14. Esquema de los tambores de BT-2**

**TABLA 3.17**

**CARACTERISTICAS DE LOS TAMBORES PARA BT-2**

| Tambores | Motriz | Conducido | De contacto | Desviador 1 | Desviador 2 | Contrapeso |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho de cara ( mm ) | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Diámetro ( mm ) | 400 | 400 | 200 | 200 | 200 | 400 |
| Distancia entre apoyos ( mm ) | 1170 | 1170 | 990 | 990 | 990 | 1170 |
| Fuerza Resultante ( kN ) | 7 | 5 | 1.29 | 3.54 | 3.54 | 5 |
| Angulo de contacto ( $^0$ ) | 210 | 180 | 30 | 90 | 90 | 180 |
| Peso del Tambor ( Kg ) | 76 | 76 | 24 | 24 | 24 | 76 |
| Material del eje | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 |
| Diámetro del eje ( mm ) | 68 | 62 | 37 | 49 | 49 | 62 |
| Capacidad de carga del rodamiento ( kN ) | 38.23 | 28.36 | 9.61 | 23.6 | 23.6 | 28.36 |
| Torque Máximo ( N.m ) | 504.29 | | | | | |
| Momento flector Máximo ( N.m ) | 735 | | | | | |

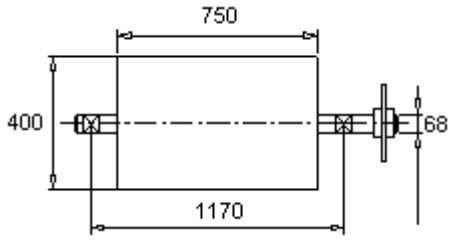



**Figura 3.15. Dimensiones del Tambor motriz de BT-2**

**Trayectoria del Material**

Con parámetros dados anteriormente se encuentra que el radio de curvatura en el centro de gravedad del carbón en el momento de la descarga es de 175mm y la fuerza centrifuga generada 18.27 N/m. Para intervalos de tiempo de 0.05 segundos se obtiene las coordenadas de la trayectoria y la grafica de dicha trayectoria mostrada en la tabla 3.18 y la figura 3.16 respectivamente.

**TABLA 3.18**

**COORDENADAS DE LA TRAYECTORIA PARA BT-2**

| Coordenada | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo (s) | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| X (mm) | 70 | 140 | 210 | 280 | 350 | 420 |
| Y(mm) | 12.26 | 49.05 | 110.36 | 196.2 | 306.56 | 441.45 |

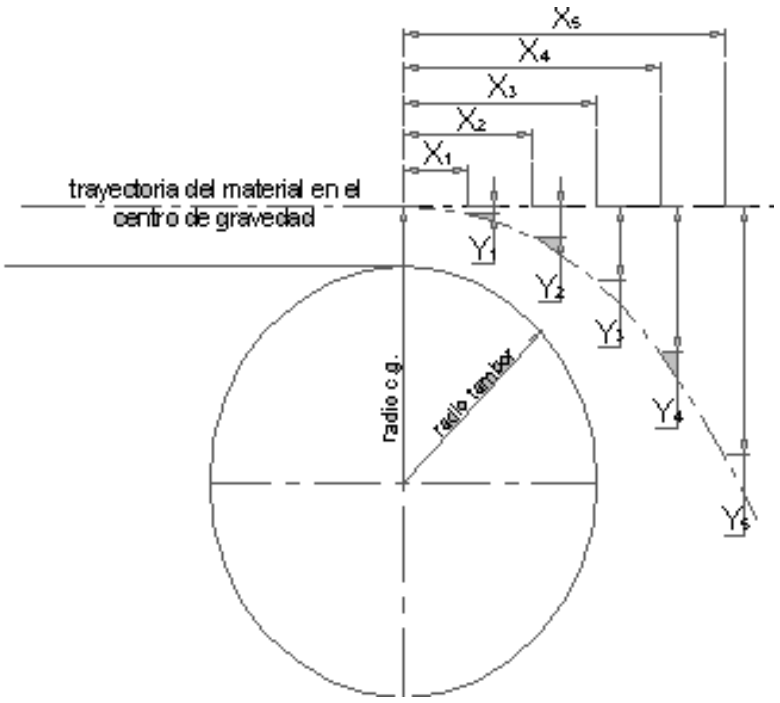



**Figura 3.16. Trayectoria de la BT-2**

**Selección de la caja Reductora (CR)**

Los tambores de BT-1 y BT-2 rotan a una velocidad menor que la velocidad nominal del motor eléctrico, por esa razón se debe colocarse una caja reductora de velocidades. El diámetro de ambos tambores $\Phi_{tambor)BT-1}$ (incluido la banda) es de 428mm, la velocidad lineal con que se desplaza BT-1 y BT-2 es 1.4m/s; por consiguiente la velocidad del tambor es de:

$$\varpi_{\text{tambor})BT-1} = \frac{2.V_{BT-1}}{\phi_{\text{tambor})BT-1}}$$

$$\varpi_{\text{tambor})BT-1} = \frac{2.(1.4\text{m/s})}{0.428\,\text{m}}$$

$$\varpi_{\text{tambor})BT-1} = \varpi_{\text{tambor})BT-2} = 6.67\,\text{s}^{-1} = 64\,\text{rpm}$$

**Selección de CR-1**

En el Apéndice V se encuentran los diferentes modelos[34] de cajas reductoras, CR-1, para motores de 25HP. Se ingresa con $\varpi_{\text{tambor})BT-1}$ y se toma el valor de 68rpm con el cual se tiene $r_{v)BT-1}$=25 y un modelo *09UWBQ2A25.0A_F.* En el Apéndice X se indican las dimensiones de CR-1, en la figura 3.17 se muestra un esquema de CR-1. Del Apéndice Y, se ingresa con el tamaño del motor 284TC y el modelo de CR-1 y se observa que la caja tiene un peso $W_{CR-1}$ =868lb.

**Selección de CR-2**

En el Apéndice U se encuentran los diferentes modelos[34] de cajas reductoras, CR-2, para motores de 5HP. Se ingresa con $\varpi_{\text{tambor})BT-2}$ y se toma el valor de 71rpm con el cual se tiene $r_{v)BT-2}$=25 y un modelo *07UWBQ2A25.0A_C.*

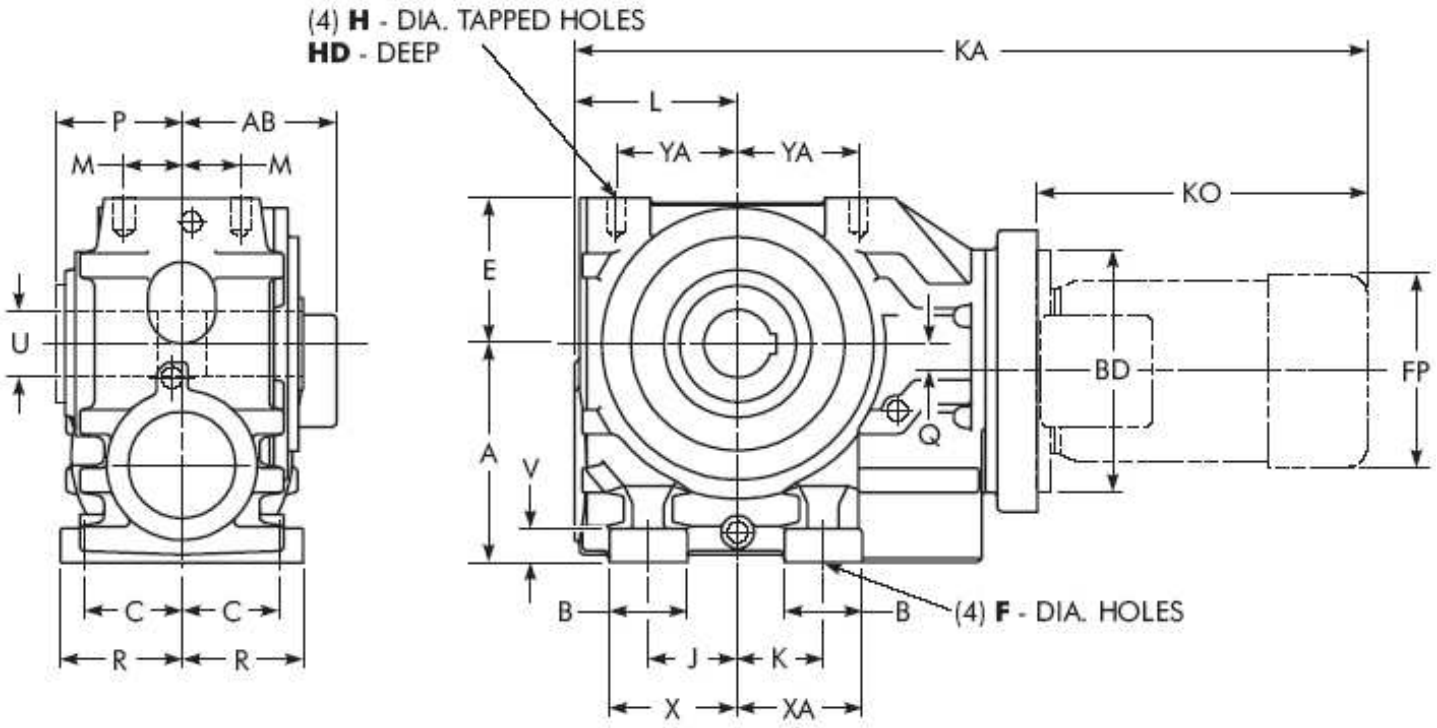



**Figura 3.17 Esquema de la Caja Reductora.**

En el Apéndice X se indican las dimensiones de CR-2, en la figura 3.19 se muestra un esquema de CR-2. Del Apéndice Y, se ingresa con el tamaño del motor 184TC y el modelo de CR-2 y se observa que la caja tiene un peso $W_{CR-1}$ =247lb.

**Selección de Poleas ( P-1 )**

Para la reducción faltante ( de 68rpm a 64rpm) se utilizara poleas, la relación de velocidad de las poleas, $r_{vP)BT-1}$, será:

$$r_{vP)BT-1} = \frac{68\text{rpm}}{64\text{rpm}}$$
$$r_{vP)BT-1} = 1.063$$

Del Apéndice Q se obtiene que factor de servicio para una maquina de servicio continuo 1.3; por lo que la potencia de diseño es 1.3x25HP = 33HP; con esta potencia y 1750 rpm del motor se ingresa al Apéndice R y se obtiene la sección transversal de la polea es de 3V. Del Apéndice S para un motor de 1750 y una potencia de diseño de 33HP se escoge un diámetro mínimo, $\phi_{Pmenor)BT-1}$=6”, por consiguiente, el diámetro mayor, $\phi_{Pmayor)BT-1}$ es:

$$\phi_{\text{Pmayor)BT-1}} = r_{\text{vP)BT-1}} . \phi_{\text{Pmenor)BT-1}}$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-1}} = 1.063 \text{ x} 6''$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-1}} = 6.38 \approx 6.5''$$

Se determina que la polea tenga 3 ranuras; se ingresa al Apéndice AA y se encuentra que para 6" y 6.5", los modelos de las poleas son: *$P_{menor)BT-1}$: 3 3V 600 SDS y $P_{mayor)BT-1}$: 3 3V 650 SDS.*

**Selección de Poleas ( P-2 )**

Para la reduccion faltante ( de 71rpm a 64rpm) se utilizara poleas, la relación de velocidad de las poleas, $r_{vP)BT-2}$, será:

$$r_{\text{vP)BT-2}} = \frac{71\text{rpm}}{64\text{rpm}}$$
$$r_{\text{vP)BT-2}} = 1.11$$

Del Apéndice Q se obtiene que factor de servicio para una maquina de servicio continuo 1.3; por lo que la potencia de diseño es 1.3x5HP = 6.5 HP; con esta potencia y 1800 rpm del motor se ingresa al Apéndice R y se obtiene la sección transversal de la polea es de 3V. Del Apéndice S para un motor

de 1750rpm y una potencia de diseño de 6.5 HP se escoge un diámetro mínimo, $\phi_{\text{Pmenor)BT-2}}$=3”, por consiguiente, el diámetro mayor, $\phi_{\text{Pmayor)BT-2}}$ es:

$$\phi_{\text{Pmayor)BT-2}} = r_{\text{vP)BT-2}} \cdot \phi_{\text{Pmenor)BT-2}}$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-2}} = 1.11 \text{x} 3"$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-2}} = 3.33 \approx 3.35"$$

Se determina que la polea tenga 3 ranuras; se ingresa al Apéndice AA y se encuentra que para 3” y 3.35”, los modelos de las poleas son: *$P_{menor)BT-2}$: 3 3V 300 SH y $P_{mayor)BT-2}$: 3 3V 335 SH.*

**Rodillos Terna**

El Tipo de Rodillos Terna a usar son de la marca Edith-Robines Series 2000 2523, los cuales son rodillos de costo y servicio medio. En la tabla 3.19 se ingresa con un ancho de banda de 24” y se encuentran las dimensiones del rodillo terna. En la figura 3.18 se muestra un esquema del rodillo. Estas dimensiones son iguales para rodillo con diámetros de 4, 5 y 6”, por consiguiente, los rodillos son iguales para las tres bandas transportadoras.

**TABLA 3.19**

**DIMENSIONES DE LOS RODILLOS SUPERIORES TERNA**

**2523 Troughing Trainer / 35°**

| BELT WIDTH | A | B | C | D | E | F | H | L | WT. | 2523-W A | 2523-W WT. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 27 | 17 1/16 | 5 1/16 | 7 1/16 | 9 1/16 | 17 1/16 | 2 1/2 | 30 1/4 | 111 | 33 | 117 |
| 24 | 33 | 22 3/16 | 7 1/16 | 9 1/16 | 9 1/16 | 18 1/4 | 2 1/2 | 35 1/2 | 126 | 39 | 132 |
| 30 | 39 | 27 13/16 | 9 1/16 | 11 1/16 | 9 1/16 | 19 3/16 | 2 1/2 | 40 3/4 | 141 | 45 | 147 |
| 36 | 45 | 33 | 11 1/16 | 13 1/16 | 9 1/16 | 20 3/16 | 2 1/2 | 46 1/16 | 156 | 51 | 162 |
| 42 | 51 | 38 1/4 | 13 1/16 | 15 1/16 | 9 1/16 | 21 13/16 | 2 1/2 | 51 3/16 | 170 | 57 | 176 |
| 48 | 57 | 43 1/2 | 15 1/16 | 17 1/16 | 9 1/16 | 23 | 2 1/2 | 56 3/16 | 184 | 63 | 206 |
| 54 | 63 | 48 3/4 | 17 1/16 | 19 1/16 | 9 1/16 | 24 13/16 | 3 | 63 1/2 | 225 | 69 | 232 |
| 60 | 69 | 54 | 19 1/16 | 21 1/16 | 9 1/16 | 25 3/16 | 3 | 68 1/4 | 240 | 75 | 247 |

**Cubierta de las bandas**

Se utilizara cubierta en la parte los 320m de la parte horizontal de de BT-1 que se encuentra a 0.8m del nivel suelo. El tipo de cubierta a usarse (figura 3.19) es de acero galvanizado con 0.7mm de espesor.

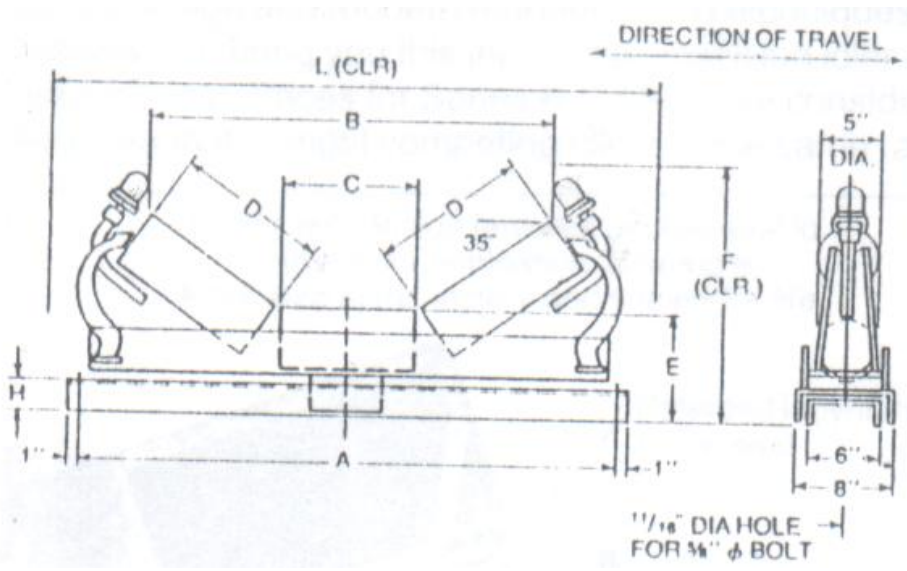



**Figura 3.18. Esquema de un Rodillo Superior Terna.**

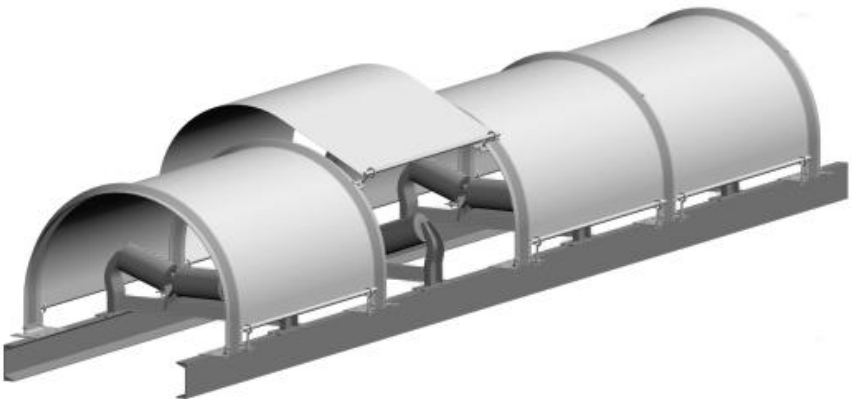


**Figura 3.19. Cubierta para BT-1**

**Limpiadores para las Bandas**

En el transporte del carbón, partes pequeñas de este pueden añadirse a la banda transportadora y debido a que el carbón

posee un grado medio de abrasividad, esto ocasionará un desgaste más rápido de la banda. Para evitarlo, se coloca limpiadores en el tambor motriz (figura 3.20) inmediatamente después de la descarga del material. La selección del limpiador se la realiza de la tabla 3.20 entrando con el ancho de la banda; por consiguiente, el modelo de limpiador es SB-24-UR-TA de la marca ARCH ENVIRONMENTAL EQUIPMENT. En la figura 3.21 se muestra las dimensiones del limpiador.

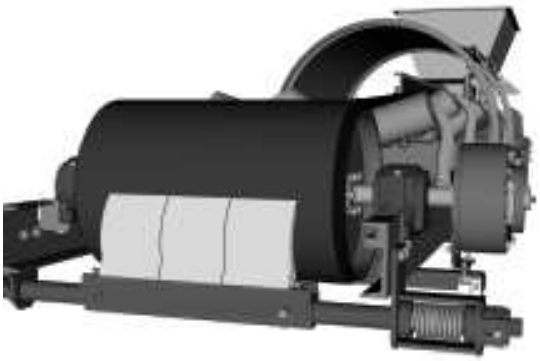


**Figura 3.20 Limpiador para las Bandas Transportadoras**

**TABLA 3.20**

**SELECCIÓN DEL LIMPIADOR DE BANDA**

| MODEL # | BANDA | ASPA | CARCASA |
|---|---|---|---|
| SB-18-UR-TA | 18 | 16 | 16 |
| SB-24-UR-TA | 24 | 22 | 22 |
| SB-30-UR-TA | 30 | 30 | 28 |
| SB-36-UR-TA | 36 | 34 | 34 |
| SB-42-UR-TA | 42 | 40 | 40 |
| SB-48-UR-TA | 48 | 46 | 46 |
| SB-54-UR-TA | 54 | 52 | 52 |
| SB-60-UR-TA | 60 | 58 | 58 |
| SB-72-UR-TA | 72 | 70 | 70 |
| SB-84-UR-TA | 84 | 77 | 77 |

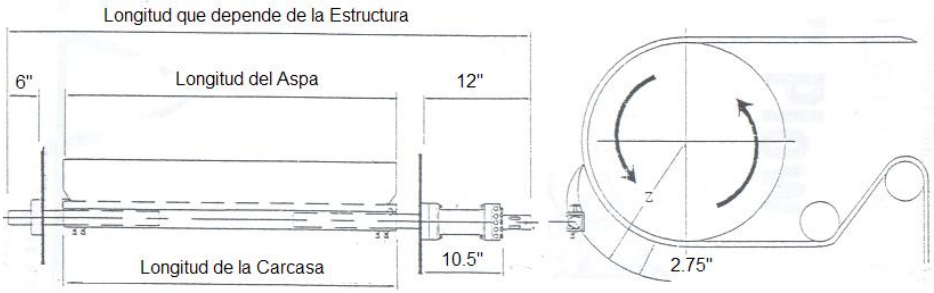



**Figura 3.21. Esquema del limpiador para Banda**

## Antideslizamiento

Debido a que BT-1 posee una inclinación de $11^0$, y aunque la máxima inclinación que debe tener una banda que transporta carbón es de $16^0$, se coloca al tambor revestimiento antideslizante para evitar el deslizamiento y la desalineación de la Banda. La figura 3.22 muestra el revestimiento antideslizante en el Tambor.

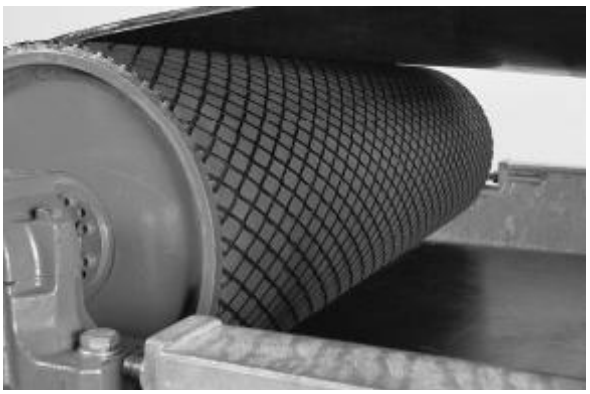


**Figura 3.22. Revestimiento Antideslizante**

**Peso Total para BT-1 y BT-2**

El peso total para BT-1 y BT-2 incluyen el peso de sus bandas más el peso de sus respectivos equipos. En la tabla 3.21 se indican los pesos por longitud de cada accesorio y al final se indica el peso total de la Banda; para BT-1 la longitud es de 500m y para BT-2 la longitud es de 150m**.**

**TABLA 3.21**

**PESO DE LOS ACCESORIOS PARA BT-1 Y BT-2**

| Equipo | Masa por Longitud (kg/m) | Masa $m_{BT-1}$ (kg) | Masa $m_{BT-2}$ (kg) | Peso $W_{BT-1}$ (N) | Peso $W_{BT-2}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| Rodillos Superiores | 19.54 | 9850 | 2931 | 96600 | 28744 |
| Estaciones de retorno | 4.44 | 2240 | 666 | 22000 | 6531 |
| Caucho de la Banda | 14.14 | 7130 | 2121 | 69890 | 20801 |
| Soporte de estaciones | 94.43 | 47600 | 14165 | 466750 | 138911 |
| Parrilla Galvanizada ( $2^{1/2}$" x 30" ) | 22.95 | 11570 | 3443 | 113440 | 33761 |
| Peso total del Transportador ($m_{transportador}$) | 155.5 | ***77500*** | ***23330*** | ***770000*** | ***228800*** |

**Peso de Cubierta ( Cub-1 )**

La BT-1 en el tramo horizontal llevará cubierta. El peso de la cubierta por longitud es de 20.78 kg/m, por consiguiente el peso de Cub-1 es:

$$m_{Cub-1} = (20.78Kg/m)(320m)$$
$$m_{Cub-1} = 6650Kg$$

**Pesos de la Primera y Segunda Cercha (Cercha-1, Cercha-2 )**

El peso por longitud para una cercha de 2m de alto es de 200Kg/m. CERCHA-1 es la que se encuentra en la parte inclinada de BT-1, por ende la longitud es de 184m; así se encuentra su peso:

$$m_{Cercha-1} = m_{cercha} L_{BT-1)inclinada} = (200Kg/m)(184m)$$
$$m_{Cercha-1} = 36800Kg$$

CERCHA-2 es la que se encuentra a lo largo de toda la BT-2; su peso es:

$$m_{Cercha-2} = m_{cercha} L_{BT-2} = (200Kg/m)(150m)$$
$$m_{Cercha-2} = 30000Kg$$

Las fuerzas debido al peso de las personas es 80Kg/m$^2$; las áreas de las cerchas son el ancho $a_{cercha}$, que es igual a 2m para ambas, multiplicada por la longitud de cada una; dejando el peso en función de la longitud se tiene:

$$m_{personas)Cercha} = 80kg/m^2 \, x a_{cercha}$$
$$m_{personas)Cercha} = (80kg/m^2)(2m)$$
$$m_{personas)Cercha} = 160kg/m$$

**Fuerzas que Soportan las Torres para BT-1 y BT-2**

La fuerza total que actúa en cada soporte es la suma del peso de la Cub-1 mas el peso de BT-1 ( para 320m).

$$F_{soporte} = m_{BT-1)320m} + m_{Cub-1}$$
$$F_{soporte} = (20.78kg/m + 155.5kg/m).9.81m/s^2$$
$$F_{soporte} = 1730N/m$$

La fuerza total que actúa en cada Torre de BT-1 es la suma del peso de BT-1 para184m $m_{BT-1)184}$, mas $m_{cercha}$, mas $m_{personas)cercha}$

$$F_{T-1)} = m_{BT-1)184m} + m_{Cercha} + m_{personas)Cercha}$$
$$F_{T-1)} = (155.5kg/m + 200kg/m + 160kg/m).9.81m/s^2$$
$$F_{T-1)} = 5060N/m$$

La fuerza total que esta actuando en cada Torre de BT-2 es la suma $m_{BT-2}$, mas $m_{cercha}$, mas $m_{persona)cercha}$ . La tabla 3.22 muestran las fuerzas en los diferentes soportes de las Bandas.

$$F_{T-2)} = m_{BT-2} + m_{Cercha} + m_{personas)Cercha}$$
$$F_{T-2)} = (155.5kg/m + 200kg/m + 160kg/m).9.81m/s^2$$
$$F_{T-2)} = 5060N/m$$

**TABLA 3.22**

**FUERZAS EN LOS SOPORTES**

| Soportes | Fuerza por longitud (N/m) | Longitud (m) | Fuerza (N) |
|---|---|---|---|
| Edificio | $F_{T-2}/2$ | 23.60 | 59600 |
| $S_1$ | $F_{T-2}$ | $23.80_{)promedio}$ | 120300 |
| $S_1 - S_4$ | $F_{T-2}$ | 24.00 | 121300 |
| $S_5$ | $F_{T-2}$ | $23.95_{)promedio}$ | 121100 |
| $S_{6)BT-2}$ | $F_{T-2}/2$ | 23.90 | 60413 |
| $S_{6BT-1}$ | $F_{T-1}/2$ | 9.23 | 23400 |
| $S_7$ | $F_{T-1}$ | $19.34_{)promedio}$ | 97700 |
| $S_8 - S_{12}$ | $F_{T-1}$ | 23.53 | 118900 |
| $S_{13}$ | $F_{T-1}$ | 23.60 | 119300 |
| $S_{14}$ | $(F_{T-1} + F_{soporte})/2$ | $23.68_{)FT-1} + 3.00_{)Soporte}$ | 62400 |
| $S_{15} - S_{119}$ | $F_{Soporte}$ | 3.00 | 5200 |
| $S_{120}$ | $F_{soporte}/2$ | 2.00 | 1730 |

### 3.2.3.TRANSPORTADOR DE DERRAMES

Los Transportadores de Derrames (TD) deben ser seleccionados con una capacidad del 5% de la capacidad de la banda transportadora ubicada en su parte superior, es decir, 4ton/h. Debido a que BT-1 y BT-2 transportan la misma capacidad de carbón por hora y tienen el mismo ancho, entonces, tendrán transportadores de derrames iguales (TD-1=TD-2), excepto por la potencia del motor. En la tabla 3.23 se observa que para una capacidad de 5ton/h a una velocidad de 0.5m/s y una densidad de bulto de 800kg/$m^3$ el largo del ángulo de TD-1 y TD-2 debe ser de 305mm. Ingresando con ese largo a la tabla 3.24 se encuentra las dimensiones de su sección transversal (presentada en la figura 3.23) y en la figura 3.24 se presenta un esquema.

**TABLA 3.23**

**CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR DE DERRAME**

| Largo del Angulo (mm) | Densidad de Bulto (kg/$m^3$) | Capacidad (Ton/h) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Velocidad de la Banda (m/s) | | |
| | | 0.5 | 1.27 | 2 |
| 305 | 483 | 5 | 13 | 20 |
| | 809 | 9 | 21 | 33 |
| 457 | 483 | 12 | 29 | 46 |
| | 809 | 20 | 49 | 77 |
| 610 | 483 | 21 | 52 | 82 |
| | 809 | 35 | 86 | 137 |

**TABLA 3.24**

**DIMENSIONES DE UN TRANSPORTADOR DE DERRAME**

| Largo del Angulo | | A | | B | |
|---|---|---|---|---|---|
| In | mm | in | mm | In | Mm |
| 12 | 305 | 19 | 483 | 12.5 | 318 |
| 18 | 457 | 25 | 635 | 18.5 | 470 |
| 24 | 610 | 31 | 787 | 24.5 | 622 |

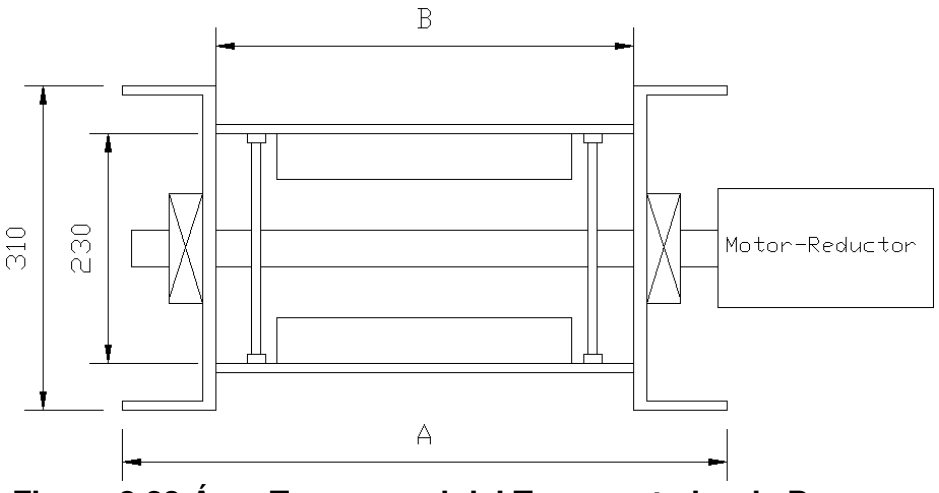



**Figura 3.23 Área Transversal del Transportador de Derrame.**

Las dimensiones de los transportadores son estandarizadas, los dos únicos parámetros que se deben conocer para seleccionar un transportador de derrame es el largo del Angulo y la longitud entre centros. En la figura 3.24 se muestra el transportador de derrame, donde la longitud requerida es de 8m. La compañía que distribuye este Producto es QUICK-KEY (USA).

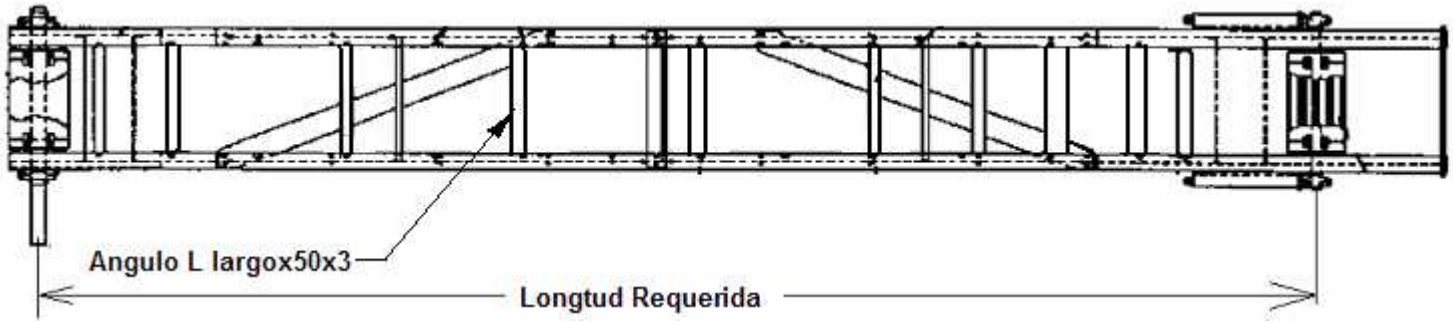



**Figura 3.24. Esquema del Transportador de Derrame**

### 3.2.4. SISTEMA DE DESEMPOLVADO

El rango del tamaño del polvo de carbón que se genera en el manipuleo es de 5 - 500μm. Para que el aire que respiramos pueda considerarse limpio, no debe contener partículas de tamaño superior a 0.01μm [17]; por lo que se debe seleccionar filtros con mallas menores a 5μm para los dos colectores de polvos.

El Colector de Polvo, CP-1 a seleccionar estará ubicado encima del Skirtboard y succionara el aire contaminado directamente sin ayuda de ductos.

**Caudal de polvo generado**

Se coloca un Colector de Polvos de Mangas en la alimentación del carbón a la BT-2 porque es donde se produce polvo por la descarga del material de BT-1 a BT-2. Para velocidades de banda mayores a 1m/s, el caudal que hay que succionar se estima en función del ancho de banda.

$$Q_1 = 425\,m^3/h + 2800\,.AnchodeBanda$$
$$Q_1 = 425\,m^3/h + 2800\,(0.61m)$$
$$Q_1 = 2110\,m^3/h = 1240\,FT^3/min(CFM)$$

Para equipos de Transporte, Almacenaje y Alimentación, el polvo de carbón a una temperatura menor a $50^0$C debe tener un "cargamento de área de filtro, $C_{fil}$ " entre 100 – 120 $m^3/m^2.h$[23], es así que de la ecuación siguiente se obtiene el Área filtrante, $A_{fil)1}$.

$$A_{fil)1} = \frac{Q_1}{C_{fil}}$$
$$A_{fil)1} = \frac{2110m^3/h}{100m^3/m^2.h}$$
$$A_{fil)1} = 21.1m^2 = 226.58FT^2$$

Con esta área filtrante se entra en la tabla del Apéndice L y se encuentra que para un área filtrante de 249$ft^2$ las características de colector son las siguientes:

Modelo: 25PJD8

Número de Mangas: 25

Longitud de las mangas: 8FT(2.438m)

Área Filtrante = 249$FT^2$=23.13$m^2$

Peso = 2130lb = 968.18Kg

La caída de presión se debe solo a las mangas del colector, la cual esta en el rango de 4 – 8”$H_2O$, se escoge el valor medio $SP_{filtro}$ = 6”$H_2O$.En la Figura 3.25 se muestra las dimensiones del colector.

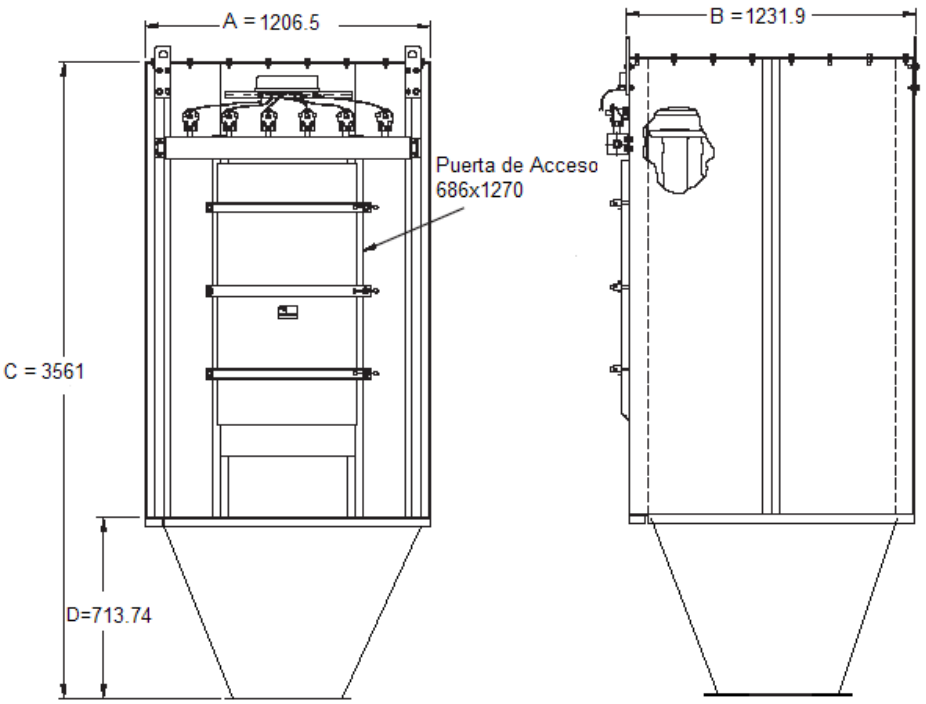



**Figura 3.25. Colector de Polvo para la descarga de BT1 a BT2**

## SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Ingresando al Software de LOREN COOK[36] con $SP_{filtro}$ = 6”$H_2O$ y $Q_1$=1240 CFM; se selecciona un ventilador centrifugo modelo

90-MHA-HD de 5HP que gira a 2280 rpm. En los Anexos se encuentran las características y esquema del ventilador.

### 3.2.5. SISTEMAS DE DETECCION Y SEPARACION DE METALES

#### Separador Electromagnético

La Selección del Separador Electromagnético ( SM ) se realiza mediante el ancho del tambor de la banda, es decir, B=750mm; de la tabla 3.25 se observa que el modelo SAM2 con un motor eléctrico de 2HP es el separador que se necesita. En la figura 3.26 se muestra el esquema del separador magnético.

**TABLA 3.25**

**MODELOS DE SEPARADORES ELECTROMAGNETICOS**

| TIPO | A | B | C | D | E | F | G | H | I | Motor HP | Peso Kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SAM1 | 1600 | 1600 | 2200 | 2550 | 1750 | 2900 | 470 | 480 | 900 | 3 | 10000 |
| SAM2 | 1000 | 750 | 1000 | 1300 | 1050 | 2400 | 300 | 230 | 600 | 2 | 2400 |
| SAM3 | 800 | 600 | 850 | 1150 | 850 | 2200 | 300 | 180 | 550 | 1,5 | 1800 |

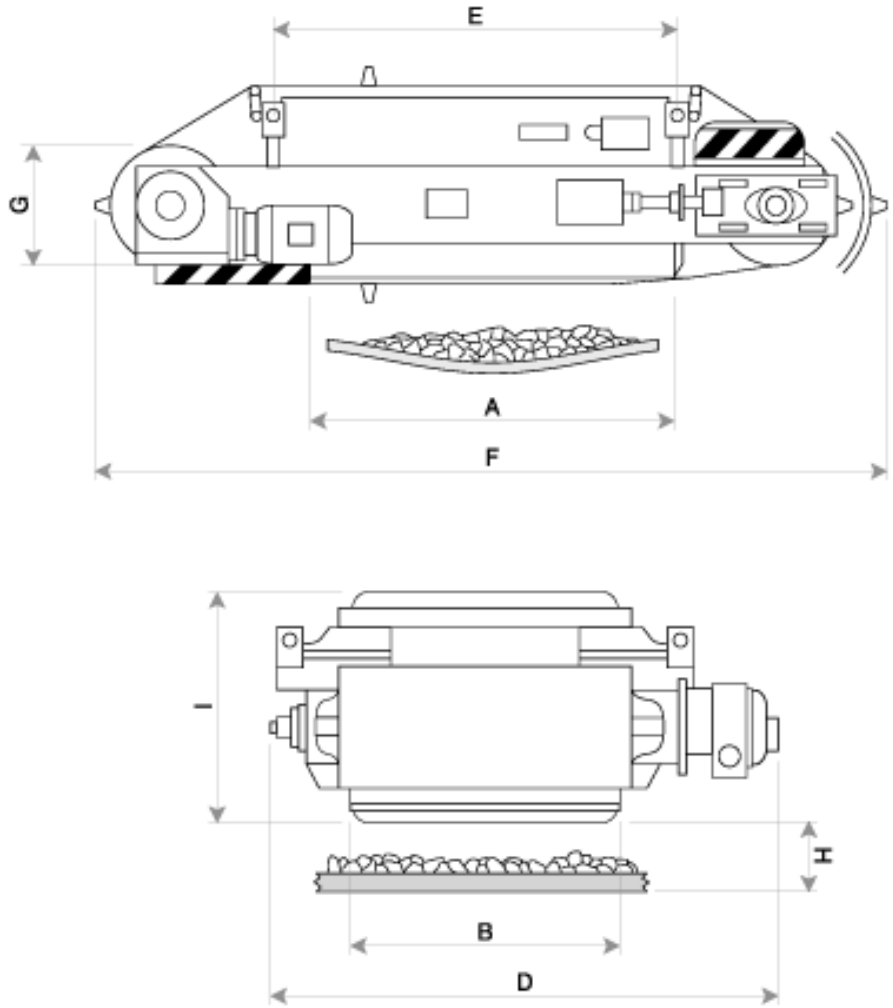



**Figura 3.26. Esquema del Separador Magnético**

**Detector de Metales**

El Detector de Metales (DM) debe tener un ancho mayor o igual al ancho del tambor de la Banda. De la tabla del Apéndice W se ingresa con X=30in el cual es el ancho que el tambor y una altura de H=30.5in; se encuentra un modelo 30MDS10. El proveedor

del Detector de metal y el separador magnético es ERIEZ (USA) y MAGNUN (USA). En la figura 3.27 y 3.28 muestran el tipo y un esquema de detector de metal respectivamente.

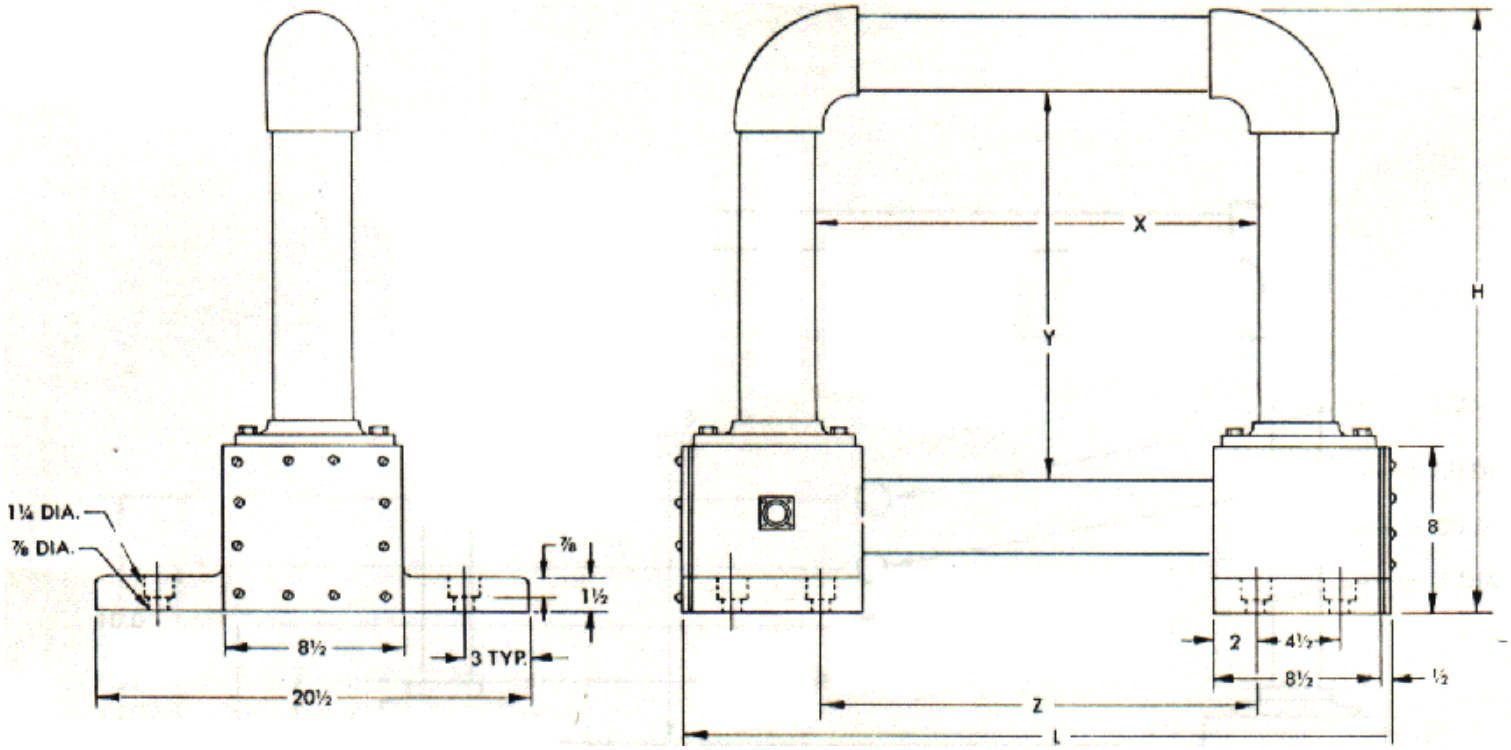



**Figura 3.27. Vistas del Detector de Metales**

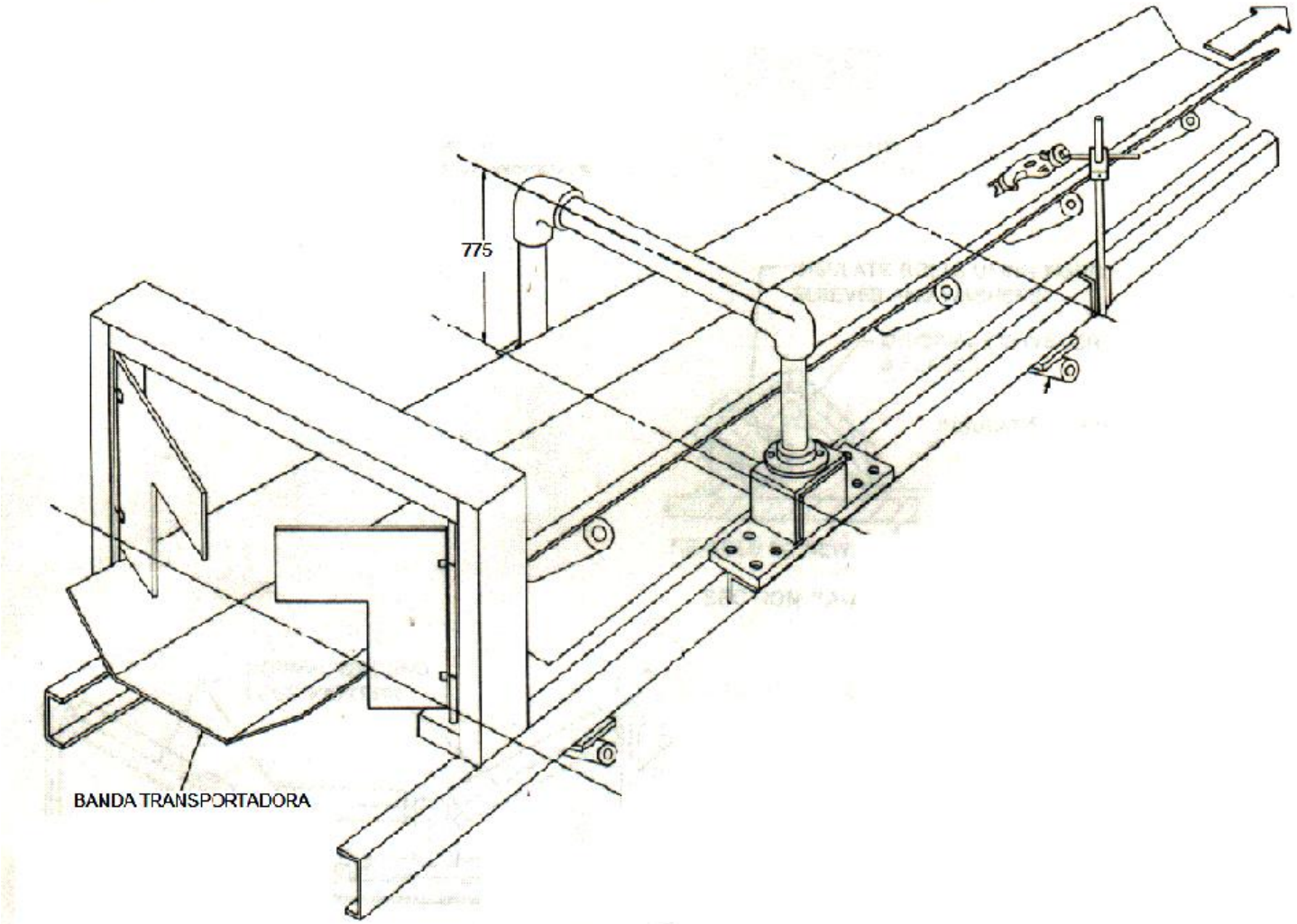



**Figura 3.28. Esquema del Detector de Metales**

# CAPÍTULO 4

## 4. SISTEMA DE ALIMENTACION

### 4.1 DESCRIPCIÓN

El Sistema de Alimentación comienza con la llegada del carbón a la Tolva, ver plano PC-FLUJO-15, la cual recepta el material a razón de 80 toneladas por hora. La tolva posee 4 celdas de pesaje que están ubicadas en la parte inferior y serán las que soporten todo el peso. Cuando la tolva a través de un censor de nivel detecta el carbón, se para todo el "sistema de Transportación del material" y se procede a descargar el material sacando las válvulas guías que se encuentran en la parte inferior del cono; el numero de válvulas guías desalojadas depende del flujo másico que se desee entregar. El carbón cae a un transportador rastra cuya función es regular el flujo másico, el cual normalmente debe de ser 30 toneladas por hora, luego el material cae hacia la Tercera Banda Transportadora (BT-3) de 12 metros de longitud la cual transporta el material hacia la válvula rotatoria

alimenta al Molino Vertical o la tercera banda dirige el flujo a un camión de carga. Esta última banda es reversible, lo cual permite descargar el carbón en caso necesario hacia un camión.

## 4.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

### 4.2.1 TOLVA DE ALIMENTACION

Las Tolvas son utilizadas para el almacenamiento y distribución de un producto, deben de ser diseñadas de manera que su carga y descarga sean las adecuadas. Existen correlaciones[39] que indican que tan alto o bajo puede ser la parte cilíndrica de la tolva con relación a su radio:

$$2r_{cil} \leq y_{cil} \leq 16r_{cil}$$
$$2(3m) \leq y_{cil} \leq 16(3m)$$
$$6m \leq y_{cil} \leq 48m$$

Debido a que nuestro cilindro tiene 8m, está dentro de la norma. La forma de diseño de la tolva indica cuanto carbón se va a poder almacenar y descargar en un determinado tiempo, y cuanto afectan los diferentes tamaños de carbones o espacios

muertos en el flujo del material. En la figura 4.1 se indica las dimensiones de la tolva, así como el ángulo de inclinación y la sección de descarga que se deben encontrar.

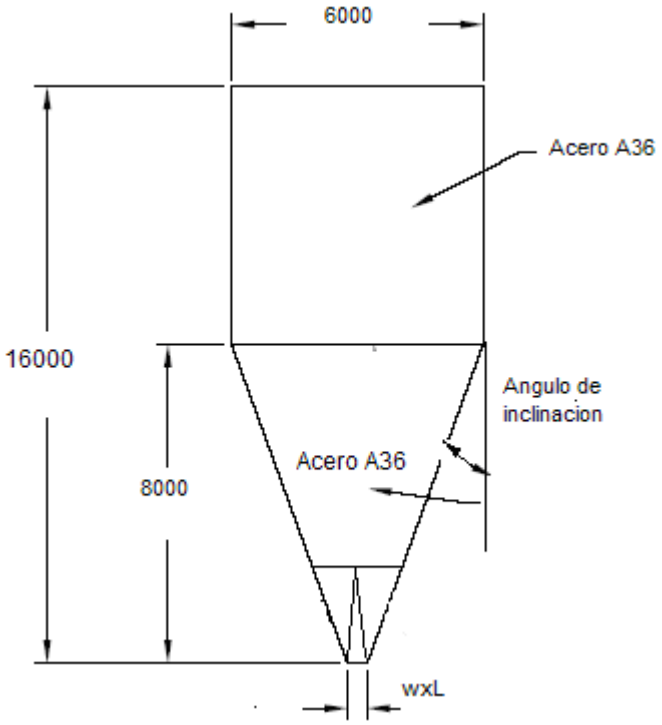



**Figura 4.1. Dimensiones de la Tolva**

**Características del flujo de materiales**

Dependiendo de la manera en que se desplazan los sólidos en la tolva, existen 3 tipos de flujo del sólido que se pueden presentar en una tolva ( mostrados en la figura 4.2 ), estos son: El Flujo de Masa y el Flujo de Embudo; existe también una combinación de ambos llamado Flujo Expandido.

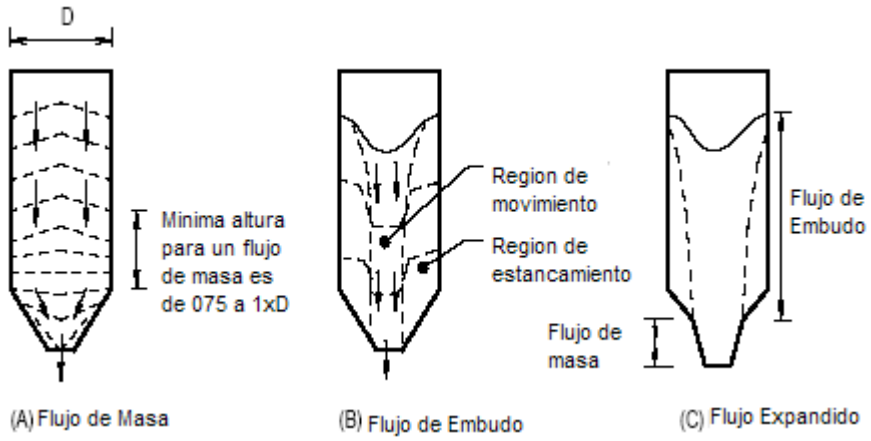



**Figura 4.2. Diferentes tipos de Flujos en una Tolva**

El Flujo de Masa se da cuando *todo* el producto ( incluyendo el cercano a las paredes ) que se encuentra dentro de la tolva se desplaza cuando hay una descarga de material, aunque no necesariamente con la misma velocidad. Un parámetro con el cual se puede esperar que la tolva trabaje como “flujo de masa” es la altura mínima que debe tener la tolva en su parte cilíndrica, la cual debe de estar entre 0.75 a 1 veces el diámetro del cono. El Flujo de Embudo se produce cuando *solo* fluye el producto que se encuentra en el núcleo central de la tolva cuando hay una descarga de material, mientras que el material cerca de las paredes esta estacionario y solo sale de la tolva cuando todo el material ubicado en el centro halla salido, es decir, lo que primero ingresa será lo ultimo salga. El Flujo Expandido es una combinación del “Flujo de masa” a la salida de la tolva y “Flujo de embudo” en la parte superior de la tolva. En la Tabla 4.1. se

indican las principales características de tolvas de flujo de masa y tolvas de flujo de Embudo.

**TABLA 4.1**

**CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE TOLVAS CON FLUJO DE MASA Y DE EMBUDO**

| Tolvas de Flujo de masa | Tolvas de Flujo de Embudo |
|---|---|
| ❄ Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga.<br>❄ El Flujo es uniforme.<br>❄ La densidad del flujo es constante.<br>❄ Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente.<br>❄ No quedan productos en zonas muertas donde pudieran degradarse.<br>❄ Mayor altura de la tolva.<br>❄ Uso efectivo de la totalidad de la tolva.<br>❄ Lo primero que entra, primero sale. | ❄ **Las partículas se segregan y permanecen segregadas.**<br>❄ La primera porción que entra es la ultima en salir.<br>❄ **Pueden haber puntos muertos hasta que se realiza la limpieza completa del sistema.**<br>❄ Los productos tienden a formar puentes o arcos y luego a que se formen agujeros durante la descarga.<br>❄ El flujo es errático.<br>❄ La densidad puede variar<br>❄ Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente.<br>❄ Baja altura de la tolva.<br>❄ Reducción de la capacidad efectiva de almacenamiento. |

[4] PERRY, Manual del Ingeniero Químico, tomo3

Por las características antes mencionadas en la tabla 4.1, la mejor opción de flujo para el diseño de una tolva es el de “flujo de

masa". El ángulo del cono tomado con respecto a la vertical, debe estar en el rango de $40^0$ a $0^0$ para que se cumpla el flujo de masa. Cuando se tiene un sitio donde *no* se puede colocar un equipo de gran altura, el diseño de la tolva tendrá un flujo de embudo debido a que el flujo de masa necesita que la tolva posea una gran altura.

**Forma de la Tolva**

Existe gran variedad de modelos de tolvas, en este caso en particular, se utiliza una tolva de forma cilíndrica en la parte superior y en la parte inferior una forma cónica que termina en un cambio de sección a rectangular. La figura 4.3 muestra el tipo de tolva que se utiliza.

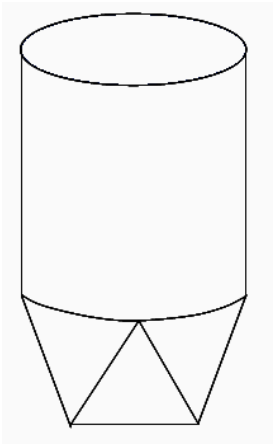


**Figura 4.3. Tolva cónica con cambio de sección a rectangular**

**Propiedades del carbón**

Para el diseño de la tolva, se deben conocer las propiedades intrínsecas del material y el medio en el que actúa, como son: Angulo de Reposo, Coeficiente de fricción Interna y Coeficiente de fricción de Pared.

Angulo de Reposo

Es el ángulo con respecto a la horizontal que forma el material cuando se encuentra almacenado, el ángulo de reposo del carbón Bituminoso con un terrón mayor a 19mm es de $45^0$

Coeficiente de fricción Interna

El coeficiente de fricción interna (δ), es la rugosidad que existe del material consigo mismo. En la tabla 4.2 se muestra los coeficientes de fricción para algunos sólidos. Para el carbón Mineral esta en $\delta = 48.7^0$.

Coeficiente de fricción de Pared

El coeficiente de fricción de pared ($\mu$), es la rugosidad que hay en el interior de la tolva entre su pared y el sólido almacenado; este coeficiente se lo expresa como un "ángulo" de pared de fricción, $\phi_w$ = arctan ( $\mu$ ), y su valores se muestra en la tabla 4.2. Para el carbón mineral se toma un promedio de los dos valores, $\phi_w = 24.6^0$.

**TABLA 4.2**

**PROPIEDADES FISICAS DE MATERIALES COHESIVOS**

| Material | Gravedad especifica ($kN/m^3$) | Angulo de pared de fricción | ángulo de fricción Interna |
|---|---|---|---|
| Piedra caliza (humedad 5%) | 15 | 34.0<br>37.0 | 57.8<br>56.0 |
| Piedra Caliza (humedad 3.2%) | 12.92 | 34.0<br>30.5 | 45.5<br>45.5 |
| Yeso | 12.85 | 38.2 | 54.1<br>54.6 |
| carbón Mineral | 8.00 | 26.5<br>22.7 | 48.7<br>48.9 |
| Cemento | 14.45 | 35.0<br>35.0 | 51.8<br>41.9 |

[24] JENIKE, Jenike's metod for hopper design

**Determinación del Angulo y Diámetro Crítico de salida del Cono.**

Se debe determinar el mínimo tamaño que debe tener la sección de salida para que no ocurra trabamiento o arqueamiento del carbón consigo mismo y/o del carbón con las paredes. Existen normas que indican que el diámetro de salida de la tolva no debe tener menos de 10 a 12 veces el diámetro del sólido descargado; si el carbón posee un diámetro aproximado de 50mm, entonces, el diámetro mínimo de salida de la tolva *sería* de 500mm a 600mm, este es un resultado para tener una idea de la dimensión que tendría la tolva, pero *no* se debe usar para el diseño de la misma. En la figura4.4. se indica los parámetros a encontrar para que el carbón fluya normalmente.

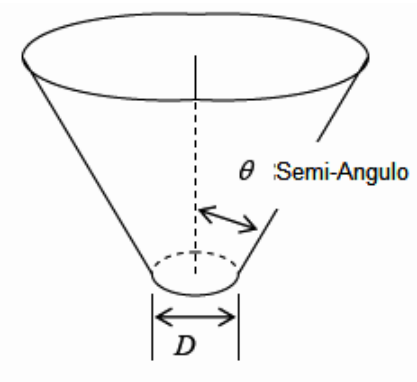



**Figura 4.4. Parámetros que rigen el "flujo de masa"**

**Factor de Flujo**

Las fuerzas que actúan en el carbón que se encuentra en la tolva, tienden a compactarlo y las fuerzas cortantes que genera tienden a hacerlo fluir. La relación del esfuerzo producido por la compactación($\sigma_1$) para el esfuerzo radial aplicado ($\sigma_{r)AS}$) es un valor constante llamado factor de flujo " ff ". La ecuación 4.1 muestra esta relación[13]:

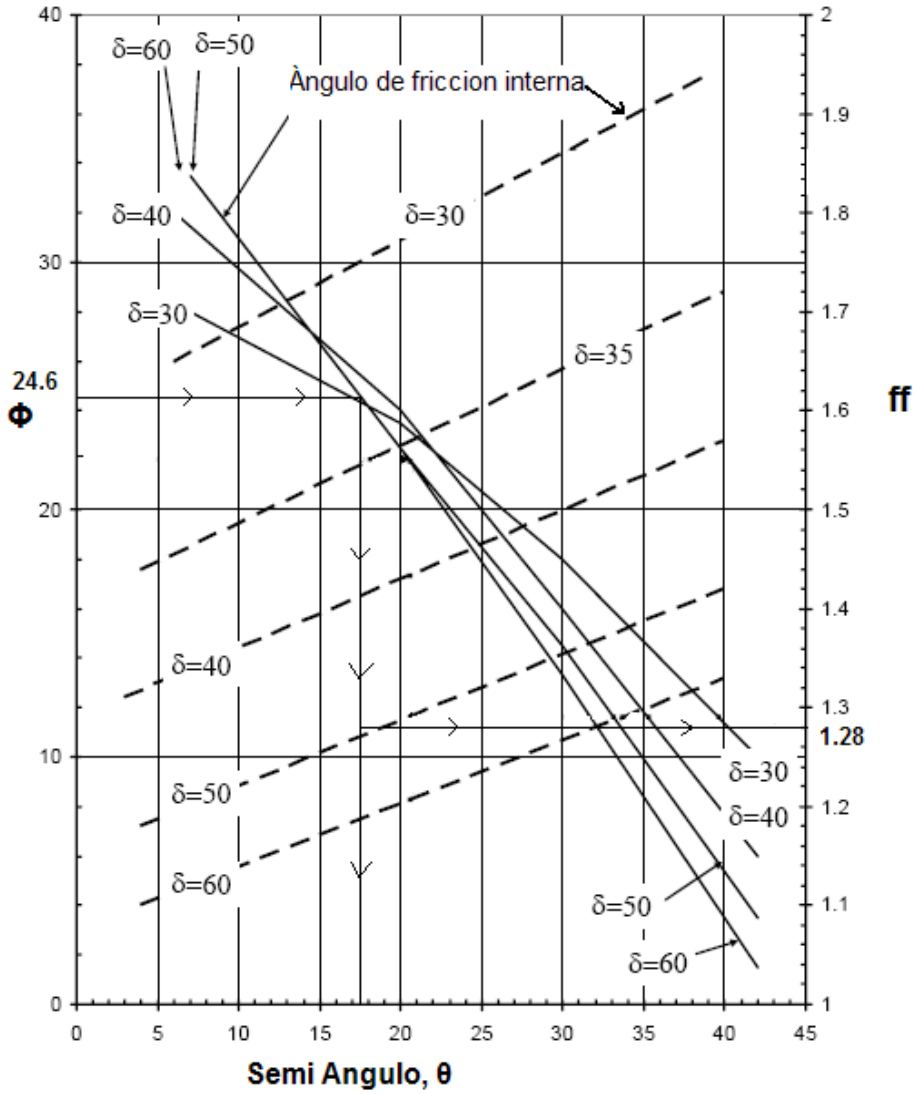
$$\text{Factor de Flujo, } ff = \frac{\text{Esfuerzo de Compactamiento}}{\text{Esfuerzo vertical aplicado}} = \frac{\sigma_1}{\sigma_{y)AS}} \qquad 4.1$$

El factor de flujo ff se lo obtiene de la figura 4.5, a la cual se ingresa con en ángulo de fricción de la pared $\Phi_w = 24.6^0$ y el ángulo de fricción interna del material $\delta = 48.7^0$, para obtener un factor de flujo **ff =1.26**, además se halla el semi ángulo **$\theta = 17.5^0$** que deberá tener el cono para que exista flujo.

**Relación entre el flujo de masa y el embudo**

Para conocer si el material fluirá con flujo de masa o de embudo se ingresa a la figura 4.6 con el coeficiente de fricción de pared

"$\phi_w$=24.6$^0$" y el semi-ángulo del cono "$\theta$=17.5$^0$" y se observa que se tendrá "flujo de masa" como característica principal en el diseño de la tolva.




[13] Jenike, A.W., "Storage and Flow of Solids".

**Figura 4.5. Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida cónica.**

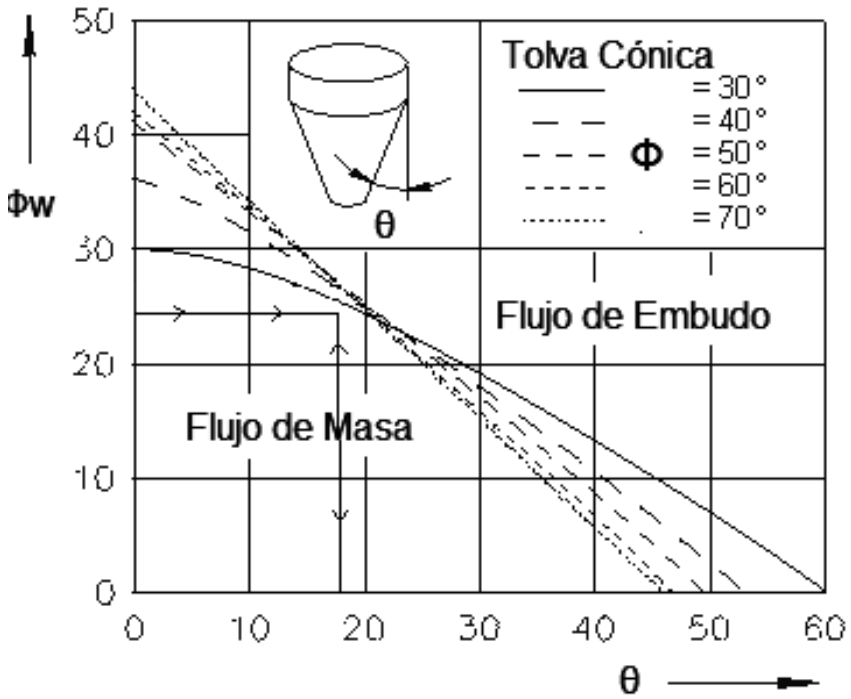



**Figura 4.6. Tipo de Flujo en el Cono**

El carbón fluye a través de la tolva debido a que su propio peso vence el esfuerzo cortante producido por el metal. En la parte cilíndrica el material fluye normalmente debido a que el cilindro posee un gran área transversal, pero en el caso de la parte cónica el esfuerzo radial o interno producido por el carbón disminuye a medida que se acerca a la salida y si el diámetro pequeño, el material se compactará formando un "arco" y no fluirá ya que el esfuerzo interno radial es muy pequeño para vencer el esfuerzo de compactación $\sigma_1$ producido por el arco; este fenómeno marca la diferencia con los fluidos, en el cual, la presión y el flujo aumentan con la altura. La resistencia que

produce el arco o esfuerzo de compactación ($\sigma_1$) se lo relaciona con el esfuerzo de fluencia que se necesita para hacer fluir el material ( $f_c$ ).

$$f_c = E\left[\left(\frac{\sigma_1}{F}+1\right)^{1/q}+1\right] \qquad 4.2$$

Donde E, F y q son constantes que dependen de las características intrínsecas del material y sus valores para diferentes sólidos se muestran en la tabla 4.3. Para el caso del carbón mineral E=0.20, F=0.04 y q=1.88, reemplazando estos valores se obtiene el esfuerzo de fluencia del material en función del esfuerzo de compactación.

$$f_c = E\left[\left(\frac{\sigma_1}{F}+1\right)^{1/q}+1\right]$$

$$f_c = 0.20\left[\left(\frac{\sigma_1}{0.04}+1\right)^{1/1.88}+1\right] \qquad 4.3$$

Para que exista flujo se debe cumplir que el esfuerzo radial que genera el material debe ser mayor al esfuerzo de compactación producido por el arco.

**TABLA 4.3**

**FACTORES PARA EL CALCULO DE LA FUNCION DE FLUJO**

**PARA MATERIALES COHESIVOS**

| Material | E (kPa) | F (kPa) | q |
|---|---|---|---|
| Piedra caliza (humedad 5%) | 0.33<br>0.40 | 0.04<br>0.04 | 1.80<br>1.95 |
| Piedra Caliza (humedad 3.2%) | 0.41<br>0.41 | 0.10<br>0.10 | 1.89<br>1.89 |
| Yeso | 0.38<br>0.41 | 0.10<br>0.08 | 1.60<br>1.72 |
| carbón Mineral | 0.25<br>0.20 | 0.04<br>0.04 | 1.93<br>1.88 |
| Cemento | 0.50<br>0.41 | 0.10<br>0.05 | 1.90<br>2.06 |

[24] JENIKE, Jenike's metod for hopper design

$$\sigma_y \geq fc$$

Por lo que se debe igualar las ecuaciones 4.1 y 4.3 para conocer el esfuerzo vertical mínimo ($\sigma_{y)min}$) donde el material comienza a fluir. En la figura 4.7 se muestra la distribución de los esfuerzos verticales y de fluencia en función del esfuerzo de compactación.

$$\sigma_{y)min} = fc$$

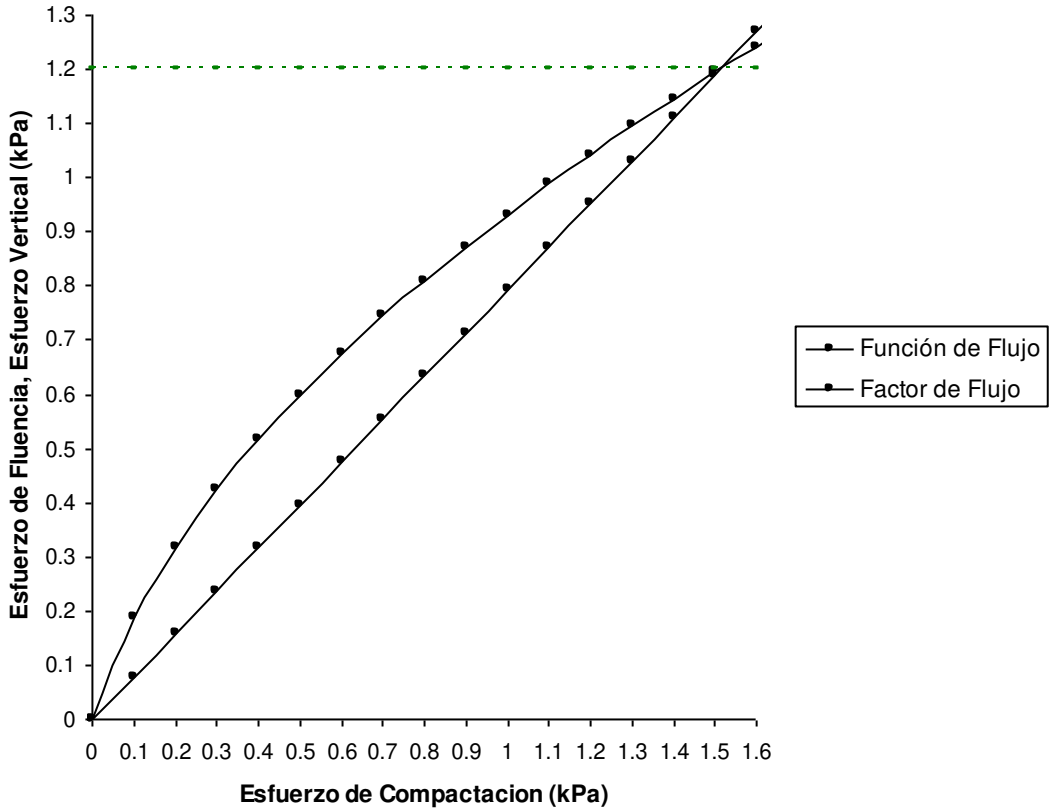



**Figura 4.7. Esfuerzo Vertical Mínimo para que Fluya el Carbón en la sección Cónica**

$$(1/\ \mathrm{ff})\sigma_1 = \mathrm{E}\left[\left(\frac{\sigma_1}{\mathrm{F}}+1\right)^{1/\mathrm{q}}+1\right]$$

$$(1/1.26)\sigma_1 = 0.20\left[\left(\frac{\sigma_1}{0.04}+1\right)^{1/1.88}+1\right]$$

$$\sigma_1 = 1.512\mathrm{kPa}$$

Reemplazando este resultado en la ecuación 4.1 se obtiene:

$$\sigma_{\mathrm{y)min}} = (1/1.26)(1.512\mathrm{kPa})$$

$$\sigma_{\mathrm{y)min}} = 1.2\mathrm{kPa}$$

Este es el mínimo esfuerzo vertical que debe tener el carbón en la sección cónica para que no se produzca un arco o trabamiento del material.

El Diámetro crítico se lo expresa en función del esfuerzo vertical mínimo, el semi-ángulo del cono y la densidad, su formula es[24]:

$$\mathrm{d} = \mathrm{H}(\theta).\frac{\sigma_{\mathrm{y)min}}}{\rho.\mathrm{g}} \qquad 4.4$$

donde H(θ) es un factor de ángulo.

$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta}{60}$$

$$H(\theta) = 2 + \frac{17.5^0}{60}$$

$$H(\theta) = 2.292$$

El diámetro mínimo de salida de una tolva cónica es:

$$d = H(\theta).\frac{\sigma_{y)\min}}{\rho.g}$$

$$d = 2.292.\frac{1.2\text{kPa}}{(480\,\text{kg/m}^3)(9.807\,\text{m/s}^2)}$$

$$d = 0.4\text{m}$$

**Calculo de las Dimensiones de la ranura de salida**

El Diámetro mayor, el semi-ángulo y el diámetro crítico de salida del cono son los parámetros que se necesitan para calcular el canal de salida. La figura 4.8 muestra la geometría del cono y los parámetros que se necesitan encontrar.

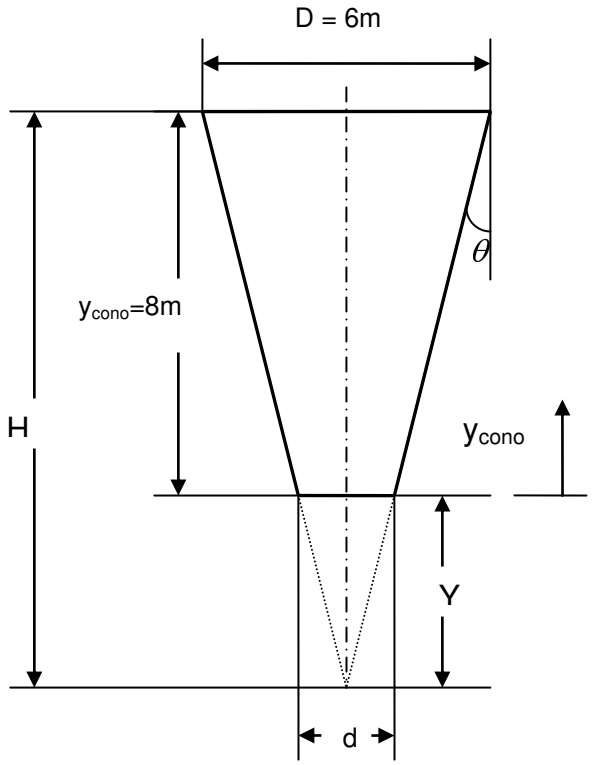



**Figura 4.8. Geometría del cono**

Por relación de triángulos se obtiene Y:

$$\tan\theta = \frac{D/2}{y_{cono} + Y} = \frac{d/2}{Y} \qquad 4.5$$

$$Y = \frac{y_{cono}.d}{D - d} \qquad 4.6$$

De la ecuación 4.5 se toman los dos primeros términos, se reemplaza el valor de Y de la ecuación 4.6, y se despeja D primero y luego d:

$$D = d + 2.y_{cono}.\tan\theta \qquad 4.7$$

$$d = D - 2.y_{cono}.\tan\theta \qquad 4.8$$

Donde se observa que el diámetro de salida *d* del cono va a estar en función del diámetro de entrada y de la inclinación del cono. Debido a que el semi ángulo del cono salió $\theta = 17.5^0$, el diámetro de entrada es de 6m y la altura es de 8m, se puede entonces obtener el diámetro de salida del cono.

$$d = 6m - 2(8m)(\tan 17.5^0)$$
$$d = 0.955\,m$$

El diámetro de salida *d* es mayor que el diámetro critico igual a 0.4m, por lo que, el diámetro encontrado es valido para el diseño de la tolva y será el diámetro hidráulico $D_H$, para poder obtener las dimensiones del canal.

$$D_H = \frac{4.Area}{Perimetro}$$
$$D_H = \frac{4..W.L}{2(W+L)}$$

$$D_H = \frac{2.WL}{W+L} = 0.955 \qquad 4.9$$

En vista que se tiene una ecuación con dos incógnitas, se procede a dar valor a una incógnita para así encontrar las dimensiones del canal; el largo del canal tendrá un valor de L=1.5m, por lo que despejando de la ecuación 4.9, W será:

$$W = \frac{0.955.L}{2.L - 0.955}$$

$$W = \frac{0.955(1.5)}{2.(1.5) - 0.955}$$

$$W = 0.70\text{m}$$

Las dimensiones de la ranura de salida serán de **1500x700mm**

**Esfuerzos en Estado Activo y Estado Pasivo**

El Estado Activo ocurre cuando la tolva se esta llenando, el material que ingresa se va amontonando y ejerce presión sobre las paredes El Estado Pasivo ocurre durante la descarga y es mas critico en la parte cónica debido a que se forman arcos que generan elevados esfuerzos de compactación. Por lo que cuando se diseña, se debe considerar el esfuerzo en estado pasivo como el “Máximo Esfuerzo” que se genera en el cono. En la figura 4.9 se muestra el flujo del material y distribución de esfuerzos durante el llenado y descarga de la tolva.

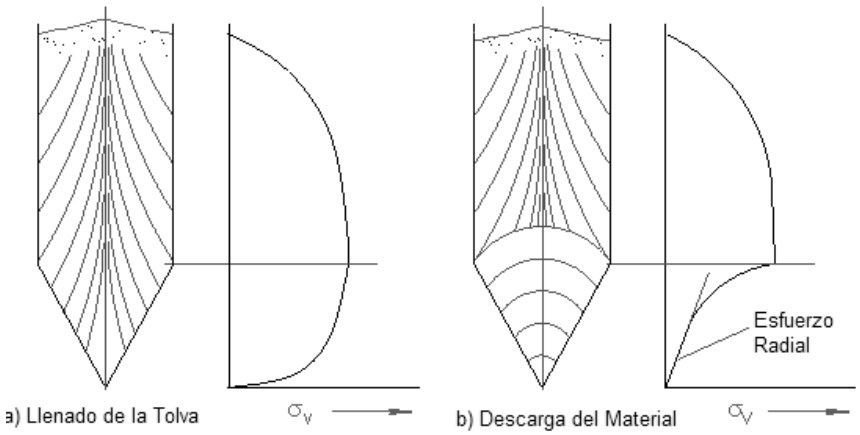



**Figura 4.9. Flujo del carbón a lo largo de la tolva.**

## Diseño de la Tolva

El diseño de la tolva se dividirá en 2 partes; la primera es el diseño de la sección cilíndrica y la segunda parte es la sección cónica.

## Diseño de la sección cilíndrica de la Tolva

Esfuerzos actuando en el Cilindro

Para determinar los esfuerzos que esta soportando el cilindro, se analizará su sección transversal como se muestra en la figura 4.10, donde se toma un diferencial dy y se colocan todas las fuerzas que intervienen en el diferencial. La primera fuerza ($\sigma_y$.A) es la fuerza causada por la velocidad del sólido, la

segunda fuerza $-(\sigma_y + d\sigma_y)A$ es la fuerza de reacción actuando hacia arriba, la tercera fuerza ( $\rho^0.\mathrm{A}dz.\mathrm{g}$ ) es el peso del carbón en el cilindro y la cuarta fuerza ($\tau.\pi.D.dy$ ) es la fuerza de fricción causada por el rozamiento entre el carbón y las paredes.

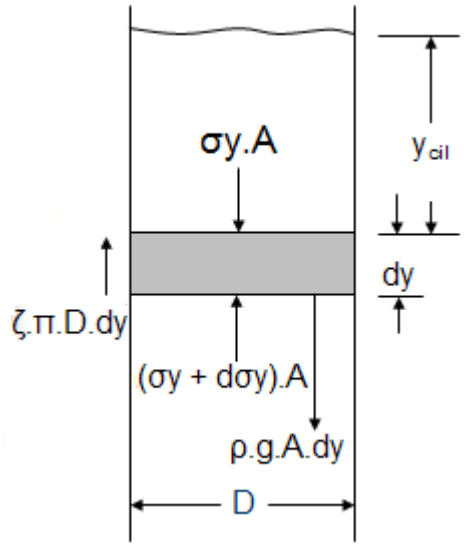



**Figura 4.10. Sección transversal de la parte cilíndrica**

Realizando el equilibrio de fuerzas del elemento diferencial dy, a lo largo del cilindro se obtiene:

$$\mathrm{A}\sigma_y - \mathrm{A}(\sigma_y + \mathrm{d}\sigma_y) - \tau_R.\pi.\mathrm{D.dy} + \rho.\mathrm{A.dy.g} = 0 \qquad 4.10$$

Donde $\sigma_y$ es el esfuerzo vertical actuando a lo largo del cilindro y $\tau_r$ es el esfuerzo cortante actuando hacia arriba en las paredes

del cilindro. El esfuerzo cortante en la pared se relaciona con el esfuerzo normal actuando en dirección radial de la pared, $\sigma_n$, mediante el coeficiente de fricción.

$$\tau_R = \mu . \sigma_n \qquad 4.11$$

Para el caso de materiales sólidos, la relación entre el esfuerzo de pared y la esfuerzo normal de compresión es proporcional mediante el "constante de Janssen, $K_{cil}$" [20].

$$\sigma_n = K_{cil} . \sigma_y \qquad 4.12$$

El coeficiente de Janssen es determinado mediante el ángulo de fricción interna del carbón y su formula es:

$$K_{cil} = 1.2(1 - \text{sen}\delta) \qquad 4.13$$

$$K_{cil} = 1.2(1 - \text{sen}48.7^0)$$
$$K_{cil} = 0.2984$$

Reemplazando las ecuaciones 4.11, 4.12 y $A=\pi.D^2/4$ en la ecuación 4.10, reordenando y despejando $d\sigma_y$ se tiene:

$$d\sigma_y = -\frac{4.\mu.K_{cil}}{D}\left(\sigma_y - \frac{\rho.g.D}{4.\mu.K_{cil}}\right)dy \qquad 4.14$$

Integrando la ecuación 4.14. con la condición de borde en el cual el esfuerzo normal de compresión es cero a la entrada de la tolva, $\sigma_y = 0$ en y=0.

$$\sigma_y = \frac{\rho.g.D}{4.\mu.K_{cil}}\left[1 - \exp\left(-\frac{4.\mu.K_{cil}.y_{cil}}{D}\right)\right] \qquad 4.15$$

Reemplazando todos los datos obtenidos en la ecuación 4.15. se tiene que:

$$\sigma_y = \frac{\rho.g.D}{4.\mu.K_{cil}}\left[1 - \exp\left(-\frac{4.\mu.K_{cil}.y_{cil}}{D}\right)\right]$$

$$\sigma_y = \frac{(800kg/m^3)(9.807m/s^2)(6m)}{4(\tan 24.6^0)(0.298)}\left[1 - \exp\left(-\frac{4(\tan 24.6^0)(0.298)y_{cil}}{6m}\right)\right]$$

$$\sigma_y = 86256.42\left[1 - \exp\left(-0.091(y_{cil} - 3)\right)\right] \qquad 4.16$$

$$\sigma_{y=7.9m} = 31039 \text{ Pa}$$

Relacionando la constante de Janssen, encontramos de la ecuación 4.12 el esfuerzo normal que realiza el carbón.

$$\sigma_n = K_{cil}.\sigma_y$$
$$\sigma_n = (0.298)\,8256.42\left[1-\exp\left(-0.091(y_{cil}-3)\right)\right]$$
$$\sigma_n = 25704\left[1-\exp\left(-0.091(y_{cil}-3)\right)\right]$$
$$\sigma_{n)\,y=7.9m} = 9222Pa$$

De la ecuación 4.11 se encuentra el esfuerzo cortante que están sometidas las paredes en el momento de la descarga es:

$$\tau_r = \sigma_n.\tan\phi_w$$
$$\tau_r = 25704\left[1-\exp\left(-0.091(y_{cil}-3)\right)\right](\tan 24.6^0)$$
$$\tau_{r)\,y=7.9m} = 4222Pa$$

**Presión Estática en el Cilindro**

Para conocer cual es el esfuerzo critico con el que se va a diseñar el cilindro, se debe encontrar ahora la presión estática, la cual es el esfuerzo normal que soporta las paredes del cilindro cuando el carbón esta en reposo.

$$P_{cilindro} = \rho^0.g.y$$
$$P_{cilindro} = (800kg/m^3)(9.807m/s^2)(y_{cil}-3) \qquad 4.17$$
$$P_{cilindro)\,y=7.9m} = 38443Pa$$

**Esfuerzos en el Cono**

En la figura 4.11 se muestra la distribución *lineal* de los esfuerzos de en la sección cónica para un sólido en reposo; para este caso solo se considera el esfuerzo de pared, $\sigma_{no}$, debido a que hay un flujo constante del carbón, es decir, el esfuerzo de pared en la salida debe ser $p_{nu}=0$. La figura 4.12 muestra la distribución *lineal* del "pico" que se produce en el cambio de sección cuando hay flujo de material. Se *debe sumar* estas dos distribuciones de presión la distancia $b_s$ indicada en la figura 4.12. Esta modificación *sólo* se la realiza para los esfuerzos normales, no para los esfuerzos verticales ni cortantes. Se utiliza las correlaciones de la norma DIN[33] para encontrar los esfuerzos que se generan en el cono.

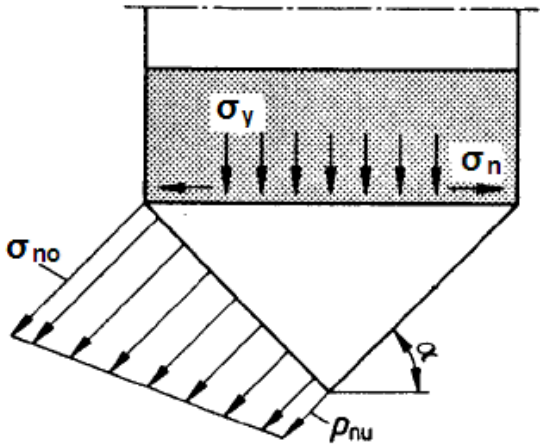



**Figura 4.11.Distribución de los esfuerzos en el Cono.**

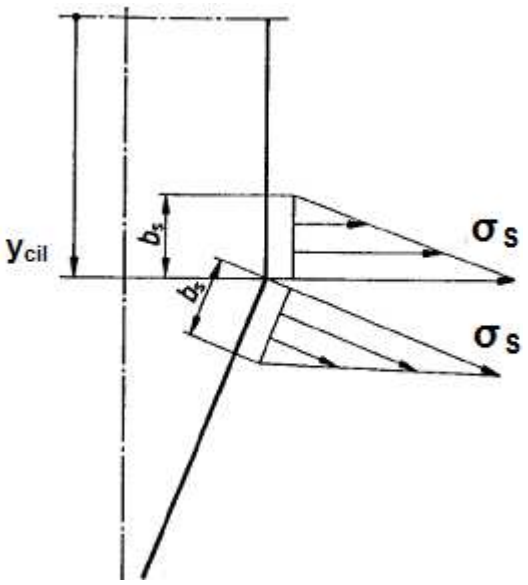



**Figura 4.12. Distribución del Pico de presión.**

El esfuerzo de Pared, $\sigma_{no}$, está dado por la ecuación 4.18, donde Cb es 1.8 para manejo de sólidos, $\alpha = 90^0 - \theta = 72.5^0$.

$$\sigma_{no} = (\sigma_{y=7.9m}.C_b.\cos^2\alpha + \sigma_{n\,)\,y=7.9m}\text{sen}^2\alpha)(1+\frac{\text{sen}2\alpha}{2\tan\phi_w}) \qquad 4.18$$

$$\sigma_{no} = (31039\cos^2 72.5^0 + 9222\text{sen}^2 72.5^0)(1+\frac{\text{sen}2(72.5^0)}{2\tan 24.6^0})$$

$$\sigma_{no} = 18933\text{Pa}$$

A este esfuerzo de pared, se le debe *añadir en el tramo $b_s$* (como se muestra en la figura 4.12) un esfuerzo de pared $\sigma_S$ que será el menor de $\sigma_{S1}$ y $\sigma_{S2}$.

$$\sigma_{S1} = \delta.g.y_{cil}$$

$$\sigma_{S2} = \delta.g.D$$

$$\sigma_{S2} = \delta.g.D$$
$$\sigma_{S2} = (800kg/m^3)(9.807m/s^2)(6m)$$
$$\sigma_{S2} = 47074Pa$$

El Esfuerzo de pared $\sigma_{s1} = P_{cilindro)\,y=7.9m} = 61960Pa$ (encontrada en la ecuación 4.17); por consiguiente se escoge $\sigma_{s2}$. El tramo $b_s$ donde se sumarán "$\sigma_{no}+\sigma_{s2}$ " y "$\sigma_y+\sigma_{s2}$ " es:

$$b_s = 0.3D$$
$$b_s = 0.3(6m)$$
$$b_s = 1.8m$$

El coeficiente de Janssen para el cono es diferente que el cilindro, este se lo determina mediante la siguiente formula[20].

$$K_{cono} = \left[\frac{1+sen\delta.cos2\phi_w}{1-sen\delta}\right].\tan\phi_w$$
$$K_{cono} = \left[\frac{1+sen48.7^0.cos2(24.6^0)}{1-sen48.7^0}\right].\tan(24.6^0)$$
$$K_{cono} = 2.758$$

Los Esfuerzos Verticales y Cortantes se los obtiene con la ecuación 4.12 y 4.11 respectivamente.

$$\sigma_{y)cono} = \sigma_{no} / K_{cono}$$
$$\sigma_{y)cono} = 18933 / 2.758$$
$$\sigma_{y)cono} = 6864\ Pa$$

$$\tau_{r)cono} = \sigma_{no} . \tan \phi_{w}$$
$$\tau_{r)cono} = 18933 \tan 24.6^{0}$$
$$\tau_{r)cono} = 8668 Pa$$

Los esfuerzos antes calculados son los esfuerzos en la parte mas alta del cono, estos esfuerzos se los distribuye *linealmente* a lo largo del cono hasta su vértice (ver figura 4.7) donde el esfuerzo es cero. Los valores de los esfuerzos se muestran en el Apéndice Z. La distribución de esfuerzos a lo largo de toda la tolva se muestra en la figura 4.13.

Con la Ayuda del software SILO STRESS TOOL[35], se encuentra una distribución de esfuerzo muy similar que los encontrados por formulas; los valores se adjuntan en el Anexo.

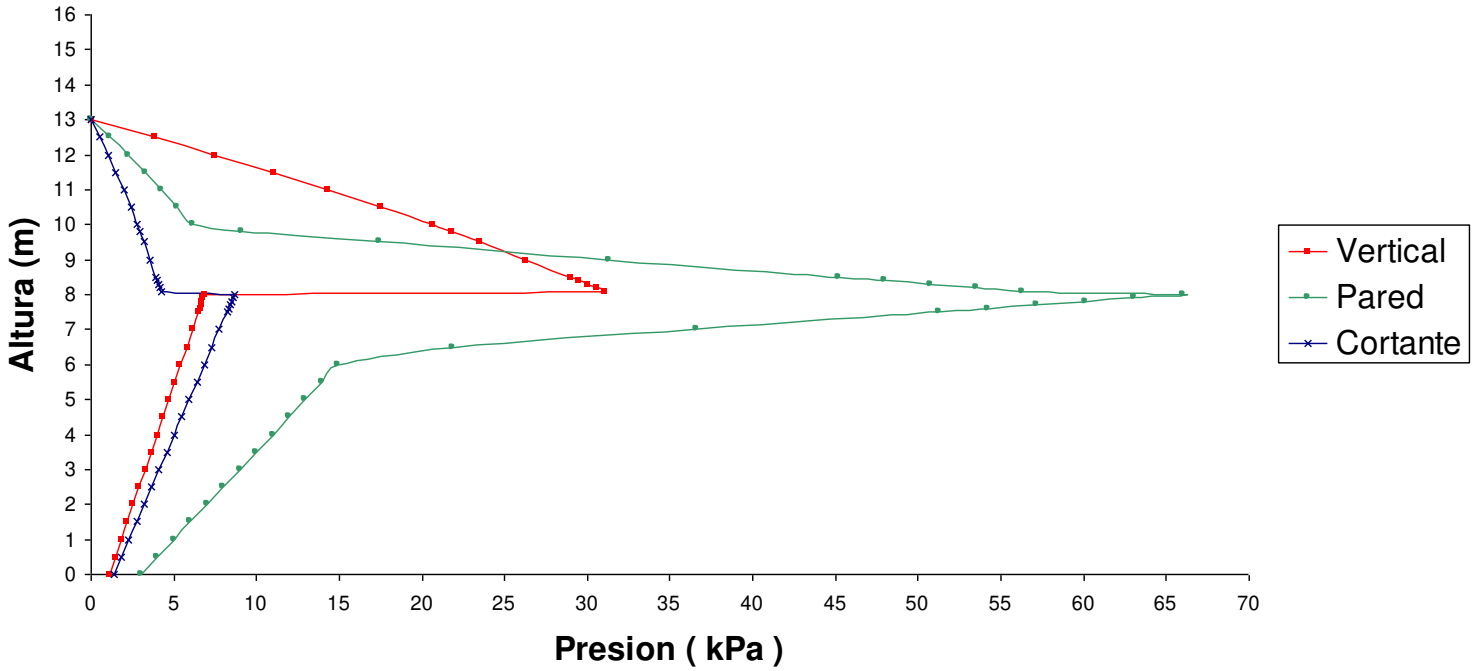



**Figura 4.13. Distribución de los Esfuerzos a lo largo de la Tolva**

**Espesores de la Tolva**

La correlación de SCHORTH[39] indica el rango en el tiene que estar el espesor de la tolva:

$$\frac{r_{cil}}{800} \leq t_{cil} \leq \frac{r_{cil}}{200}$$

$$\frac{3000mm}{800} \leq t_{cil} \leq \frac{3000mm}{200}$$

$$3.75mm \leq t_{cil} \leq 15mm$$

Se utiliza el software SAP2000[37] para analizar por Elementos Finitos los esfuerzos y deformaciones que se generan en la estructura de tolva; se encuentra que el máximo desplazamiento es 1.75mm y se encuentra localizado en el nivel 16m de la tolva y el máximo esfuerzo de compresión localizado en el cambio de sección de cilíndrico a cónico es -78118094Pa para un espesor de 11mm para el cilindro y 15mm el cono. En el Anexo se adjunta el modelo de la tolva y la distribución de esfuerzos. Debido a que el esfuerzo varía con la altura, se pueden colocar espesores mas pequeños donde los esfuerzos sean menores, los espesores cambiaran cada 2m de altura debido a que este es el ancho de una plancha de acero. La figura 4.14 muestra la distribución de los espesores.

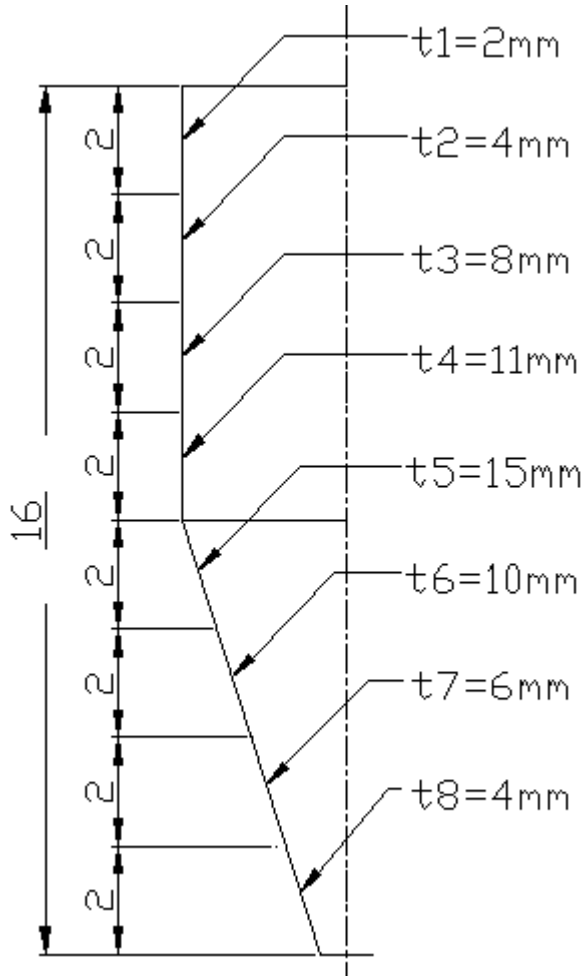



**Figura 4.14. Espesores en la Tolva**

Las Figuras 4.15 y 4.16 muestran los espesores de los anillos y las platinas rigidizadoras para el cilindro y el cono respectivamente. Las formulas a continuación son correlaciones formuladas por HERZIG[40] y SCHROTH[39].

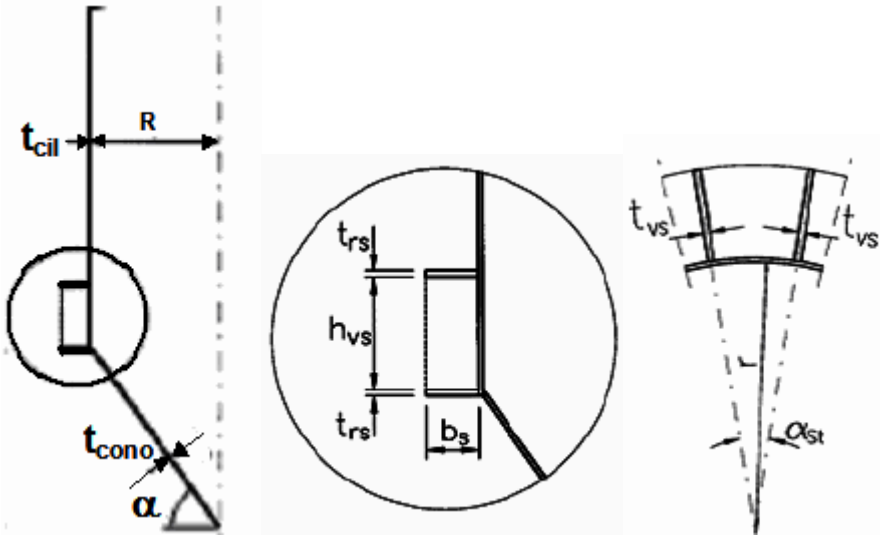



**Figura 4.15. Espesores de Anillos y Platinas del Cilindro**

Espesor del anillo rigidizador para la seccion cilindrica, $t_{RS}$

$$2.t_{cil} \leq t_{RS} \leq 8.t_{cil}$$
$$2.(11mm) \leq t_{RS} \leq 8(11mm)$$
$$22mm \leq t_{RS} \leq 88mm$$
$$t_{RS} = 22mm$$

Ancho del anillo rigidizador en la parte cilíndrica, $b_S$:

$$15.t_{cil} \leq b_S \leq 50.t_{cil}$$
$$15(11mm) \leq b_S \leq 50(11mm)$$
$$165mm \leq b_S \leq 550mm$$
$$b_S = 300mm$$

Altura del Soporte, $h_{vs}$:

$$h_{vs} = 0.11\sqrt{\frac{r_{cil}}{t_{cil}}}.\frac{b_s.t_{vs}}{t_{cil}}$$

$$h_{vs} = 0.11\sqrt{\frac{(3000mm)}{(11mm)}}.\frac{(300mm)(20mm)}{11mm}$$

$$h_{vs} = 991 \approx 1000mm$$

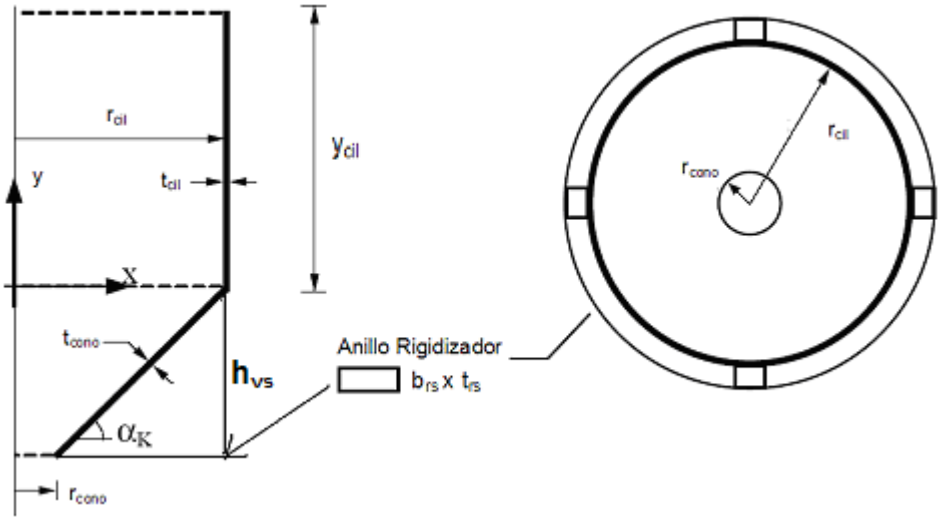



**Figura 4.16. Dimensiones del Anillo Rigidizador del cono**

Ancho del anillo rigidizador para la sección cónica, $b_{RS}$:

$$15.t_{cil} \leq b_{RS} \leq 50.t_{cil}$$

$$15(15mm) \leq b_{RS} \leq 50(15mm)$$

$$225mm \leq b_{RS} \leq 750mm$$

$$b_{RS} = 315mm$$

Espesor del anillo rigidizador para la sección cónica, $t_{RS}$

$$2.t_{cono} \leq t_{RS} \leq 8.t_{cono}$$
$$2.(15mm) \leq t_{RS} \leq 8(15mm)$$
$$30mm \leq t_{RS} \leq 120mm$$
$$t_{RS} = 30mm$$

**Diseño de la Válvula Guía**

La Válvula Guía o Pin Gate se la diseñará para que soporte el cabezal de presión del carbón mineral; esta presión se la multiplica por el área de la ranura de la tolva para obtener la fuerza que soportaran los pines; se la divide para la longitud del pin y para el numero aproximado de pines que irán en la ranura, así se obtiene la carga distribuida para un solo pin ($\omega_{pingate}$ ). La Figura 4.17 indica su distribución de esfuerzos.

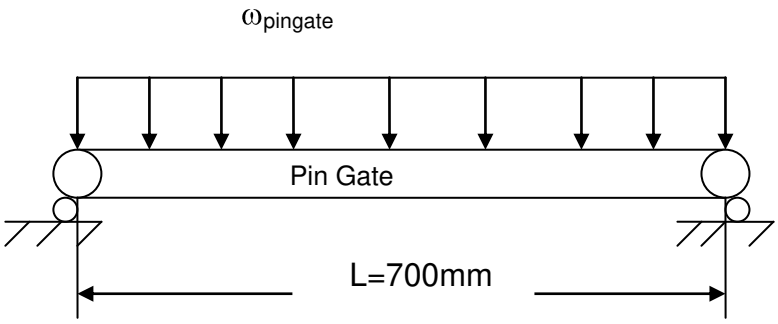



**Figura 4.17. Distribución de los esfuerzos en el Pin Gate**

La presión estática que soporta el Pin Gate es igual a la presión estática que soporta el cono en la parte inferior es decir:

$$P_{y=16m} = \rho.g.(y-3)$$
$$P_{y=16m} = (800kg/m^3)(9.807m/s^2)(13m)$$
$$P_{y=16m} = 101993Pa$$

Carga distribuida por Pin:

$$w_{pingate} = \frac{P_{cono}.A_{ranura)cono}}{L_{pingate.}\#_{pingate}} = \frac{(101993\ Pa)(0.7mx1.5m)}{(0.7m)(36)}$$
$$w_{pingate} = 4250\ N/m$$

El Momento máximo ocurre en la mitad del Pin y es:

$$M_{max} = \frac{w_{pingate}xL_{pingate}^{\ 2}}{8}$$
$$M_{max} = \frac{4250N/mx0.7m^2}{8}$$
$$M_{max} = 260N.m$$

El Esfuerzo de flexión máximo ocurre en la mitad de la sección transversal del pin y es:

$$\sigma_{max} = \frac{32.M_{max}}{\pi.D^3_{pingate}}$$

El material del cual estará diseñado el Pin Gate es Acero AISI 4140 con una resistencia a la fluencia S = 4250x10$^6$ Pa. Igualando la ecuación anterior con la ecuación de factor de seguridad ( N=1.4) y despejando el diámetro del pin-gate se tiene:

$$D_{pingate} = \sqrt[3]{\frac{32.M_{max}.N}{S.\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32(260N.m)(1.4)}{425x10^6.\pi}}$$
$$D_{pingate} = 0.020m = 20mm$$

**Numero de Pin Gates**

El espaciamiento entre Pin y Pin es de 20mm, por consiguiente hay un pin-gate cada 40mm; observar plano PC-PIN-22. Si la longitud Total donde se colocan los pines es el largo de la ranura 150mm, entonces, el número de pines es:

$$\#Pines = \frac{\text{Longitud de la ranura}}{40mm} = \frac{1500mm}{40mm}$$
$$\#Pines = 37.5 \approx 36$$

**Peso del carbón en la Tolva**

Para Calcular el peso del carbón, primero se calcula el volumen que ocupa y luego se lo multiplica por su densidad de bulto.

Volumen que ocupa el carbón

El Volumen que ocupa el carbón en la tolva se divide en dos volúmenes; el volumen que ocupa el carbón en el cilindro $\forall_{cil)_{carbón}}$, y el volumen que ocupa el carbón en el cono, $\forall_{cono)carbon}$.

*Volumen que ocupa el carbón en el cilindro*

$$\forall_{cil)_{carbón}} = \frac{\pi.D^2}{4}.y_{cil}$$

$$\forall_{cil)_{carbón}} = \frac{\pi(6m)^2}{4}.(8m)$$

$$\forall_{cil)_{carbón}} = 226.2m^3$$

*Volumen que ocupa el carbón en el Cono*

$$\forall_{cono)_{carbón}} = \frac{\pi}{12} y_{cono} (D^2 + D.d + d^2)$$

$$\forall_{cono)_{carbón}} = \frac{\pi}{12} (8m)[(6m)^2 + (6m)(0.955m) + (0.955m)^2]$$

$$\forall_{cono)_{carbón}} = 89.31m^3$$

Debido a que el carbón va a tener un ángulo de reposo, $\theta_R$=45$^0$, se debe restar el volumen de la parte hueca que se forma; para esto, encuentra el volumen de un cilindro que tiene una altura h = $r_{cil}$ .tan$\theta_R$ y se lo resta por un volumen de cono que posee igual altura y el diámetro del cono va a ser el diámetro del cilindro D.

h = $r_{cil}$ .tan$\theta_R$

h = 3m . tan 45$^0$

h = 3m

$$\forall_{cil)_h} = \frac{\pi.D^2.h_c}{4}$$

$$\forall_{cil)_h} = \frac{\pi(6m)^2(3m)}{4}$$

$$\forall_{cil)_h} = 84.823m^3$$

$$\forall_{\text{cono})_h} = \frac{\pi.D^2.h_c}{12}$$
$$\forall_{\text{cono})_h} = \frac{\pi(6\text{m})^2(3\text{m})}{12}$$
$$\forall_{\text{cono})_h} = 28.274\text{m}^3$$

Por consiguiente, el volumen total que puede almacenar la tolva $\forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}}$ y el peso de carbón $m_{\text{carbón}}$ que ocupa en la tolva son respectivamente:

$$\forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}} = \forall_{\text{cil})_{\text{carbón}}} + \forall_{\text{cono})_{\text{carbón}}} + \forall_{\text{cono})_h} - \forall_{\text{cil})_h}$$
$$\forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}} = 226.19\text{m}^3 + 89.31\text{m}^3 + 28.274\text{m}^3 - 84.823\text{m}^3$$
$$\forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}} = 258.951 \approx 260\text{m}^3$$

$$m_{\text{carbón}} = \rho_{\text{carbón}} \forall_{\text{Total})_{\text{carbón}}}$$
$$m_{\text{carbón}} = (0.8\text{ton}/\text{m}^3)(260\text{m}^3)$$
$$m_{\text{carbón}} = 208 \approx 210\text{ton}$$

**Peso del Metal en la Tolva**

Se debe considerar que existen diferentes espesores en la tolva (ver figura 4.14), esto variará según la altura por consiguiente, se toma un espesor promedio para la parte cilíndrica y cónica.

$$t_{promedio)cil} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$
$$t_{promedio)cil} = 2mm + 4mm + 8mm + 11mm$$
$$t_{promedio)cil} = 6.25mm$$

$$t_{promedio)cono} = t_5 + t_6 + t_7 + t_8$$
$$t_{promedio)cono} = 15mm + 10mm + 6mm + 4mm$$
$$t_{promedio)cono} = 8.75mm$$

Peso del Cilindro

Al igual que para el calculo de la capacidad de la tolva, primero se calcula los volúmenes y luego se encuentra el peso. El volumen total del metal en la parte cilíndrica es:

$$\forall_{cil)_{metal}} = \pi.D.y_{cil}.t_{promedio)cil}$$
$$\forall_{cil)_{metal}} = \pi.(6m)(8m)(6.25x10^{-3}\,m)$$
$$\forall_{cil)_{metal}} = 0.942m^3$$

El peso de la parte cilíndrica es:

$$m_{cil)metal} = \rho_{ac}.\forall_{cil)metal}$$
$$m_{cil)metall} = (7.85ton/m^3)(0.942m^3)$$
$$m_{cil)metal} = 7.4ton$$

*Peso del cono*

Debido a que la parte baja de la tolva es una sección cónica que cambia a sección rectangular, y por ende un sólido *irregular*, para el análisis del dimensionamiento y esfuerzos se trabaja al sólido con un cono truncado. Para encontrar el volumen del cono, primero se calcula las áreas.

*área del Cono Truncado*

Antes de encontrar el área longitudinal o lateral del Cono Truncado $A_{cono)2}$, se debe encontrar la directriz del cono "s".

$$s = \sqrt{h_{cono}^{\ 2} + (R_{cono} - r_{cono})^2}$$
$$s = \sqrt{(8m)^2 + (3m - 0.4775m)^2}$$
$$s = 8.388m$$

El área del cono truncado es:

$$A_{cono)_2} = \frac{\pi.(D+d)}{2}.s$$
$$A_{cono)_2} = \frac{\pi.(6m+0.955m)}{2}(8.388)$$
$$A_{cono)_2} = 91.641m^2$$

El volumen total del metal en el cono truncado es:

$$\forall_{\text{cono)}_{\text{metal}}} = A_{\text{cono)}_2}.t_{\text{promedio)cono}}$$
$$\forall_{\text{cono)}_{\text{metal}}} = (91.641\text{m}^2)(8.75\text{x}10^{-3}\,\text{m})$$
$$\forall_{\text{cono)}_{\text{metal}}} = 0.802\text{m}^3$$

El peso de la parte cónica es:

$$m_{\text{cono)metal}} = \rho_{\text{ac}}.\forall_{\text{Total}}$$
$$m_{\text{cono)metal}} = (7.85\text{ton}/\text{m}^3)(0.802\text{m}^3)$$
$$m_{\text{cono)metal}} = 6.3\text{ton}$$

Peso de la Tapa de la Tolva

La Tapa de Tolva posee un diámetro de 6m y un espesor de 5mm; en el centro posee una ranura de 900x700mm. Para calcular su masa, primero se calcula el volumen neto ( restando el volumen de la ranura) y luego se multiplica por la densidad.

$$\forall_{tapa)neto} = \forall_{tapa} - \forall_{ranura}$$
$$\forall_{tapa)neto} = \frac{\pi.D^2.t}{4} - W_r.L_r.t$$
$$\forall_{tapa)neto} = \frac{\pi(6m)^2(0.005m)}{4} - (0.7m)(0.9m)(0.005)$$
$$\forall_{tapa)neto} = 0.138m^3$$

$$m_{tapa} = \forall_{tapa)neto} \cdot \rho_{ac}$$
$$m_{tapa} = (0.138m^3)(7.85ton/m^3)$$
$$m_{tapa} = 1.1ton$$

**Peso total de la Tolva**

El Peso total es la suma de todas los pesos que involucran la tolva.

$$m_{Total} = m_{carbón} + m_{cil)metal} + m_{cono)metal} + m_{tapa}$$
$$m_{Total} = 210ton + 7.4ton + 6.2ton + 1.1ton$$
$$m_{Total} = 225.7ton \approx 230ton$$

**Diseño de las vigas de la Tapa de la Tolva**

La tapa de la Tolva tiene un diámetro de 6m y debajo de ella se encuentran cuatros vigas W, las cuales ayudan a rigidizar la tapa para evitar un posible pandeo. Las cargas que soporta la tapa

son su peso como carga muerta y el peso de las personas como carga viva.

El peso propio de la tapa es :

$$W_{tapa} = m_{tapa}.g = (1090kg)(9.807m/s^2)$$
$$W_{tapa} = 10689.63 \approx 10700N$$

Si convertimos el peso en una carga distribuida dividiéndola para el diámetro el cual va a ser el largo de la viga:

$$w_{tapa} = \frac{W_{tapa}}{D_{tapa}} = \frac{10700\ N}{6m}$$
$$w_{tapa} = 1783.33 \approx 1784\ N/m = Cm$$

La carga viva de las personas es de 50Kg/m$^2$, se la multiplica por el área y por la gravedad para obtener el peso, y se la divide para el diámetro de la tapa el cual es la longitud de la viga para obtener el peso como carga distribuida.

$$w_{personas} = \frac{50kg/m^2 x A_{tapa} xg}{D_{tapa}} = \frac{50kg/m^2 x \frac{\pi.D^2_{tapa}}{4} xg}{D_{tapa}}$$
$$w_{personas} = (50kg/m^2)(\frac{\pi.6m}{4})(9.807m/s^2)$$
$$w_{personas} = 2311N/m = Cv$$

La carga de diseño Recomendada por el manual de la AISC[25] es:

$$w_u = 1.2Cm + 1.6Cv$$
$$w_u = 1.2(1784N/m) + 1.6(2311N/m)$$
$$w_u = 5838.4 \approx 5850N/m$$

El momento máximo que soporta una viga empotrada en los extremos es:

$$M_{max} = \frac{w_u.L^2}{12}$$
$$M_{max} = \frac{(5850N/m)(6m^2)}{12}$$
$$M_{max} = 17550Nm$$

El momento máximo debe de ser menor al límite de fluencia dado por:

$$M_{max} \leq \phi_b.F_y.Z_x$$

donde $\Phi_b$ es un factor de resistencia a la fluencia igual a 0.9, $F_y$ es la resistencia ultima a la fluencia y $Z_x$ es el modulo Plástico que depende de la geometría del material. Reemplazando los valores $z_x$ se tiene que:

$$M_{max} \leq \phi_b . F_y . Z_x$$

$$Z_x \geq \frac{M_{max}}{\phi_b . F_y} = \frac{17550 N.m}{(0.9)(200x10^6 N/m^2)}$$

$$Z_x \geq 9.75x10^{-5} m^3 \geq 5.95 in^3$$

Con este modulo plástico se ingresa a la tabla 1 que se encuentra en Anexos y se encuentra que el perfil de viga mas económico es **W6x9**, es habrá 4 vigas con este perfil.

**Tiempo de llenado de la Tolva**

El flujo másico ingresa de carbón a la tolva ( ver Plano PC-TOLV-20 ) es de 80ton/h, y la capacidad máxima de la tolva es de 210 ton, por ende el tiempo de llenado será:

$$t_{llenado} = \frac{m_{carbón}}{m_{entrada}}$$

$$t_{llenado} = \frac{210 ton}{80 ton/h}$$

$$t_{llenado} = 2.625 = 2 hora, 37 minutos \text{ y } 0 segundos$$

### 4.2.2.-TRANSPORTADOR DE RASTRA

El Transportador de rastra (TR), debe tener un ancho mínimo igual al ancho de la ranura de salida de la tolva, esto es, el ancho tiene que ser igual o superior a 700mm. El flujo másico a transportar debe ser muy superior al entregado a BT-3 debido a que en una emergencia o problema en la tolva se requiere que el carbón sea evacuado rápidamente, es por esa razón que el transportador rastra será seleccionado con un flujo másico de *100 toneladas por hora* .El Transportador es de fondo plano porque estos desplazan mayores capacidades. La velocidad lineal del transportador es de *0.5m/s*. Para ingresar a la tabla para seleccionar el transportador se requiere conocer el flujo volumétrico a transportar.

$$Q_{rastra} = \frac{\dot{m}_{rastra}}{\rho^0} = \frac{(100 ton/h)}{(0.8 ton/m^3)}$$

$$Q_{rastra} = 125 m^3/h$$

Se ingresa a la tabla 4.4 con el flujo volumétrico y la velocidad lineal de 0.5m/s y se observa que el transportador rastra que cumple con esos requerimientos es el de serie 1400F de 350mm de ancho, esto es la mitad de ancho que se necesita, por lo que

se sabe de antemano que para un ancho de 700mm el transportador rastra cumplirá con la capacidad requerida.

**TABLA 4.4**

**CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR RASTRA**

| Series | Tamaño (mm) | Velocidad (m/s) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.5 | | 0.76 | | 1 | |
| | | $M^3/h$ | RPM | $m^3/h$ | RPM | $m^3/h$ | RPM |
| 900F | 225 | 113 | 42 | 180 | 62 | 241 | 82 |
| 1400F | 350 | 238 | 27 | 358 | 40 | 477 | 54 |
| 1800F | 450 | 382 | 22 | 576 | 33 | 767 | 44 |
| 2000F | 500 | 467 | 20 | 702 | 30 | 934 | 39 |

[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC

La tabla 4.5 muestra la potencia por longitud que requiere el transportador, pero no existe información para un transportador de 700mm, entonces toma el de 350mm y se lo multiplica por un factor de 4 porque se observa en la tabla 4.5 que la potencia se cuadriplica, cuando el ancho se duplica, por consiguiente, para un tamaño de 350mm y a una velocidad de 0.5m/s, la potencia por longitud es de 0.44HP/m, multiplicando este valor por un factor de 4 se tiene 1.76 HP/m, si la rastra tiene una longitud de 5m, entonces se requiere un motor con una potencia de **8.8≈10HP.**

**TABLA 4.5**

**POTENCIA POR METRO DE LONGITUD**

| Series | tamaño (mm) | Potencia | | | Máxima Longitud de la cadena (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | HP/m | | | |
| | | 0.5 | 0.76 | 1 | |
| 900F | 225 | 0.23 | 0.35 | 0.46 | 73 |
| 1400F | 350 | 0.44 | 0.67 | 0.89 | 66 |
| 1800F | 450 | 0.74 | 1.12 | 1.48 | 106 |
| 2000F | 500 | 0.92 | 1.38 | 1.83 | 91 |

[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC

Existen muchas compañías fabricantes de este tipo de equipos. Existiendo equipos estándares como los indicados en las tablas; o como en nuestro caso, un equipo que se solicita bajo pedido. Para realizar el pedido del transportador de rastra, se debe especificar la distancia entre centros, restricciones físicas como el ancho o altura, tipo de material manipular, rango de capacidades a movilizar, tipo de alimentación y tipo de descarga. Los proveedores de transportadores rastra son MARTIN (USA), KOCH (ALEMANA), BESTA (ALEMANA) y FLITE-VEYOR (USA). La figura 4.18 representa el esquema del Transportador Rastra a utilizar.

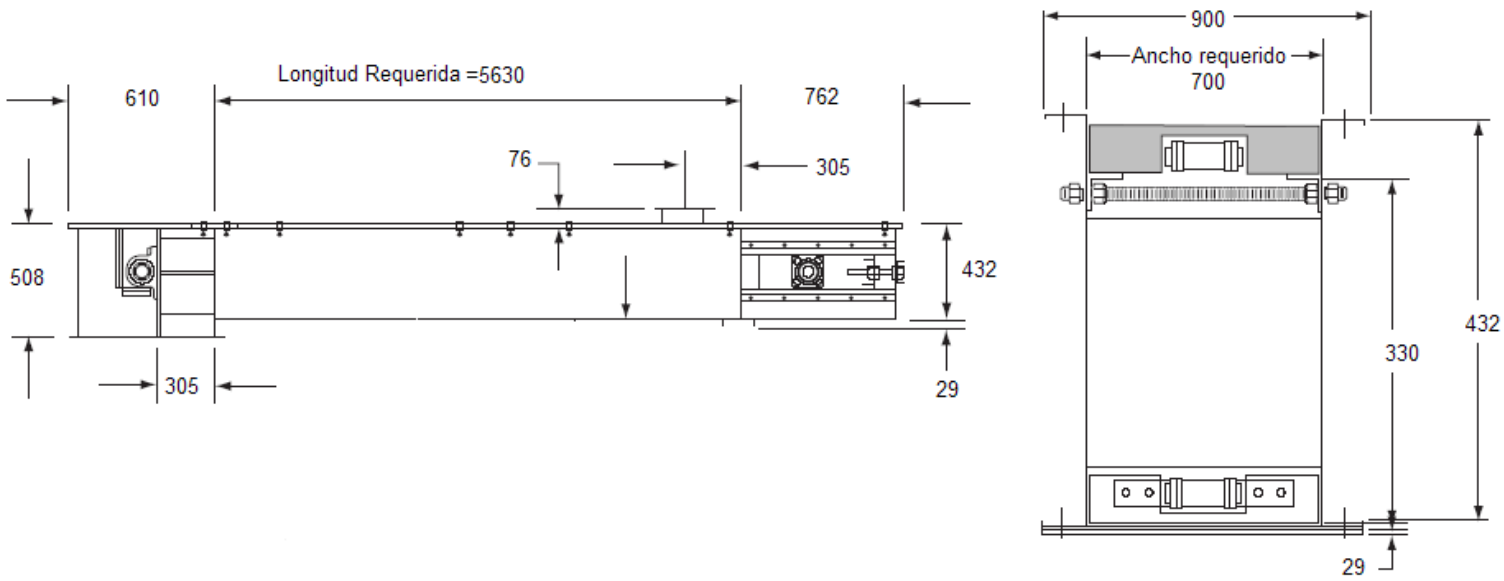



**Figura 4.18. Esquema del Transportador Rastra para BT-3**

### 4.2.3.- BANDA TRANSPORTADORA.

La Tercera Banda Transportadora BT-3 mostrada en la figura 4.19, se ubica en el nivel 9.2m del Edificio (ver plano PC-EDF-05) y va a transportar horizontalmente el carbón hacia el molino. Se ingresan al software las características de la tabla 3.1, la longitud horizontal que recorre la banda igual a 12m y aunque la capacidad requerida es de 30 toneladas por hora para entregar al molino, se diseñará BT-3 con una capacidad de 100ton/h, esto se debe a que en casos de emergencias como por ejemplo la combustión del carbón en el interior de la tolva, se requiere que se evacue el material lo mas pronto posible.

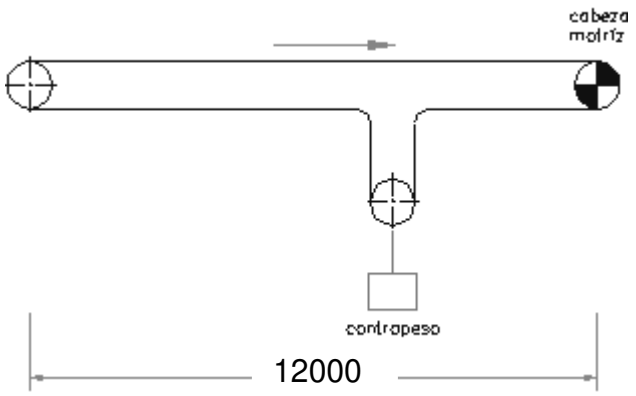



**Figura 4.19. Esquema de BT-3**

El ancho de la Banda y el tipo de rodillo Superior son los mismos que para BT-1 y BT-2; la velocidad de la Banda es de 1m/s para así generar la menor cantidad de polvo en el Edificio. Con estos parámetros, el software da los siguientes resultados:

Capacidad máxima Calculada = 142.19 ton/h

Carga del material por metro de Banda = 28 Kg/m

**Calculo de Fuerzas y Potencias**

El coeficiente de fricción, el peso de la banda, el peso de los rodillos superiores e inferiores, el espaciamiento entre rodillos superiores e inferiores, la eficiencia del motor, la eficiencias mecánicas de reductores de velocidad y la longitud total de la guías son iguales que para BT-1 y BT-2; con estos parámetros se obtienen las fuerzas y potencias que actúan en BT-3, la cual se muestran en la tabla 4.6 y 4.7 respectivamente.

**TABLA 4.6**

**FUERZAS QUE ACTUAN EN BT-3(*1)**

| | |
|---|---|
| Fuerza para mover la banda en vacío y componentes móviles | 240 |
| Fuerza para desplazar el material horizontalmente | 280 |
| Fuerza total para mover la banda en servicio | *520* |

**(*1) Todas las fuerzas están en Newton (N)**

**TABLA 4.7**

**POTENCIAS QUE ACTUAN EN BT-3**

| | | |
|---|---|---|
| Potencia Total teórica | KW | 1.48 |
| Potencia por guías de carga | kW | 0.96 |
| Potencia Requerida | kW | 1.65 |
| | HP | *2.2* |

**Calculo de Tensiones**

El Coeficiente de fricción tambor-banda, ángulo de contacto, la flecha máxima permisible son iguales que para BT-1 y BT-2. La tabla 4.8 muestra las tensiones que actúan en BT-3.

**TABLA 4.8**

**TENSIONES QUE ACTUAN EN BT-3 (*1)**

| | |
|---|---|
| Tensión mínima para evitar el pandeo | 3176 |
| Tensión Efectiva | 1480 |
| Tensión mínima que debe tener el contrapeso | 6352 |
| Tensión en el contrapeso | 8000 |
| Tensión del lado apretado $T_1$ | *5480* |
| Tensión del lado flojo $T_2$ | *4000* |
| Tensión de retorno $T_3$ | *4110* |
| Tensión de trabajo unitaria | *9 N/mm* |

**(*1) Todas las tensiones están en Newton (N) excepto la tensión unitaria**

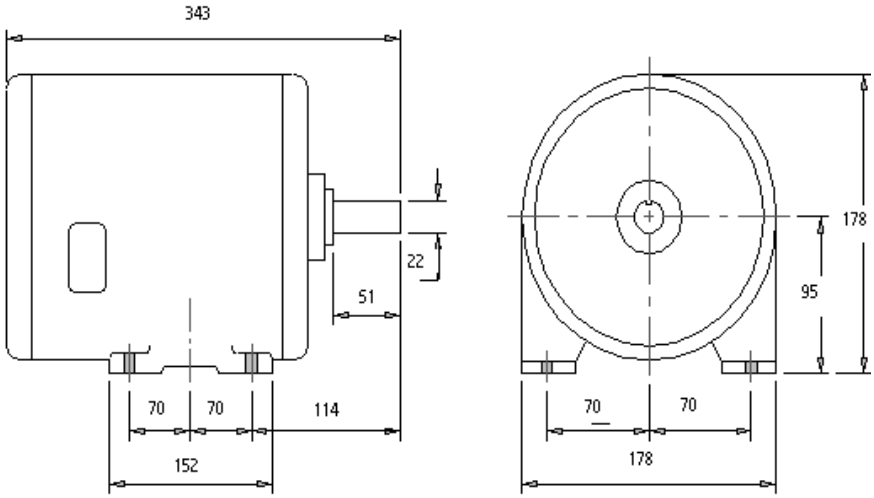
**Motor eléctrico**

La potencia requerida que se calculo que necesita el motor es de 2.92 HP, por lo tanto se selecciona un motor cerrado con una potencia de 3 HP a 1800 rpm. La tabla 4.9 y la figura 4.20 muestran las características del motor eléctrico y sus dimensiones respectivamente.

**TABLA 4.9**

**CARACTERISTICAS DEL MOTOR ELECTRICO PARA BT-3**

| FRAME del motor: 182T cerrado | | |
|---|---|---|
| Potencia | HP | **3** |
| Velocidad Angular | rpm | 1800 |
| Eficiencia del motor | % | 95 |
| Eficiencia de transmisión | % | 94 |
| Peso | Kg | 36 |
| Diámetro de los pernos | mm | 8 |
| Longitud de los pernos | mm | 25 |




Referencia: Normas Nema, publicación MG-1-1993 para motores de corriente alterna jaula de ardilla.

**Figura 4.20 Dimensiones del Motor Eléctrico 145T**

**Selección del tipo de banda**

La resistencia mínima requerida ( tensión unitaria mínima ) que se calculo que debe tener la banda es de 7 N/mm, por consiguiente se procede seleccionar una banda con una mayor resistencia igual a 40 N/mm (para que las 3 bandas tengan la misma resistencia) y con 4 lonas en la carcasa. Con esta resistencia y número de lonas, las características que tendrá la banda se muestran en la tabla 4.10.

**TABLA 4.10**

**CARACTERISTICAS DE BT-3**

| Banda EP400 de mediana resistencia a la abrasión | | |
|---|---|---|
| Resistencia | N/mm | 40 |
| Espesor de la cubierta superior | mm | 5 |
| Espesor de la cubierta inferior | mm | 1.5 |
| Peso aproximado en un milímetro | $kg/m^2$ | 1.14 |
| Espesor de la carcasa | mm | 7.2 |
| Espesor de la cobertura | mm | 6.5 |
| Peso aproximado por lona | $Kg/m^2$ | 2.5 |
| Espesor aproximado por lona | mm | 1.8 |
| Peso de la carcasa | $kg/m^2$ | 10 |
| Peso de la cobertura | $Kg/m^2$ | 7.41 |
| Peso de la banda | Kg/m | 10.62 |
| Peso total de la cinta | Kg | 254.88 |
| Espesor total de la cinta | mm | 13.7 |

**Selección de los rodillos**

La condiciones externas a las que van a estar sometidos los rodillos, el desalineamiento en los rodillos superiores e inferiores, la clasificación CEMA y los tipos de rodillos inferiores son las mismas que para BT-1 y BT-2. En la tabla 4.11 se indican las características de los rodillos superiores e inferiores.

**TABLA 4.11**

**CARACTERISTICAS DE LOS RODILLOS SELECCIONADOS**

| Rodillo | Unidades | Superior | Inferior |
|---|---|---|---|
| Clase | | Cema B | Cema B |
| Tipo | | Terna | Plano |
| Angulo | $^0$ | 35 | 0 |
| Diámetro | mm | 102 | 102 |
| Espaciamiento | m | 1.4 | 3 |
| Carga | Kg | 55 | 32 |
| Cantidad aproximada | u | 12 | 4 |
| Capacidad de carga | Kg | 186 | 75 |
| Velocidad angular | rpm | 211 | 211 |
| Vida útil | h | 162244 | 162244 |
| Eje | mm | 17 | 17 |
| Material del eje | | Acero macizo | Acero macizo |
| Capacidad dinámica de carga | lb | 2150 | 2150 |
| Rodamiento(*2) | | Bolas 6203-2RS,SKF | Bolas 6203-2RS,SKF |

(*2)Todos los rodamientos son sellados

**Selección y características de los Tambores**

La Distancia entre apoyos en los tambores, el material del eje y la vida del Cojinete serán iguales que para el cálculo de BT-1 y BT-2, el ancho mínimo que debe de tener la polea es de 750 mm. En la figura 3.15 se muestra el esquema de los tambores y en la figura 3.17 indican las dimensiones del Tambor Motriz para BT-3.

La. En la tabla 4.12 con los parámetros dados, se obtienen las características de todas las poleas utilizadas en el diseño de BT-3. El plano PC-BT-17 muestra las características de BT-3.

**Trayectoria del Material**

Con parámetros dados anteriormente se encuentra que el radio de curvatura de la banda es de 175mm y fuerza centrífuga generada 6.85 N/m. Para intervalos de tiempo de 0.05 segundos se obtiene las coordenadas de la trayectoria y la grafica de dicha trayectoria mostrada en la tabla 4.13 y la figura 4.21 respectivamente.

**TABLA 4.13**

**COORDENADAS DE LA TRAYECTORIA DE BT- 3**

| Coordenada | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempo (s) | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| X (mm) | 70 | 140 | 210 | 280 | 350 | 420 |
| Y(mm) | 12.26 | 49.05 | 110.36 | 196.2 | 306.56 | 441.45 |

**TABLA 4.12**

**CARACTERISTICAS DE LOS TAMBORES PARA BT-3**

| **Tambores** | **Motriz** | **Conducido** | **De contacto** | **Desviador 1** | **Desviador 2** | **Contrapeso** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancho de cara ( mm ) | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Diámetro ( mm ) | 400 | 400 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Distancia entre apoyos ( mm ) | 1020 | 1020 | 840 | 840 | 840 | 1020 |
| Fuerza Resultante ( kN ) | 3.21 | 3 | 0.78 | 2.12 | 2.12 | 3 |
| Angulo de contacto ( $^0$ ) | 210 | 180 | 30 | 90 | 90 | 180 |
| Peso del Tambor ( Kg ) | 76 | 76 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Material del eje | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 | AISI 1045 |
| Diámetro del eje ( mm ) | *49* | 49 | 57 | 57 | 57 | 49 |
| Capacidad de carga del rodamiento ( kN ) | 21.43 | 20.12 | 6.31 | 14.65 | 14.65 | 20.12 |
| Torque Máximo ( N.m ) | 36.43 | | | | | |
| Momento flector Máximo ( N.m ) | 296.92 | | | | | |
| Diámetro mínimo del eje ( mm ) | *15* | | | | | |

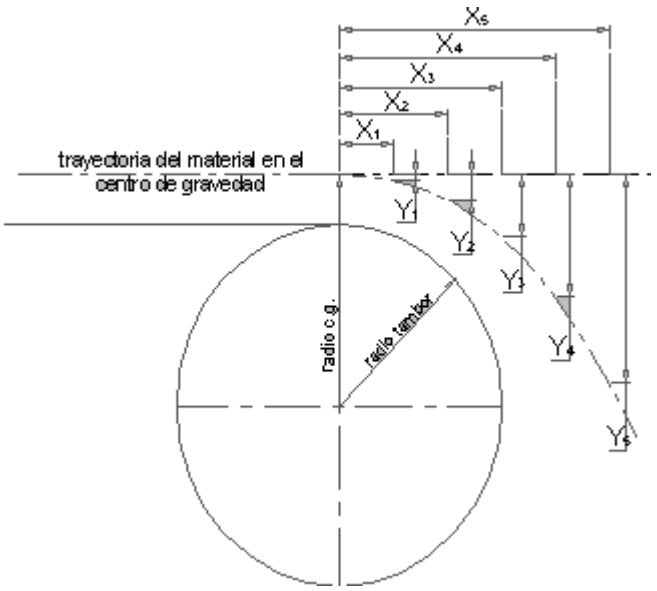



**Figura 4.21. Trayectoria de BT- 3**

**Selección de la caja Reductora**

El diámetro de ambos tambores $\Phi_{tambor)BT\text{-}1}$ (incluido la banda) es de 428mm, la velocidad lineal con que se desplaza BT-3 es 1m/s; por consiguiente la velocidad del tambor es de:

$$\varpi_{\text{tambor})BT-3} = \frac{2.V_{BT-3}}{\phi_{\text{tambor})BT-3}}$$

$$\varpi_{\text{tambor})BT-3} = \frac{2.(1\text{m/s})}{0.428\,\text{m}}$$

$$\varpi_{\text{tambor})BT-3} = 4.67\,\text{s}^{-1} = 45\text{rpm}$$

**Selección de CR-3**

En el Apéndice V se encuentran los diferentes modelos[34] de cajas reductoras, CR-3, para motores de 3HP. Se ingresa con un valor superior a $\varpi_{\text{tambor})BT-3}$; se toma el valor de 71rpm con el cual se tiene $r_{v)BT-3}$ =25 y un modelo *07UWBQ2A25.0A_C.* En el Apéndice X se indican las dimensiones de CR-3, en la figura 3.19 se muestra un esquema de CR-3. Del Apéndice Y, se ingresa con el tamaño del motor 182TC y el modelo de CR-3 y se observa que la caja tiene un peso $W_{CR-1}$ =225lb.

**Selección de Poleas (P-3)**

Para la reduccion faltante ( de 71rpm a 45rpm) se utilizara poleas, la relación de velocidad de las poleas, $r_{vP)BT-3}$, será:

$$r_{vP)BT-3} = \frac{71\text{rpm}}{45\text{rpm}}$$

$$r_{vP)BT-3} = 1.58$$

Del Apéndice Q se obtiene un factor de servicio para una maquina de servicio continuo 1.3; por lo que la potencia de diseño es 1.3x3HP = 4HP; con esta potencia y 1750 rpm del

motor se ingresa al Apéndice R y se obtiene la sección transversal de la polea es de 3V. Del Apéndice S para un motor de 1750 y una potencia de diseño de 4HP se escoge un diámetro mínimo, $\phi_{\text{Pmenor)BT-3}}$=3", por tanto, el diámetro mayor, $\phi_{\text{Pmayor)BT-3}}$ es:

$$\phi_{\text{Pmayor)BT-3}} = r_{\text{vP)BT-3}} . \phi_{\text{Pmenor)BT-3}}$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-3}} = 1.58 \text{ x} 3"$$
$$\phi_{\text{Pmayor)BT-3}} = 4.74 \approx 4.75"$$

Se determina que la polea tenga 3 ranuras; se ingresa al Apéndice AA y se encuentra que para 3" y 4.75", los modelos de las poleas son: *$P_{menor)BT-3}$: 3 3V 300 SH y $P_{mayor)BT-3}$: 3 3V 475 SDS.*

**Peso Total de BT-3**

El peso total de BT-3 incluye el peso de la banda mas el peso de todos los accesorios que van en ella. En la tabla 4.14 se indican los pesos.

**TABLA 4.14**

**PESOS DE LOS ACCESORIOS PARA BT-3**

| Equipo | Masa por longitud (Kg/m) | Masa (kg) | Peso (N) |
|---|---|---|---|
| Rodillos Superiores | 19.54 | 234 | 2300 |
| Estaciones de retorno | 4.44 | 53 | 523 |
| Caucho de la Banda | 14.14 | 170 | 1664 |
| Soporte de estaciones | 94.43 | 1133 | 11113 |
| Parrilla Galvanizada ( $2^{1/2}$" x 30" ) | 22.95 | 275 | 2701 |
| Peso total del Transportador ($m_{BT-3}$) | | ***1870*** | ***18300*** |

**Transportador de Derrame**

El transportador de Derrame (TD-3 ) para BT-3 al igual que los anteriores transportadores, maneja una capacidad del 5% de la capacidad de la banda transportadora ubicada en su parte superior; BT-3 entrega 30 ton/h, por ende la capacidad que maneja TD-3 es de 1.5ton/h. En la tabla 3.23 se observa que para mínima capacidad que maneja un transportador de derrame es de 9ton/h a una velocidad de 0.5m/s y una densidad de bulto de 809 kg/$m^3$ por consiguiente, el largo del ángulo de TD-3 debe ser de 305mm. Ingresando con este Largo a la tabla 3.24 se encuentra las dimensiones de su sección transversal; en la figura

3.23 se muestra dicha sección. Los dos parámetros que se deben conocer para seleccionar un transportador de derrame son el largo del ángulo y la longitud entre centros. En la figura 3.24 se muestra el transportador de derrame, donde la longitud requerida es de 12m. La compañía que distribuye este Producto es QUICK-KEY (USA).

### 4.2.4.- SISTEMA DE PESAJE

**Sistema de Pesaje en la Tolva.**

El sistema de Pesaje (LC) esta compuesto por 4 celdas electrónicas, las cuales soportaran todo el peso de la tolva. La masa total de la tolva es de 230 toneladas, es decir, 57.5 toneladas por celda o 57500 Kg = 126500lb, Ingresando a la tabla 4.15 se selecciona una celda de pesaje con una capacidad de 200000lb y un modelo C2P. En la figura 4.22 se muestran las dimensiones que tiene la celda de pesaje. El proveedor las celdas de pesaje es BLH Electronic, Inc. (USA).

**TABLA 4.15**

**CARACTERISTICAS DE LC**

| CAPACITY KGS (LBS) | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | LOAD CELL TYPE C3P & U3G | | | |
| 227 - 1361 (500 - 3000) | 157.16 (6.188) | 88.90 (3.500) | 101.60 (4.000) | 76.20 (3.000) | 15.88 (.625) | 9.52 (.375) | 15.88 (.625) |
| 2268 - 4536 (5000 - 10000) | 211.14 (8.313) | 88.90 (3.500) | 127.00 (5.000) | 101.60 (4.000) | 22.22 (.875) | 11.11 (.438) | 22.22 (.875) |
| | | | | LOAD CELL TYPE C2P | | | |
| 9072 - 22680 (20000 - 50000) | 247.65 (9.750) | 114.30 (4.500) | 152.40 (6.000) | 127.00 (5.000) | 28.58 (1.125) | 14.29 (.563) | 28.58 (1.125) |
| 45359 (100000) | 317.50 (12.500) | 152.40 (6.000) | 203.20 (8.000) | 152.40 (6.000) | 38.10 (1.500) | 17.46 (.688) | 47.62 (1.875) |
| 90718 (200000) | 423.86 (16.688) | 203.20 (8.000) | 254.00 (10.000) | 203.20 (8.000) | 61.91 (2.438) | 17.46 (.688) | 66.68 (2.625) |

### 4.2.5. SISTEMA DE DESEMPOLVADO

El Colector de Polvos CP-2 estará ubicado en el nivel 21.4m del Edificio, ver plano PC-EDIF-05. Se coloca un Colector de Polvos de Mangas para evitar que el ambiente dentro del edificio se vuelva polvoso, sucio y prevenir alguna ignición; se receptará el polvo proveniente de 6 puntos localizados, estos son:

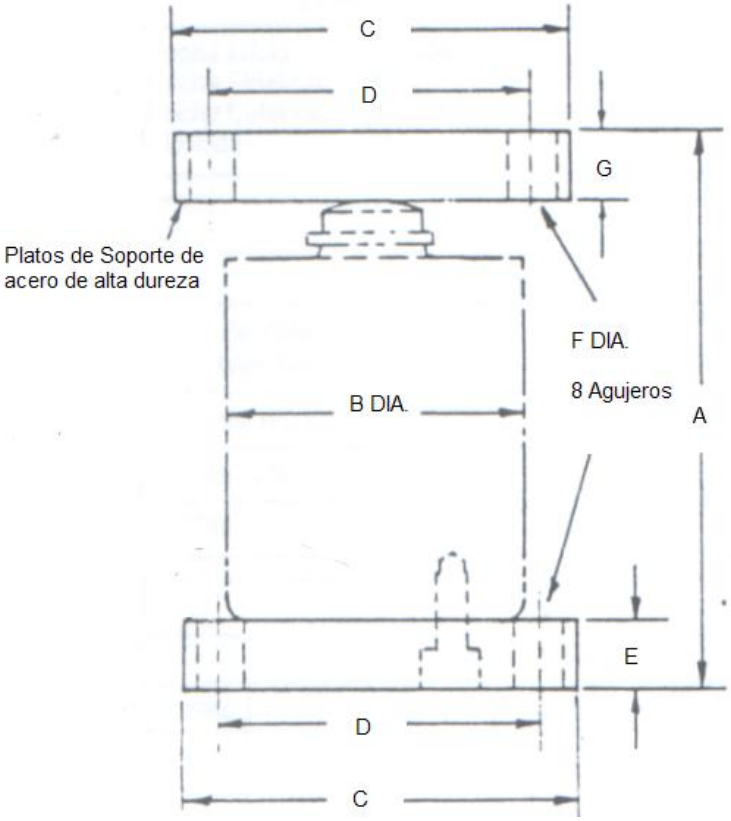



**Figura 4.22. Dimensiones de la Celda de Pesaje.**

1) En la descarga de BT-2 ($Q_{BT-2}$).

2) En la Entrada a la Tolva ( $Q_{T-1}$ ).

3) En la Descarga de la Tolva ( $Q_{T-2}$ ).

4) En la Alimentación a BT-3 ($Q_{BT-A3}$)

5) En la Descarga del Transportador Rastra ( $Q_{R-1}$ ).

6) En la Descarga de BT-3 ( $Q_{BT-D3}$ ).

Desempolvado en las Bandas

Debido a que el ancho de las Bandas Transportadoras son iguales en todo el sistema, la generación de polvo en el punto 1), 5) y 6) van a ser iguales y por consiguiente tendrán el mismo caudal de succión para el desempolvado($Q_{BT-1} = Q_{BT-A3} = Q_{BT-D3}$).

Para velocidades de banda mayores a 1m/s, el caudal que hay que succionar se estima en función del ancho de banda.

$$Q_1 = 425\,m^3/h + 2800\,.AnchodeBanda$$
$$Q_1 = 425\,m^3/h + 2800\,(0.610\,m)$$
$$Q_1 = 2110\,m^3/h = 1241\,(CFM)$$

por tanto

**$Q_{BT1} = Q_{BT-A3} = Q_{BT-D3} = 2110 m^3/h$**

Desempolvado en la Tolva

En la entrada a la Tolva el caudal que hay que succionar corresponde al volumen de carbón de aire desplazado al momento de ingresar el material multiplicado por un factor de

3.5[23], el flujo másico de carbón que va a entrar es de $\dot{m} = 80 ton/h$, por consiguiente el caudal de entrada es:

$$Q_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_{carbón}}$$

$$Q_2 = \frac{80 ton/h}{0.8 ton/m^3}$$

$$Q_2 = 100 m^3/h$$

A este Caudal se lo multiplica por 3.5[20] para obtener el caudal de succión en la entrada a la tolva.

$Q_{T1)teórico}$ = 3.5 x (100$m^3$/h)

$Q_{T1)teórico}$ = 350 $m^3$/h

El rango del caudal de recolección de polvo en una tolva esta entre 600 a 3500$m^3$/h, por consiguiente se toma un valor de **$Q_{T1}$ = 600 $m^3$/h**.

Desempolvado en el Transportador Rastra.

El caudal de succión en la descarga de la tolva y descarga de la rastra van a ser iguales ( $Q_{T2}$=$Q_{R1}$).Para velocidades de banda

menores a 1m/s, el caudal que hay que succionar se estima en función del ancho de la Rastra.

$$Q_{T2} = Q_{R1} = 425\,m^3/h + 2800\,.AnchodeRastra$$
$$Q_{T2} = Q_{R1} = 425\,m^3/h + 2800\,(0.7m)$$
$$Q_{T2} = Q_{R1} = 1700\,m^3/h = 1000\,(CFM)$$

**Caudal Total de generación de Polvo**

El caudal total de generacion de polvo es igual a la suma de los caudales encontrados para cada punto de generación de polvo.

$$Q_t = Q_{T2} + Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{R1} + Q_{BT-A3} + Q_{BT-D3}$$
$$Q_t = (2110m^3/h) + (600m^3/h) + (1700m^3/h) + (1700m^3/h) + (2110m^3/h) + (2110m^3/h)$$
$$Q_t = 10330m^3/h = 6100CFM$$

**Diseño de los Ductos**

Para arrastrar el polvo de carbón a través de los ductos, la velocidad debe ser de 3500CFM o 17.78m/s, por lo que se tiene un cabezal dinámico de:

$$VP = \left( \frac{V_{ducto}}{4005} \right)^2$$

$$VP = \left( \frac{3500\,fpm}{4005} \right)^2$$

$$VP = 0.764" H_2O$$

En el plano PC-DUCT-18 se muestra la distribución y longitudes de los ductos; así como la denominación de los caudales que pasan a través de ellos. En la tabla 4.16 se muestra los caudales que fluyen a través de cada sección.

Para conocer el diámetro de cada ducto, se despeja el diámetro de la formula de continuidad.

$$Q_{ducto} = V_{ducto} . A_{ducto} = (17.78 m/s) \left( \frac{\pi . d_{ducto}^{\ 2}}{4} \right)$$

$$d_{ducto} = \frac{\sqrt{Q}_{ducto}}{224.214}$$

Con este diámetro y con la velocidad constante del ducto igual 3500fpm se ingresa a la tabla del Apéndice O y se encuentra los factores de perdidas por pie de conducto.

**TABLA 4.16**

**CAUDALES Y DIAMETROS DE LOS DUCTOS**

| Seccion | L (mm) | Q ($m^3/h$) | Q (CFM) | $d_{ducto}$ (mm) | $d_{ducto}$ (in) | VP (“$H_2O$) | $f_L$ (“$H_2O$/ft) | VP. $f_{L.}$ L (“$H_2O$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BT-2 | 5910 | 1 | 2110 | 205 | 8.1 | 0.7637 | 0.026 | 0.3850 |
| T-1 | 9610 | 2 | 600 | 109 | 4.3 | 0.7637 | 0.056 | 1.3484 |
| T-2 | 10800 | 3 | 1700 | 184 | 7.2 | 0.7637 | 0.030 | 0.8118 |
| R-1 | 4950 | 4 | 2110 | 205 | 8.1 | 0.7637 | 0.026 | 0.3225 |
| BT-A3 | 6860 | 5 | 1700 | 184 | 7.2 | 0.7637 | 0.030 | 0.5156 |
| BT-D3 | 4080 | 6 | 2110 | 205 | 8.1 | 0.7637 | 0.026 | 0.2658 |
| A | 12250 | a | 10330 | 453 | 17.8 | 0.7637 | 0.010 | 0.3069 |
| B | 6910 | b | 2710 | 232 | 9.1 | 0.7637 | 0.023 | 0.3982 |
| C | 6780 | c | 7620 | 389 | 15.3 | 0.7637 | 0.012 | 0.2039 |
| D | 2470 | d | 5920 | 343 | 13.5 | 0.7637 | 0.014 | 0.0866 |
| E | 4400 | e | 4220 | 290 | 11.4 | 0.7637 | 0.017 | 0.1874 |
| F | 6860 | f | 10330 | 453 | 17.8 | 0.7637 | 0.010 | 0.1719 |

**Ramales**

Se debe calcular la caída de presión en cada ramal para escoger el mayor, la tabla 4.17 indica las formulas y caída de presión para cada ramal.

**TABLA 4.17**

**CAIDA DE PRESION POR RAMAL**

| RAMALES | "de $H_2O$ |
|---|---|
| $R_{BT-2} = VP.(f_A.L_A + f_B.L_B + f_{BT-2}.L_{BT-2})$ | 1.0902 |
| $R_{T1} = VP.(f_A.L_A + f_B.L_B + f_{T1}.L_{T1})$ | 2.0535 |
| $R_{T2} = VP.(f_A.L_A + f_C.L_C + f_{T2}.L_{T2})$ | 1.3226 |
| $R_{R1} = VP.(f_A.L_A + f_C.L_C + f_D.L_D + f_{R1}.L_{R1})$ | 0.9200 |
| $R_{BT-A3} = VP.(f_A.L_A + f_C.L_C + f_D.L_D + f_E.L_E + f_{BT-A3}.L_{BT-A3})$ | 1.3005 |
| $R_{BT-D3} = VP.(f_A.L_A + f_C.L_C + f_D.L_D + f_E.L_E + f_{BT-D3}.L_{BT-D3})$ | 1.0506 |

Se observa de la tabla 4.17 que la máxima caída de presión ocurren el ramal $R_{T1}$=2.0535"$H_2O$, el cual pertenece al ducto que succiona el polvo que se genera a la entrada de la tolva.

**Caída de presión por Accesorios**

Caída de presión en Codos

Existe un codo de $90^0$ en el ramal $R_{T1}$ y 2 codos de $90^0$ en la sección "F" (ver plano PC-DUCT-18). De la tabla 4.18 se obtiene el coeficiente de perdida para un codo de $90^0$ fabricado de 4 piezas y con una relación del radio de curvatura con su diámetro de 2; el coeficiente es 0.24, por lo tanto la caida de presion es:

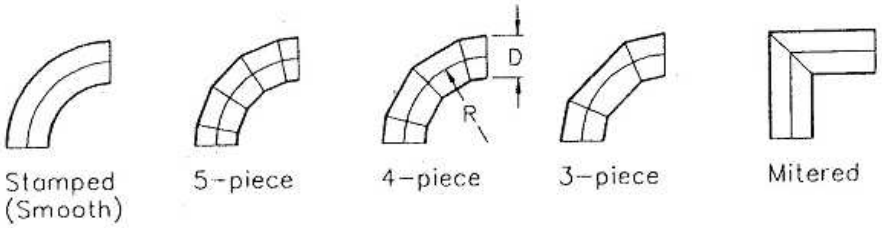
$3H_{c90} = (0.24)(VP)$

$3H_{c90} = (0.24)(0.764"H_2O)$

$3H_{c90} = 0.1834 "H_2O$

**TABLA 4.18**

**COEFICIENTE DE PERDIDAS EN CODOS**




| | R/D | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.5 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| Stamped | 0.71 | 0.33 | 0.22 | 0.15 | 0.13 | 0.12 |
| 5-piece | – | 0.46 | 0.33 | 0.24 | 0.19 | 0.17* |
| 4-piece | – | 0.50 | 0.37 | 0.27 | 0.24 | 0.23* |
| 3-piece | 0.90 | 0.54 | 0.42 | 0.34 | 0.33 | 0.33* |

Existen 2 codos de $60^0$ y uno de $150^0$ en el ramal $R_{T1}$ que se los calcula igual que un codo de $90^0$ y se lo multiplica por un factor de corrección igual a 0.67.

$2H_{c60} = H_{c150} = (0.67)(0.24)(VP)$

$2H_{c60} = H_{c150} = (0.67)(0.24)(0.764"H_2O)$

$2H_{c60} = H_{c150} = 0.123"H_2O$

Perdidas en las Bifurcaciones

Existen 2 bifurcaciones en el ramal $R_{T1}$ que poseen el mismo ángulo de desvío del ducto igual $60^0$; con este ángulo se ingresa a la tabla 4.19 y se encuentra un coeficiente de perdida igual a 0.44, por ende la perdida por bifurcación es:

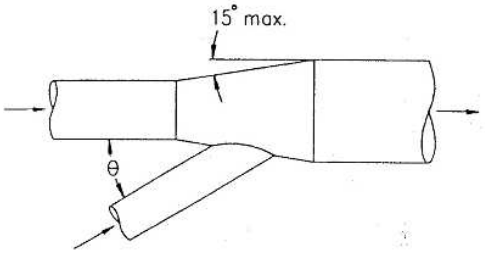
$2\ H_{bifurcación} = (0.44)(VP)$

$2\ H_{bifurcación} = (0.44)(0.764"H_2O)$

$2\ H_{bifurcación} = 0.336"H_2O$

**TABLA 4.19**

**COEFICIENTE DE PERDIDAS EN BIFURCACIONES**




| Angle θ Degrees | Loss Fraction of VP in Branch |
|---|---|
| 10 | 0.06 |
| 15 | 0.09 |
| 20 | 0.12 |
| 25 | 0.15 |
| 30 | 0.18 |
| 35 | 0.21 |
| 40 | 0.25 |
| 45 | 0.28 |
| 50 | 0.32 |
| 60 | 0.44 |
| 90 | 1.00 |

Perdida en la Campana de succión

Para una campana de sección transversal cuadrada y un ángulo de inclinación de $60^0$ se tiene una caída de presión de 0.17VP

$H_{campana} = (0.17)(VP)$

$H_{campana} = 0.17x\ 0.764"H_2O$

$H_{campana} = 0.130\ "H_2O$

Por consiguiente, la caída de presión ocasionada por accesorios es:

$H_{accesorios} = 3H_{c90} + 2H_{c60} + H_{c150} + 2H_{bifurcación} + H_{campana}$

$H_{accesorios} = 3(0.1834\ "H_2O) + 2(0.123\ "H_2O) + 0.123\ "H_2O + 2(0.336\ "H_2O) + 0.130\ "H_2O$

**$H_{accesorios} = 1.7212\ "H_2O$**

La caída de presión en los ductos es igual a las perdidas por accesorios, perdidas por tuberías en el ramal $R_{T1}$, cabezal dinámico y perdidas en la sección F que se muestra en la tabla 4.16.

$SP_{ductos} = H_{accesorios} + R_{T1} + VP + H_f$

$SP_{ductos} = 1.721\ "H_2O + 1.3226\ "H_2O + 0.764\ "H_2O + 0.172\ "H_2O$

$SP_{ductos} = 3.976 \approx 4\ "\ H_2O$

La caída de presión debido al filtro esta en el rango de 4 – 8"$H_2O$, se escoge el valor medio $SP_{filtro} = 6"H_2O$, por lo tanto la caída de presión total es:

$SP_{total} = SP_{ductos} + SP_{filtro}$

$SP_{total} = 4\ "H_2O + 6\ "H_2O$

**$SP_{total} = 10\ "H_2O$**

## SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Utilizando el Catalogo Electronico de LOREN COOK[36] con SP = 10"$H_2O$ y $Q_t$=6100 CFM; se selecciona un ventilador centrifugo modelo 150-MHA-HD de 20HP que gira a 1977 rpm. En el Anexo iii y iv se encuentran las características y esquema del ventilador respectivamente.

### Peso de los Ductos

Los ductos serán construidos de acero A36 con un espesor constante de 3mm, el peso total de los ductos se lo obtiene hallando el volumen del metal y multiplicándolo por la densidad.

$$m_{ducto} = \rho_{ac}.V_{ducto} = \rho_{ac}.(\sum \pi.\phi_{ducto}L_{ducto}.t) = \rho_{ac}.\pi.t.(\sum .\phi_{ducto}L_{ducto}.)$$

$$m_{ducto} = (7850kg/m^3)(\pi)(0.003m)(\sum .\phi_{ducto}L_{ducto}.)$$

$$m_{ducto} = 74x(\sum .\phi_{ducto}L_{ducto}.)$$

El peso de los ductos queda en función del diámetro del ducto, con su respectiva longitud. En la Tabla 4.20 se muestra la masa de cada sección y el peso total de los ductos.

**TABLA 4.20**

**PESO DE LOS DUCTOS**

| sección | $L_{ducto}$ (mm) | $d_{ducto}$ (mm) | $m_{ducto} = 74x(\sum .\phi_{ducto} L_{ducto} .)$ ( Kg ) |
|---|---|---|---|
| BT-2 | 5910 | 205 | 89.6547 |
| T-1 | 9610 | 109 | 77.51426 |
| T-2 | 10800 | 184 | 147.0528 |
| R-1 | 4950 | 205 | 75.0915 |
| BT-A3 | 6860 | 184 | 93.40576 |
| BT-D3 | 4080 | 205 | 61.8936 |
| A | 12250 | 453 | 410.6445 |
| B | 6910 | 232 | 118.63088 |
| C | 6780 | 389 | 195.16908 |
| D | 2470 | 343 | 62.69354 |
| E | 4400 | 290 | 94.424 |
| F | 6860 | 453 | 229.96092 |
| | | $m_{ducto}$ | *1656.14 ≈ 1700* |

Hay que considerar también el peso de los accesorios, este peso será considerado el 20% de la masa total de los ductos.

$m_{accesorios}$ = (20%)(1700Kg)

$m_{accesorios}$ = 340 Kg

Por consiguiente, la masa total de los ductos es:

$m_{total)ducto} = m_{ducto} + m_{accesorios}$

$m_{total)ducto}$ = 1700Kg + 340 kg

**$m_{total)ducto}$ = 2040 ≈ 2100Kg**

**Colector de Polvo (CP-2)**

Para equipos de Transporte, Almacenaje y Alimentación, el polvo de carbón a una temperatura menor a $50^0$C debe tener un "cargamento de área de filtro" entre 100 – 120 $m^3/m^2.h$[(23)], es así que de la ecuación siguiente se obtiene el área filtrante total que debe poseer el colector de polvo.

$$A_{fil} = \frac{Q_{ducto}}{C_{fil}}$$

$$A_{fil} = \frac{10430 m^3/h}{120 m^3/m^2.h}$$

$$A_{fil} = 86.9 m^2 = 936 ft^2$$

Con esta área filtrante se entra en la tabla del Apéndice P y se encuentra que para un área filtrante de 954$ft^2$ las características de colector son las siguientes:

*Modelo:* 96HPW

*Numero de Mangas:* 96

*Caudal : 9600 – 17280 CFM*

*Longitud de las mangas:* 8FT = 2438 mm

*área Filtrante* = 954 $ft^2$ = 88.5$m^2$

*Peso* = 6712 lb = 3051 Kg ≈ 3.1 ton

La figura 4.23 muestra el esquema de CP-2 donde la entrada y salida del aire son de sección cuadrada, pero se puede pedir al proveedor áreas circulares con el diámetro del Ducto mayor.

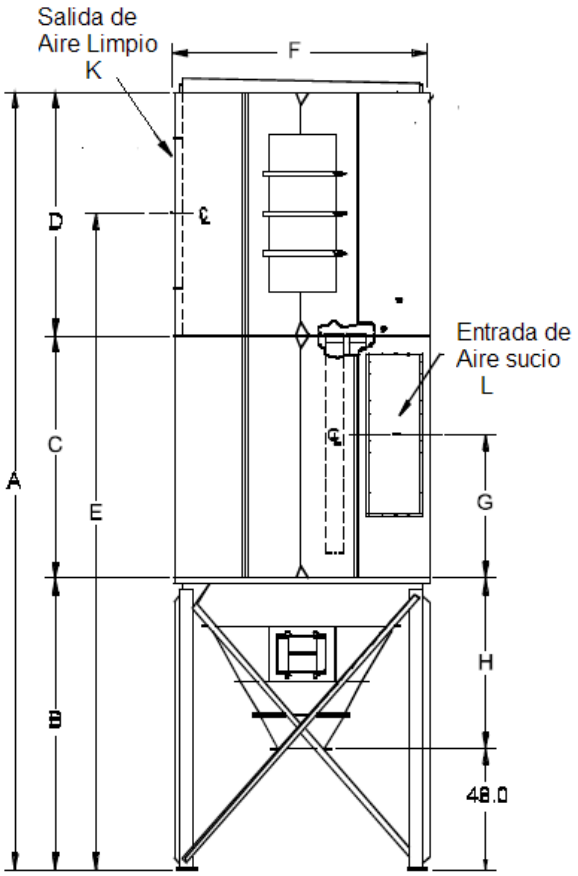



**Figura 4.23. Esquema de CP-2**

**Válvula Contra Explosión**

Debido a que en el colector CP-2 se va a generar un caudal superior a 10000$m^3$/h de polvo, se debe colocar una Válvula

Contra Explosión para realizar descargas paulatinas del polvo, pero previniendo el ingreso de oxigeno. La figura 4.24 indica el tipo de válvula que se utiliza.

**Figura 4.24 Válvula Contra explosión**

## SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Ingresando al Software de LOREN COOK[(36)] con $SP_{filtro}$ = 10"$H_2O$ y $Q_1$=6100CFM; se selecciona un ventilador centrifugo modelo 150-MHA-HD que gira a 1977 rpm con un motor de 20HP. En los Anexos se encuentran las características y esquema del ventilador.

### 4.2.6. VALVULA ROTATORIA

Para la selección de la válvula rotatoria (VR-1), ubicada debajo del CP-2 ( ver plano PC-EDIF-05 ) primero se debe conocer el flujo de masa que llega a la válvula procedente de los filtros de mangas. Una aproximación tomada de la referencia [23] indica que por cada metro cúbico de polvo que llega a los filtros, caen 20 gr a la válvula rotatoria ( $20gr/m^3$ ), así el flujo másico puede ser ahora obtenido.

$$\dot{m} = 20gr/m^3 . Q_t$$

$$\dot{m} = (20gr/m^3)(10430m^3/h)$$

$$\dot{m} = 208600gr/h = 208.6kg/h = 7.65lb/min$$

Se procede ahora a encontrar el caudal que pasa a través de la válvula rotatoria.

$$Q_{valvula)teorico} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{208.6kg/h}{800kg/m^3}$$

$$Q_{valvula)teorico} = 0.261m^3/h = 0.153CFM$$

Se recomienda[25] que se use el 60% de la capacidad teórica de la válvula, así se obtiene el caudal máximo de polvo que podrá pasar por la válvula rotatoria.

$$Q_{valvula} = \frac{Q_{valvula)teorico}}{0.6} = \frac{0.261 m^3/h}{0.6}$$
$$Q_{valvula} = 0.435 m^3/h = 0.255 CFM$$

Con este caudal ( en CFM ) se entra a la tabla del apéndice M y se observa que para un caudal de 0.50CFM e modelo de válvula es de 4x4 a 25rpm y una tasa de desplazamiento de 0.02 $FT^3$/rev; entonces, para conocer a que velocidad rota la válvula a 0.255CFM, se divide este valor para la tasa de desplazamiento.

$$\omega_{valvula} = \frac{Q_{valvula}}{\text{tasa de desplazamiento}} = \frac{0.255 CFM}{0.02}$$
$$\omega_{valvula} = 12.75 rpm$$

De la tabla del Apéndice M se hallan las dimensiones de la válvula rotatoria para un modelo 4x4, las dimensiones se muestran en la figura 4.25.

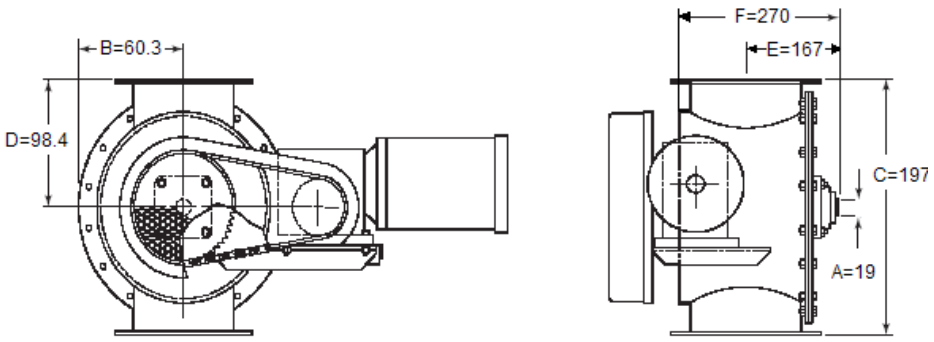



**Figura4.25. Dimensiones de VR-1**

La potencia requerida para las válvulas rotatorias se la aproxima de la tabla 4.21, el diámetro del rotor es 120mm, debido a que en la tabla no esta tabulado para este valor, se extrapola y se obtiene una potencia de 1/3HP. Los proveedores de válvulas rotatorias son Roto-Flo (USA), WAM (USA) y DONALSON(USA).

**TABLA 4.21**

**POTENCIA REQUERIDA PARA LA VALVULA ROTATORIA**

| Diámetro ( mm ) | Volumen de acarreo ( $m^3$ ) | Potencia | |
|---|---|---|---|
| | | kW | HP |
| 200 | 0.004..0.005 | 0.55 | ¾ |
| 250 | 0.008...0.010 | 0.55 | ¾ |
| 350 | 0.015...0.018 | 0.75 | 1 |
| 400 | 0.030...0.038 | 1.1 | 1.5 |
| 480 | 0.004..0.060 | 2.2 | 3 |
| 550 | 0.090...0.100 | 2.2 | 3 |

# CAPÍTULO 5

## 5. SISTEMA DE AUTOMATIZACION

### 5.1 DESCRIPCIÓN

Para describir la automatización de todo el proceso de alimentación y transporte del carbón y posibles emergencias, se describirá un circuito de control.

**Circuito de Control**

El circuito esta estructurado para que se ponga en marcha el sistema y posibles emergencias; el plano PC-CC-19 muestra el Circuito de Control del proceso.

**Puesta en Marcha**

La puesta en marcha comienza con el encendido en forma secuencial de los motores eléctricos M5, M4, M2, M1 y M3 (ver plano PC-Flujo-15), al encenderse M1 comienza el proceso de transportación, llevando el carbón hacia la tolva de Alimentación. En la tolva se coloca un sensor nivel a 12.7m ( tomando como nivel de referencia la parte mas baja de la tolva) el cual al accionarse manda a apagar en forma secuencial los motores M1, M2, M4, M5 y M3, y se procede a encender los motores M8, M7D, M6, M9 y M10, con lo cual comienza el proceso de alimentación al molino del carbón; cuando el sensor de nivel de la tolva marca 8.3m indica que el proceso de transportación debe comenzar nuevamente y manda a encender los motores M5, M4, M2, M1 y M3; en ese momento se encuentran trabajando todos los motores eléctricos y se obtiene el “Ciclo Normal de Trabajo”.

**Sobrecarga**

Los Reles de Sobrecarga de los motores eléctricos se deben al aumento de temperaturas de estos. Cuando el motor M3 tiene una sobrecarga, solo ese motor se apaga. Cuando cualquiera de los motores M1, M2, M4 o M5 tienen una sobrecarga, se apagan los

motores de la parte de transportación y se deja que el material siga saliendo de la tolva hasta cuando el sensor de nivel indique “nivel bajo” que es cuando los motores de la “alimentación al molino” se apagan. Cuando los motores M6, M7D y M8 tienen una sobrecarga, todos los motores del proceso se apagan.

**Combustión**

Se coloca un sensor de temperatura a $75^0$ debido a que esta la temperatura de ignición del carbón. Cuando el sensor de nivel marque esta temperatura se apagan todos los motores, se encienden secuencial mente los motores M8 y M7I, los cuales van a descargar todo el carbón de la tolva hacia un camión.

## 5.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

**Motores Eléctricos**

En Todos los motores Eléctricos, debe de existir controladores de Amperaje y reles de sobrecarga térmica, que apaguen los motores cuando halla una elevación del amperaje o se sobrecaliente el motor.

**Tolva**

En la tolva debe de poseer detectores de altura mantienen el nivel de material entre dos puntos donde estos están ubicados. La figura 4.1 muestra la ubicación de los detectores. El detector de nivel que indica “nivel alto de material” en la tolva debe de ubicarse a 3300mm medido desde la parte superior de la tolva. El detector de nivel que indica “nivel bajo de material” se debe ubicar 8300mm medido desde la parte inferior de la tolva.

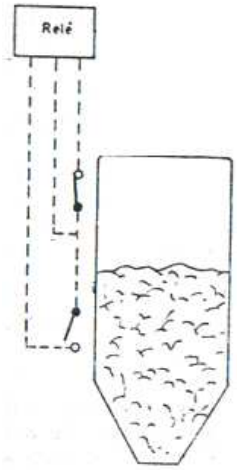



**Figura 5.1 Ubicación de los Detectores de nivel**

El detector de nivel mas usado es la “varilla flexible” mostrada en la figura 4.2; la cual es una varilla de acero conectada a un diafragma de

latón donde esta contenido un interruptor. Cuando los sólidos presionan, el interruptor se cierra y actúa sobre una alarma.

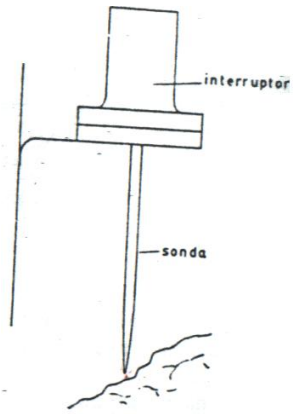



**Figura 4.2. Varilla flexible**

Además de los detectores, se utilizará 4 celdas de carga para censar el peso de la tolva y termocuplas para censar la temperatura del carbón en el interior de la tolva.

**Transportador de Rastra**

El Transportador de Rastra debe poseer Celdas de Carga que indiquen la razón de carbón que ingresa al transportador en un determinado tiempo. Además, Debe de poseer un detector magnético ubicado en el final del recorrido el cual indica el movimiento de la

cadena; si la cadena se rompe, el dispositivo no censa movimiento y se activa una señal de emergencia.

**Bandas Transportadoras**

En las Bandas Transportadoras deben existir detectores magnéticos ubicados en el Tambor Conducido, el cual sensa el movimiento de este; así cuando la Banda se rompe, el tambor conducido se queda parado y el detector magnético al no recibir una señal de movimiento, envía una señal de Alarma.

Deben existir balanzas electrónicas que indiquen la cantidad de material que lleva la banda transportadora. También tiene que haber alineadores de Bandas los cuales se ubican en los rodillos al inicio y final de la banda, su funcion evitar que la banda se salga de los rodillos.

**Separador Magnético**

Separador Magnético (SM) sensa los materiales metálicos “ferrosos” que pasan por la BT-2 y los captura.

**Detector de Metales**

El detector de Metales sensa los materiales “no-ferrosos” que pasan por BT-2 y manda la señal a la válvula doble via.

**Válvula Doble Vía**

En la válvula doble vía debe de existir un sensor magnético que al recibir la señal del detector de metales desvíe la compuerta por aproximadamente 10segundos hacia el chute de descarga.

# CAPÍTULO 6

## 6. ANALISIS DE COSTOS

### 6.1. COSTOS DE FABRICACION E IMPORTACION DE EQUIPOS.

Dentro del Proyecto habrá equipos que serán construídos en el país y otros que serán importados y a estos deberán añadirse los impuestos de Ley. Se analizará por separado el costo de los equipos construídos localmente y equipos importados.

**Equipos Locales**

El costo por peso de los equipos manufacturados en el país como son: Tolva, Cubierta y Cerchas, Piso, Ductos, Estructura Metálica, Pasamano y Escalera se encuentran indicados en la tabla 6.1; además se muestra el costo de cada Equipo.

**TABLA 6.1**

**COSTOS DE FABRICACION DE MATERIALES LOCALES**

| Equipos | Peso (kg) | Costo por peso (USD/kg) | Costo (USD) |
|---|---|---|---|
| Tolva | 11460 | 1.6 | 18336 |
| Ductos | 2100 | 1.7 | 3570 |
| CERCHA-1 y Cubierta | 38000 | 1.6 | 60800 |
| CERCHA-2 | 30000 | 1.6 | 48000 |
| Pisos | 38600 | 1.6 | 61760 |
| Pasamanos y Escalera | 3000 | 1.6 | 4800 |
| Estructura del Edificio | 240000 | 1.6 | 384000 |
| | | Sub-Total | **581.266** |

**Equipos Importados**

Los Equipos a ser importados son el Transportador de Rastra, Válvula Rotatoria, Transportadores de derrame, Colectores de Polvo, Separador Magnético, Detector de Metales, Bandas transportadoras y Ventiladores. El precio de venta de estos equipos esta dado por FOB ( costo libre de impuestos ), y la importación de equipos conlleva una lista de impuestos. Costo de Seguro y Flete ( CIF ) es la suma del FOB mas el flete y del seguro; el flete es 2USD/kg de peso ( solo para el calculo del CIF ), el seguro es el 2% del FOB mas el Flete. En la tabla 6.2 se muestran los valores por cada equipo.

**TABLA 6.2**

**COSTOS DE FABRICACION E IMPORTACION DE EQUIPOS**

| Equipos | Peso (Kg) | FOB (USD) | Flete (USD) | Seguro (USD) | CIF (USD) |
|---|---|---|---|---|---|
| Rastra | 8000 | 70000 | 16000 | 1720 | 87720 |
| VR-1 | 35 | 400 | 70 | 9.4 | 479.4 |
| Td-1 | 900 | 10000 | 1800 | 236 | 12036 |
| Td-2 | 900 | 10000 | 1800 | 236 | 12036 |
| Td-3 | 900 | 10000 | 1800 | 236 | 12036 |
| CP-1 | 970 | 12000 | 1940 | 278.8 | 14218.8 |
| CP-2 | 3600 | 20000 | 7200 | 544 | 27744 |
| SM | 2400 | 21000 | 4800 | 516 | 26316 |
| DM | 300 | 8500 | 600 | 182 | 9282 |
| BT-1 | 77500 | 189200 | 155000 | 6884 | 351084 |
| BT-2 | 23330 | 79500 | 46660 | 2523.2 | 128683.2 |
| BT-3 | 1870 | 10200 | 3740 | 278.8 | 14218.8 |
| Vent-1 | 143 | 1590 | 286 | 37.52 | 1913.52 |
| Vent-2 | 355 | 4200 | 710 | 98.2 | 5008.2 |
| reductor-1 | 3907 | 2000 | 450 | 49 | 2499 |
| reductor-2 | 2290 | 2000 | 324 | 46.48 | 2370.48 |
| reductor-3 | 868 | 2000 | 1692 | 73.84 | 3765.84 |
| Celda de Carga | 173 | 6200 | 346 | 130.92 | 6676.92 |
| | | | | Sub-Total | **718.088** |

Los “Aranceles varios” es el 10% del CIF, el impuesto de FODINFA ( Fondo de Desarrollo para el Infante ) es el 5% de “Aranceles varios”, el IVA es el 12% del CIF mas “Aranceles varios” mas FODINFA. El flete es 120 USD/ton . Los gastos locales es 1.12( 20USD/ton + 70USD). La tabla 6.3 muestra los costos finales de cada Equipo Importado.

**TABLA 6.3**

**COSTOS DE EQUIPOS IMPORTADOS**

| Equipos | CIF (USD) | Arancel (USD) | FODINFA (USD) | IVA (USD) | Flete (USD) | Gastos Locales (USD) | Costo (USD) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rastra | 87720 | 8772 | 438.6 | 11632 | 960 | 257.6 | 109780 |
| VR-1 | 479.4 | 47.94 | 2.397 | 63.568 | 4.2 | 79.184 | 680 |
| Td-1 | 12036 | 1204 | 60.18 | 1596 | 108 | 98.56 | 15110 |
| Td-2 | 12036 | 1204 | 60.18 | 1596 | 108 | 98.56 | 15110 |
| Td-3 | 12036 | 1204 | 60.18 | 1596 | 108 | 98.56 | 15110 |
| CP-1 | 14218.8 | 1422 | 71.094 | 1885.4 | 116.4 | 100.128 | 17820 |
| CP-2 | 27744 | 2774 | 138.72 | 3678.9 | 432 | 159.04 | 34930 |
| SM | 26316 | 2632 | 131.58 | 3489.5 | 288 | 132.16 | 32990 |
| DM | 9282 | 928.2 | 46.41 | 1230.8 | 36 | 85.12 | 11610 |
| BT-1 | 351084 | 35108 | 1755.4 | 46554 | 9300 | 1814.4 | 445620 |
| BT-2 | 128683.2 | 12868 | 643.42 | 17063 | 2800 | 600.992 | 162660 |
| BT-3 | 14218.8 | 1422 | 71.094 | 1885.4 | 224.4 | 120.288 | 17950 |
| Vent-1 | 1913.52 | 191.4 | 9.5676 | 253.73 | 17.16 | 81.6032 | 2470 |
| Vent-2 | 5008.2 | 500.8 | 25.041 | 664.09 | 42.6 | 86.352 | 6330 |
| reductor-1 | 2499 | 249.9 | 12.495 | 331.37 | 27 | 83.44 | 3210 |
| reductor-2 | 2370.48 | 237 | 11.852 | 314.33 | 19.44 | 82.0288 | 3040 |
| reductor-3 | 3765.84 | 376.6 | 18.829 | 499.35 | 101.5 | 97.3504 | 4860 |
| LC | 6676.92 | 667.7 | 33.385 | 885.36 | 20.76 | 82.2752 | 8370 |
| | | | | | | Sub-Total | **907.650** |

## 6.2. COSTOS DE MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA

En la columna cuarta de la tabla 6.4 y 6.5 se muestran las horas hombres por tonelada de carga (HH/ton) para el montaje de los diferentes equipos[41]; así como los costos por montaje de los diferentes equipos. El precio de la Hora-Hombre es de 6USD. En la tabla 6.6 se indican los costos finales para poner en marcha los diferentes equipos.

## 6.3. COSTO DE OPERACIÓN.

El Costo de Operación es el costo anual que se necesita para mantener el "Proyecto" trabajando en condiciones normales. El Costo de Operación lo conforman el consumo anual de energía y los sueldos del personal laboral.

Para encontrar el consumo anual de energía, se multiplica potencia requerida para cada equipo por el número de horas que trabaja el equipo al año ( 16 horas, 363 días) y por $0.15/kW-hr. La tabla 6.7 muestra el costo final por consumo de energía.

**TABLA 6.4**

**COSTO DE MONTAJE**

| Equipos | Peso ( kg ) | Peso ( ton ) | HH/ton | HH | Hombres | Horas | Días | Costo ( USD ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rastra | 8000 | 8 | 75 | 600 | 5 | 120 | 15 | 3600 |
| VR-1 | 35 | 0.035 | 150 | 5 | 1 | 5.25 | 0.66 | 30 |
| Td-1 | 900 | 0.9 | 125 | 113 | 4 | 28.13 | 3.52 | 678 |
| Td-2 | 900 | 0.9 | 125 | 113 | 4 | 28.13 | 3.52 | 678 |
| Td-3 | 900 | 0.9 | 125 | 113 | 4 | 28.13 | 3.52 | 678 |
| CP-1 | 970 | 0.97 | 30 | 29 | 2 | 14.55 | 1.82 | 174 |
| CP-2 | 3600 | 3.6 | 30 | 108 | 3 | 36 | 4.50 | 648 |
| SM | 2400 | 2.4 | 80 | 192 | 1 | 192 | 24.0 | 1152 |
| DM | 300 | 0.3 | 30 | 9 | 1 | 9 | 1.13 | 54 |
| BT-1 | 77500 | 77.5 | 75 | 5813 | 25 | 232.5 | 29.1 | 34878 |
| BT-2 | 23330 | 23.33 | 75 | 1750 | 15 | 116.7 | 14.6 | 10500 |
| BT-3 | 1870 | 1.87 | 80 | 150 | 5 | 29.92 | 3.74 | 900 |
| Vent-1 | 143 | 0.143 | 150 | 22 | 2 | 10.73 | 1.34 | 132 |
| Vent-2 | 355 | 0.355 | 150 | 53 | 3 | 17.75 | 2.22 | 318 |

Continúa.....

**TABLA 6.5**

**COSTO DE MONTAJE (Continuación)**

| Equipos | Peso ( kg ) | Peso ( ton ) | HH/ton | HH | Hombres | Horas | Días | Costo ( USD ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| reductor-1 | 225 | 0.225 | 150 | 34 | 2 | 16.88 | 2.11 | 204 |
| reductor-2 | 162 | 0.162 | 150 | 24 | 2 | 12.15 | 1.52 | 144 |
| reductor-3 | 846 | 0.846 | 125 | 106 | 2 | 52.88 | 6.61 | 636 |
| LC | 173 | 0.173 | 30 | 5 | 1 | 5.19 | 0.65 | 30 |
| Tolva | 11460 | 11.46 | 45 | 516 | 12 | 43 | 5.37 | 3094 |
| Ductos | 2100 | 2.1 | 30 | 63 | 4 | 15.75 | 1.97 | 378 |
| CERCHA-1 y Cubierta | 38000 | 38 | 45 | 1710 | 10 | 171 | 21.38 | 10260 |
| CERCHA-2 | 30000 | 30 | 45 | 1350 | 10 | 135 | 16.88 | 8100 |
| Pisos | 38600 | 38.6 | 45 | 1737 | 6 | 289.5 | 36.19 | 10422 |
| Pasamanos y escalera | 3000 | 3 | 45 | 135 | 4 | 33.75 | 4.219 | 810 |
| Estructura del Edificio | 240000 | 240 | 45 | 10800 | 24 | 450 | 56.25 | 64800 |
| | | | Total HH | **25547** | | | Total | **153.300** |

**TABLA 6.6**

**COSTO DE MONTAJE Y COSTO FINAL POR EQUIPO**

| Equipos | Costo (USD) | Montaje (USD) | Costo Total (USD) |
|---|---|---|---|
| Rastra | 109780 | 3600 | 113380 |
| VR-1 | 680 | 30 | 708 |
| Td-1 | 15110 | 678 | 15777 |
| Td-2 | 15110 | 678 | 15777 |
| Td-3 | 15110 | 678 | 15777 |
| CP-1 | 17820 | 174 | 17988 |
| CP-2 | 34930 | 648 | 35575 |
| SM | 32990 | 1152 | 34140 |
| DM | 11610 | 54 | 11663 |
| BT-1 | 445620 | 34878 | 480491 |
| BT-2 | 162660 | 10500 | 173157 |
| BT-3 | 17950 | 900 | 18840 |
| Vent-1 | 2470 | 132 | 2596 |
| Vent-2 | 6330 | 318 | 6647 |
| Reductor-1 | 3210 | 204 | 3406 |
| Reductor-2 | 3040 | 144 | 3181 |
| Reductor-3 | 4860 | 636 | 5494 |
| Celda de Carga | 8370 | 30 | 8398 |
| Tolva | 18336 | 3094 | 21430 |
| Ductos | 3570 | 378 | 3948 |
| CERCHA-1 y Cubierta | 60800 | 10260 | 71060 |
| CERCHA-2 | 48000 | 8100 | 56100 |
| Pisos | 61760 | 10422 | 72182 |
| Pasamanos y Escalera | 4800 | 810 | 5610 |
| Estructura del Edificio | 384000 | 64800 | 448800 |
| TOTALES | 1’488.900 | 153.300 | **1’642.200** |

**TABLA 6.7**

**COSTO POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA**

| Equipo | Potencia | | Consumo (kW-hr) | Costo Diario (USD) | Costo Anual (USD) |
|---|---|---|---|---|---|
| | (HP) | (kW) | | | |
| TR-1 | 10 | 7.46 | 179.04 | 26.86 | 8863 |
| BT-1 | 25 | 18.60 | 446.4 | 66.96 | 22097 |
| BT-2 | 5 | 7.46 | 89.52 | 13.43 | 4431 |
| BT-3 | 3 | 2.24 | 53.76 | 8.06 | 2661 |
| V-1 | 5 | 7.46 | 89.52 | 13.43 | 4431 |
| V-2 | 20 | 14.91 | 357.84 | 53.68 | 17714 |
| TD-1 | 2 | 1.49 | 35.76 | 5.36 | 1770 |
| TD-2 | 1 | 0.75 | 18 | 2.70 | 891 |
| TD-3 | 1 | 0.75 | 18 | 2.70 | 891 |
| VR-1 | 1/3 | 0.25 | 6 | 0.90 | 297 |
| SM | 2 | 1.49 | 35.76 | 5.36 | 1770 |
| DM | | 2.00 | 3.6 | 0.54 | 178 |
| | | | Total | **200** | **66000** |

Para conocer el costo por sueldos, primero se debe conocer la fuerza laboral que se necesita para el desempeño normal del “Proyecto”. En la segunda y tercera columna de la tabla 6.8 se indican la participación Anual en la operación de los equipos y la cantidad de personal por jornada; debido a que el sistema va a trabajar las 24 horas del día, se harán 3 jornadas laborales, en la cuarta columna de la misma tabla se indican la mensualidad en las 3 jornadas para cada personal Laboral. Por lo tanto, el Costo de Operación será:

**TABLA 6.8**

**COSTOS DE SUELDOS**

| Personal | Participación Anual en la Operación de los Equipos (horas) | Cantidad de persona por jornada | Sueldo por persona ( USD ) | Sueldo (Mensual) ( USD ) | Sueldo (Anual) ( USD ) |
|---|---|---|---|---|---|
| Ing. Mecánico | 2400 | 1 | 800 | 2400 | 28800 |
| Ing. Eléctrico | 2400 | 1 | 600 | 1800 | 21600 |
| Ing. Electronico | 2400 | 1 | 600 | 1800 | 21600 |
| Supervisor Mecánico | 5000 | 2 | 500 | 3000 | 36000 |
| Supervisor Eléctrico | 5000 | 2 | 500 | 3000 | 36000 |
| Ayudantes | 5000 | 4 | 300 | 3600 | 43200 |
| | | | Total | **15600** | **187.200** |

$$\text{Costos de Operacion} = \text{Consumo de energia} + \text{Sueldos}$$
$$\text{Costos de Operacion} = \$66.000 + \$187.200$$
$$\text{Costos de Operacion} = \$253.200$$

**Ahorro Anual al Utilizar Carbón Mineral como combustible en reemplazo del Bunker.**

Para conocer el ahorro que se tiene al utilizar carbón mineral, se debe conocer la cantidad de carbón que se utiliza en el quemador de nuestro Proyecto lo cual va a ser igual a la cantidad de carbón que ingresa al molino vertical igual a 30 ton/hr. Si el sistema trabaja 5808hr/año, entonces la cantidad de carbón anual será:

$$\text{Cantidad de carbonanual} = \dot{m}_{carbon} = \dot{m}_{molino} .\#\text{horas al año}$$
$$\dot{m}_{carbon} = (30\text{ton/hr})(7920\text{hr/año})$$
$$\dot{m}_{carbon} = 237.600\text{ton/año}$$

El precio final ( incluyendo impuestos y fletes ) del carbón es de 70USD/ton; por consiguiente el costo anual de carbón será:

$$\text{Costo}_{Carbon} = 70\text{USD/ton} . \dot{m}_{carbon}$$
$$\text{Costo}_{Carbon} = (70\text{USD/ton})(237.600\text{ton/año})$$
$$\text{Costo}_{Carbon} = 16'632.000\text{USD/año}$$

Para conocer el Costo anual por utilizar bunker a la misma cantidad que el carbón, se deben igualar sus flujos caloríficos (Q) y despejar el flujo masico de bunker; a este flujo masico se lo multiplica por la densidad del Bunker para obtener el flujo volumétrico.

$$Q_{carbon} = \dot{m}_{carbon}.PC_{carbon}$$
$$Q_{Bunker} = \dot{m}_{Bunker}.PC_{Bunker}$$

$$Q_{carbon} = Q_{Bunker}$$
$$\dot{m}_{Bunker} = \frac{\dot{m}_{carbon}.PC_{carbon}}{PC_{Bunker}}$$

$$\dot{m}_{Bunker} = \frac{(237.600ton/año)(30.2MJ/kg)}{42.71MJ/kg}$$

$$\dot{m}_{bunker} = 168.000ton/año$$

$$V_{Bunker} = \frac{m_{Bunker}}{\rho_{Bunker}} = \frac{168.000ton/año}{0.95ton/m^3}$$
$$V_{Bunker} = 176848m^3/año = 46'718.300gal/año$$

El Precio de Bunker en el mercado nacional es de 0.60USD/galón; por consiguiente el costo anual de Bunker será:

$$Costo_{Bunker} = 0.60USD/gal.V_{Bunker}$$
$$Costo_{Bunker} = (0.60USD/gal)(46'718.300gal/año)$$
$$Costo_{Bunker} = 28'030.979 \approx 28'031.000USD/año$$

El Ahorro Anual que se tendrá al utilizar carbón mineral en lugar de bunker es la diferencia de costos de ellos dos.

$$\text{Ahorro Anual de Combustible} = \text{Costo}_{\text{Bunker}} - \text{Costo}_{\text{Carbon}}$$
$$\text{Ahorro Anual de Combustible} = 28'031.000\text{USD} - 16'632.000$$
$$\text{Ahorro Anual de Combustible} = 11'399.000 \approx 11'400.000\text{USD}$$

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El carbón Mineral será dominante en el futuro debido a que es mas barato que el petróleo, tiene un aproximado de 1 billón de toneladas en reservas totales accesibles (aproximadamente 4 veces las reservas de petróleo) lo que lo hace el combustible fósil más abundante en la tierra y se estima reservas de carbón para mas de 300 años siendo el sucesor del petróleo y gas natural que se estima se agotaran en 50 a 70 años.

2. El carbón como fuente energética satisface mercados muy diversos entre los mas importantes esta la generación eléctrica 58%, fabricación de acero 16% y fabricación de cemento 6%. En nuestro país se debería incentivar el estudio para la Explotación, Producción y Usos a nivel industrial del carbón como Fuente Energética.

3. El polvo de carbón es un producto explosivo y autocombustionable por lo que se emplea aire caliente de dióxido de carbono $CO_2$ y/o gas nitrógeno $N_2$ para hacer inertes esas zonas de peligro. Se debe tener presente que la temperatura de ignición para el carbón es de $620^0$C y que la temperatura de ignición de una nube de polvo de carbón disminuye mientras menor sea tamaño de las partículas.

4. El nivel de ruido para los equipos no debe exceder 85dBA cuando este es medido a 1.5m de la fuente en condiciones normales. Todos los ventiladores deben ser dimensionados para motores de 1750 rpm.

5. La concentración mínima de explosión MEC para el polvo de carbón bituminoso es aproximadamente de 100mg/$m^3$, es decir 50000 veces mayor que la concentración de polvo respirable expuesto en 8 horas de trabajo (TLV-TWA = 2mg/$m^3$). La presencia de otro gas o polvo inflamable puede bajar el MEC del carbón, con lo cual se incrementaría el riesgo de explosión. El riesgo puede ser disminuido añadiendo ceniza, gas inerte, piedra caliza y otros materiales inertes.

6. El Carbón Mineral posee azufre, el cual se encuentra como piritas ($Fe_2S_2$), como azufre orgánico y como sulfatos, por lo que la concentración de $SO_2$ determinada en todas las muestras en un año

no deberá exceder de 80 µg/$m^3$, la concentración máxima en 24 horas no deberá exceder 350 µg/$m^3$.

7. Para el Diseño de la Tolva de Alimentación se utilizó el Software para elementos finitos SAP2000 con el cual podemos hacer una discretizacion muy profunda de los esfuerzos y deformaciones que se generan a lo largo de la tolva que con formulas seria muy complicado; además, para encontrar las presiones que se generan se utilizó las normas de Industrias Alemanas DIN1055.

8. Para el diseño de las Bandas Transportadoras se utilizo el Software HEBER 2002 desarrollado en la FIMCP-ESPOL el cual esta regido a las normas CEMA. La marca de las Bandas es NORTH AMERICAN (USA).

9. El Costo de Fabricación de equipos locales es 581.266 USD y el costo de importación de los equipos es 907.650 USD. El costo del montaje de todos los equipos es de 153.300 USD.

10. El Proyecto realizado es una coordinación de varias disciplinas ingenieriles como son: Mecánica, Eléctrica, Automatización, Electrónica y Civil; por tanto, para cada disciplina se ha desarrollado la

información técnica necesaria que servirá para el desarrollo posterior de otros equipos, estructuras, dispositivos, etc, que intervienen en el proyecto.

11. El Transportador de Rastra es un equipo con un costo elevado para su compra e importación, por lo que se recomienda desarrollar el proceso ingenieril para su diseño y construcción en el País.

# BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS


1. PIERSON, HUGH O., Handbook of Coal, Graphite and Diamond, Noyes publication 1993.

2. SPEIGHT, JAMES G, The Chemistry and technology of coal, 2da Edición Marcel Dekker, 1994.

3. VAN KREVELEN, D.W., “Coal” typology, physics, Chemistry and Constitution, 3ra Edition, 1993.

4. PERRY, Manual del Ingeniero Químico, tomo 3, 2000.

5. LIONEL S. MARKS, Mechanical Engineers’ Handbook, Editado por McGraw-Hill Book, New york – Toronto-Londres, 5ta edición, 1951. Paginas: 752-769, 784, 795-799, 804-808 y 1090-1092.

6. MINISTERIO DEL AMBIENTE, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria, Quito – Ecuador, diciembre 2002.

Anexo 3: paginas 1 – 10

Anexo 4: paginas 1 – 6


7. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 5th edition, Ohio, 1986.

8. CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), tecnologías Limpias, editado 2002 en San Borja · Lima – Perú.

9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Annual Book of ASTM Standards, Impreso en USA, 1973.

10. SMIDTH F.L., Precautions when using coal and lignite.

11. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, HandBook Industrial Ventilation, 22va edición, Cincinnati 1995.

12. ALMACENADORA SUR S.A., Control de Ambientes Explosivos en terminales Graneleras, Mexico D.F.

13. JENIKE, A.W., "Storage and Flow of Solids", Eng. Exp. Station Bulletin 123 (Univ. of Utah, 1970).

14. LYN BATES, Problems in Particulate Flow, Part A -- Flow Regimes.

15. MECH, E. (Bulk Materials Handling Committee), "Guide to the Specification of Bulk Materials for Storage and Handling Applications" (1996).

16. DONALSON COMPANY, Filtración Industrial del aire, 2002.

17. STEFAN HESSE, Aire comprimido, 2002, Editado por FESTO AG & Co. Pág. 30.

18. GEORGE G. CHASE, Solids Notes 10, university of Akron

19. HOLDERBANK ENGINEERING CANADA, General Mechanical Specifications, 2001.

20. JANSSEN H.A., Versuche uberüber Getreidedruck in Silozellen, Verein Deutcher Ingenieure, Zeits.

21. ROARK RAYMOND J., Formulas for Stress and Strain, 5ta edición, 1982, paginas: 447-455.

22. MEGYESY EUGENE F., Manual de Recipientes a Presión, Editorial limusa, 1989, pagina 176 y 264

23. INTENSIV, Catalogo de Filtros, 1997, Alemania

24. JENIKE, Jenike's metod for hopper design

25. WAM CORPORATION, Rotary Valves Catolog, edición 1995, Atlanta.

26. SHIGLEY, J.E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta edición, Editorial Msc. Graw Hill, Pagina 67

27. MANUAL AISC, Load and Resistance Factor Design.

28. MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC, Catalogo 1090, edición 1995

29. NORMAS NEMA, publicación MG-1-1993 para motores de corriente alterna jaula de ardilla.

30. PIERSON, HUGH O., Handbook of carbón, Graphite and Diamond, Noyes publication 1993.

31. SPEIGHT, JAMES G, The Chemistry and technology of coal, 2da edición Marcel Dekker, 1994.

32. VAN KREVELEN, D.W., “Coal” typology, physics, Chemistry and Constitution, 3ra Edition, 1993.

33. DEUTSCHE NORM DIN 1055, Design Loads for Buildings, Berlin,1964.

34. FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora, Abril 2004.

35. DIETMAR – SCHULZE , Silo Stress Tool, Versión 1.0.9.6, 1999.

36. LOREN COOK COMPANY, Compute – A – Fan Versión 6.3.5.7, 1997.

37. SAP2000, Structural Analysis Program, 2000.

38. CREUS SOLE, ANTONIO, Instrumentación Industrial, 6ta edición.

39. HOLGER SCHROTH, Load State of Column Supported Steel Silos, Alemania.2002.

40. KAI HERZIG, Carrying Capacity of Single Supported Steel Silos UIT Bracing Members.

41. MARTINEZ LOZANO, ERNESTO, Estandares de Montaje, Catedratico de la FIMCP-ESPOL.

42. FIMCP-ESPOL, Heber 2002, Software para diseño de Bandas Transportadoras.

43. SIEE, Sistema de Información Económica Energética, 2000.

44. NTN. Rodamientos de Bolas y de Rodillos, CAT.No2200-II/S.

45. VOITH TURBO GMBH, Acople Hidrodinámico de Ejes y Poleas.

46. DAVID COOPER & F. C. ALLEY, Air Pollution Control, Segunda edición.

# APENDICE

## APENDICE A

### ANCHOS DE BANDA MÍNIMOS RECOMENDADOS

| Ancho de Banda | | tamaño de terrón máximo | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | tamaños uniformes | | mezclado con 90% finos | |
| mm | pulg | mm | pulg | mm | pulg |
| 350 | 14 | 50 | 2 | 100 | 4 |
| 400 | 16 | 50 | 2 | 125 | 5 |
| 450 | 18 | 75 | 3 | 150 | 6 |
| 500 | 20 | 100 | 4 | 150 | 6 |
| 600 | 24 | 125 | 5 | 175 | 7 |
| 650 | 26 | 125 | 5 | 200 | 8 |
| 750 | 30 | 150 | 6 | 250 | 10 |
| 800 | 32 | 175 | 7 | 300 | 12 |
| 900 | 36 | 175 | 7 | 300 | 12 |
| 1000 | 40 | 200 | 8 | 350 | 14 |
| 1050 | 42 | 250 | 10 | 400 | 16 |
| 1200 | 48 | 275 | 11 | 400 | 16 |
| 1350 | 54 | 350 | 14 | 450 | 18 |
| 1400 | 56 | 400 | 16 | 500 | 20 |
| 1500 | 60 | 400 | 16 | 500 | 20 |
| 1600 | 64 | 450 | 18 | 650 | 26 |
| 1650 | 66 | 450 | 18 | 650 | 26 |
| 1800 | 72 | 550 | 22 | 700 | 28 |
| 1950 | 78 | 600 | 24 | 700 | 28 |
| 2000 | 80 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2200 | 88 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2250 | 90 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2400 | 96 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2550 | 102 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2700 | 108 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 2850 | 114 | 600 | 24 | 750 | 30 |
| 3000 | 120 | 600 | 24 | 750 | 30 |

Referencia: GOODYEAR Handbook of Conveyor and Elevator belt, 1975, pag. 5-7
ROULUNDS Catálogo de Bandas transportadoras, pag. 11

## APENDICE B

# VELOCIDAD DE BANDA MAX. RECOMENDADA (m/s)

| Ancho de Banda | | Material | | |
|---|---|---|---|---|
| **mm** | **pulg** | ligero(<0.8ton/$m^3$) grano fino | mediano(0.8-1.6 ton/$m^3$) abrasivo | pesado(>1.6ton/$m^3$) muy abrasivo |
| 350 | 14 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| 400 | 16 | 2.5 | 1.6 | 1.25 |
| 450 | 18 | 2.5 | 2 | 1.6 |
| 500 | 20 | 3.15 | 2.0 | 1.6 |
| 600 | 24 | 3.15 | 2.5 | 1.8 |
| 650 | 26 | 3.15 | 2.5 | 1.8 |
| 750 | 30 | 3.5 | 2.5 | 1.8 |
| 800 | 32 | 3.55 | 2.5 | 1.8 |
| 900 | 36 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1000 | 40 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1050 | 42 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1200 | 48 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1350 | 54 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1400 | 56 | 4.0 | 3.15 | 2.24 |
| 1500 | 60 | 4.0 | 3.15 | 2.5 |
| 1600 | 64 | 4.0 | 3.55 | 2.5 |
| 1650 | 66 | 4.0 | 3.55 | 2.5 |
| 1800 | 72 | 4.5 | 3.55 | 2.5 |
| 2000 | 80 | 4.5 | 3.55 | 2.5 |
| 2200 | 88 | 4.5 | 3.55 | 2.5 |

Referencia: GOODYEAR Handbook of Conveyor and Elevator belt, pag. 5-8
ROULUNDS Catálogo de Bandas transportadoras, pag. 11

## APENDICE C

# COEFICIENTES DE FRICCIÓN (f) DE LAS PARTES GIRATORIAS

| Condición | coeficiente f |
|---|---|
| Buenos transportadores con rodillos de marcha suave y pequeña fricción interna en el material | 0.017 |
| Valor standard para bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo | 0.020 |
| Para condiciones de marcha desfavorables operación polvosa, sobrecargas periódicas | 0.023-0.030 |
| Transportadores descendentes que requieren frenado por medio de motor | 0.012 |

Referencia: ROULUNDS Catálogo de Bandas Transportadoras, pag. 13

# APENDICE D

## VALORES PROMEDIO DEL PESO DE LA CINTA TRANSPORTADORA

| Ancho de banda (mm) | servicio liviano peso específico < 0.8 ton/m³ | servicio mediano peso específico 0.8 a 1.6 ton/m³ | servicio pesado peso específico > 1.6 ton/m³ |
|---|---|---|---|
| | Peso de la cinta transportadora Gb (kg/m) | | |
| **350** | 1.5 | 3.0 | 4.5 |
| **400** | 3.0 | 4.5 | 6.0 |
| **450** | 4.5 | 6.0 | 7.5 |
| **500** | 6.0 | 7.5 | 9.0 |
| **600** | 7.5 | 9.0 | 10.5 |
| **750** | 9.0 | 10.5 | 12.0 |
| **900** | 10.5 | 13.5 | 16.5 |
| **1050** | 13.5 | 16.5 | 21.0 |
| **1200** | 18.0 | 22.5 | 27.0 |
| **1350** | 21.0 | 27.0 | 33.0 |
| **1500** | 25.5 | 31.5 | 40.5 |
| **1650** | 30.0 | 36.0 | 48.0 |
| **1800** | 33.0 | 42.0 | 54.0 |

Referencia: GOODYEAR Handbook of Conveyor and Elevator Belt, pag. 6.2

# APENDICE E

## VALORES PROMEDIO DEL PESO DE LOS RODILLOS SUPERIORES Y DE RETORNO

| Ancho de banda (mm) | servicio liviano peso específico < 1.5 ton/m$^3$ | | servicio pesado peso específico > 1.5 ton/m$^3$ | |
|---|---|---|---|---|
| | Gro (kg) | Gru (kg) | Gro (kg) | Gru (kg) |
| **300** | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 3.5 |
| **400** | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 |
| **500** | 3.5 | 3.5 | 5.5 | 5.5 |
| **650** | 5.5 | 5.5 | 10 | 10 |
| **800** | 11 | 11 | 14 | 14 |
| **1000** | 13 | 13 | 18 | 18 |
| **1200** | 15 | 15 | 20 | 20 |
| **1400** | 22 | 22 | 31 | 31 |
| **1600** | 25 | 25 | 35 | 35 |
| **1800** | 39 | 39 | 47 | 47 |
| **2000** | 43 | 43 | 52 | 52 |
| **2200** | 47 | 47 | 56 | 56 |

Referencia: ROULUNDS Catálogo de Bandas transportadoras, pag. 12

# APENDICE F

## VALORES RECOMENDADOS DE ESPACIAMIENTO ENTRE RODILLOS SUPERIORES E INFERIORES

| Ancho de banda (mm) | Espaciamiento rodillos superiores S1 (m) | | | | | | Espaciamiento rodillos S2 inferiores (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Peso específico del material (kg/m$^3$) | | | | | | |
| | 500 | 800 | 1200 | 1600 | 2400 | 3200 | |
| **450** | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 3.0 |
| **600** | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 3.0 |
| **750** | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 3.0 |
| **900** | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 3.0 |
| **1050** | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 3.0 |
| **1200** | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 3.0 |
| **1350** | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 3.0 |
| **1500** | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 3.0 |
| **1650** | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.75 | 0.75 | 2.4 |
| **1800** | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.75 | 0.75 | 2.4 |
| **2100** | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.75 | 0.75 | 0.60 | 2.4 |
| **2400** | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.75 | 0.60 | 0.60 | 2.4 |

Referencia: CEMA Handbook, 2o. Edición, pag. 68

# APENDICE G

## EFICIENCIAS MECÁNICAS DE EQUIPOS
## REDUCTORES DE VELOCIDAD

| Tipo de reducción | Eficiencia (%) |
|---|---|
| Poleas y bandas en V | 94% |
| Catalina y cadena de rodillos | 93% |
| Catalina y cadena de rodillos, lubricados en aceite | 95% |
| Reductor de engranes helicoidales, una reducción | 95% |
| Reductor de engranes helicoidales, doble reducción | 94% |
| Reductor de engranes helicoidales, triple reducción | 93% |
| Reductor de tornillo sin-fin (ratio 20:1) | 90% |
| Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 20:1 a 60:1) | 70% |
| Reductor de tornillo sin-fin (ratio de 60:1 a 100:1) | 50% |
| Reductor de engranes rectos (maquinados) | 90% |
| Reductor de engranes rectos (fundidos) | 85% |

Referencia: Belt Conveyor CEMA Handbook, 2da. Edición

## APENDICE H

## COEFICIENTE DE FRICCION TAMBOR-BANDA

| Condiciones del Tambor | Coeficiente de Friccion $\mu$ |
|---|---|
| Tambor motriz revestido y Seco | 0.4 |
| Tambor motriz revestido y humedo | 0.35 |
| Tambor motriz desnudo y seco | 0.35 |
| Tambor motriz desnudo y humedo | 0.20 |

Referencia: Roulounds, Catalogo de bandas transportadoras

## APENDICE I

### Clasificación de rodillos según CEMA

| Clase de servicio | Clase CEMA | | Diámetro rodillo (pulg.) | tipo de rodamiento | ancho de banda (pulg.) |
|---|---|---|---|---|---|
| | nueva | antigua | | | |
| carga ligera | A | I | 4-5 | bolas | 18-36 |
| | B | II | 4-5 | bolas | 18-48 |
| carga mediana | C | III | 4-5 | rodillos | 18-60 |
| | | IV | 6 | rodillos | 18-60 |
| | D | - | 5-6 | - | 36-72 |
| carga pesada | E | V | 6 | rodillos | 36-96 |
| | | VI | 7 | rodillos | 36-96 |

Referencia: Catálogo 1040R REXNORD Belt conveyors idlers

# APENDICE J

**Distancia entre apoyos en los tambores**

| ancho de banda | | distancia entre apoyos (mm) | | |
|---|---|---|---|---|
| pulg. | mm | tambor motríz y de cabeza | tambor de cola y contrapeso | tambor adicional y desviador |
| 16 | 400 | 760 | 760 | 630 |
| 18 | 450 | 810 | 810 | 680 |
| 24 | 600 | 1020 | 1020 | 840 |
| 30 | 750 | 1170 | 1170 | 990 |
| 36 | 900 | 1370 | 1370 | 1140 |
| 42 | 1050 | 1520 | 1520 | 1300 |
| 48 | 1200 | 1680 | 1680 | 1450 |
| 54 | 1350 | 1830 | 1830 | 1600 |
| 60 | 1500 | 1980 | 1980 | 1750 |
| 66 | 1650 | 2130 | 2130 | 1900 |
| 72 | 1800 | 2400 | 2400 | 2050 |
| 84 | 2100 | 2700 | 2700 | 2350 |
| 96 | 2400 | 3000 | 3000 | 2650 |
| 100 | 2500 | 3100 | 3100 | 2750 |

Referencia: Bulk Solids Handling, volume 6, No.2, April 1986

## APENDICE K

## RECOMENDACIONES DE DURACION DE COJINETES PARA DIVERSAS CLASES DE MAQUINAS.

| Tipo de Aplicación | Vida ( horas ) |
|---|---|
| Maquinas para operación breve o intermitente, donde la iterrupcion del servicio es de poca importacia. | 4000 - 8000 |
| Maquinas de servicio intermitente, donde la operación confiable es de gran importancia. | 8000 - 14000 |
| Maquinas de servicio de 8 horas que no siempre se utilizan plenamente. | 14000 - 20000 |
| Maquinas de servicio de 8 horas que se utilizan plenamente. | 20000 - 30000 |
| Maquinas de servicio continuo las 24 horas. | 50000 - 60000 |
| Maquinas de servicio continuo las 24 horas, donde la confiabilidad es de suma importancia. | 100000 - 200000 |

[44] NTN. Rodamientos de Bolas y de Rodillos.

## APENDICE L

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL COLECTOR DE MANGAS PJD

| Modelo | Numero de Mangas | Longitud de Mangas ( FT ) | Area Filtrante ( $FT^2$ ) | Dimensiones ( FT ) | | | | Peso ( lb ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A | B | C | D | |
| **9PJD6<br>8** | 9 | 6<br>8 | 67.5<br>89.5 | 29.0 | 34.0 | 103.6<br>127.6 | 15.5 | 1105<br>1230 |
| **16PJD6<br>8** | 16 | 6<br>8 | 120.0<br>159.0 | 41.0 | 36.0 | 109.7<br>133.7 | 21.6 | 1505<br>1700 |
| **25PJD6<br>8** | 25 | 6<br>8 | 187.5<br>249.0 | 47.5 | 48.5 | 116.2<br>140.2 | 28.1 | 1790<br>2130 |
| **36PJD6<br>8** | 36 | 6<br>8 | 270.0<br>358.0 | 55.0 | 560 | 122.7<br>146.7 | 34.6 | 2095<br>2370 |
| **49PJD8<br>10** | 49 | 8<br>10 | 483.0<br>603.0 | 59.0 | 60.0 | 150.2<br>174.2 | 38.1 | 2680<br>2895 |
| **64PJD8<br>10** | 64 | 8<br>10 | 630.0<br>788.0 | 70.0 | 71.0 | 159.7<br>183.7 | 47.6 | 3500<br>3820 |
| **81PJD8<br>10** | 81 | 8<br>10 | 798.0<br>997.0 | 77.5 | 78.5 | 166.2<br>190.2 | 54.1 | 4270<br>4585 |
| **100PJD8<br>10** | 100 | 8<br>10 | 985.0<br>1231.0 | 85.0 | 86.0 | 164.0<br>188.0 | 52.0 | 4580<br>4990 |

[16] DONALSON COMPANY, Filtración Industrial del aire, 2002.

## APENDICE M

## CAPACIDAD DE LA VALVULA ROTATORIA

| Tamano | Tasa de descarga | Maxima Velocidad Rpm | Revoluciones por minuto | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| 4x4 | 0.02 | 50 | 0.2 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.8 | 1.0 |
| 6x6 | 0.07 | 50 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 1.75 | 2.1 | 2.8 | 3.5 |
| 8x8 | 0.20 | 47 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 |
| 10x10 | 0.37 | 47 | 3.7 | 5.6 | 7.4 | 9.25 | 11.1 | 15 | --- |
| 12x12 | 0.66 | 32 | 6.6 | 9.9 | 13.2 | 16.5 | 19.8 | --- | --- |
| 12x21 | 1.15 | 30 | 11.5 | 17.3 | 23.0 | 28.8 | 34.5 | --- | --- |
| 14x14 | 1.0 | 30 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25 | 30 | --- | --- |
| 16x16 | 1.6 | 25 | 16.0 | 24.0 | 32.0 | 40 | --- | --- | --- |
| 18x18 | 2.1 | 25 | 21.0 | 31.5 | 42.0 | 52.5 | --- | --- | --- |
| 22x22 | 4.1 | 20 | 41.0 | 61.5 | 82.0 | ---- | --- | --- | --- |

*Las capacidades estan dadas en CFM y rotor es de 6 alabes

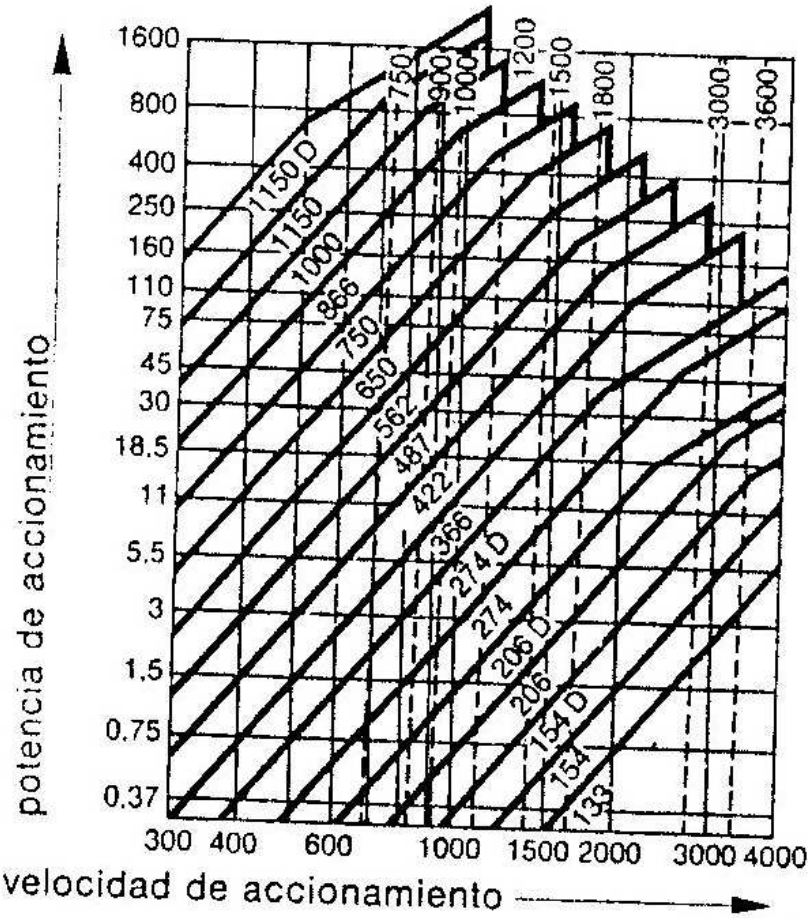
## DIMENSIONES DE LA VALVULA ROTATORIA

| Tamano | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4x4 | 19.0 | 60.3 | 196.8 | 98.4 | 166.7 | 269.8 |
| 6x6 | 25.4 | 92.1 | 254.0 | 127.0 | 212.7 | 361.9 |
| 8x8 | 25.4 | 123.8 | 304.8 | 152.4 | 238.1 | 412.7 |
| 10x10 | 31.7 | 152.4 | 381.0 | 190.5 | 276.2 | 488.9 |
| 12x12 | 38.1 | 185.7 | 463.5 | 231.7 | 336.5 | 584.2 |
| 12x21 | 38.1 | 301.6 | 381.0 | 190.5 | 438.1 | 800.1 |
| 14x14 | 63.5 | 215.9 | 533.4 | 266.7 | 415.9 | 730.2 |
| 16x16 | 63.5 | 254.0 | 609.6 | 304.8 | 441.3 | 781.0 |
| 18x18 | 63.5 | 266.7 | 685.8 | 342.9 | 466.7 | 831.8 |
| 22x22 | 63.5 | 317.5 | 787.4 | 393.7 | 517.5 | 933.4 |

*Las dimensiones estan dadas en mm

## APENDICE N

## DETERMINACION DEL ACOPLE VOITH




[45] VOITH TURBO GMBH, Acople Hidrodinámico de Ejes y Poleas.

## APENDICE O

## COEFIENTE DE PERDIDAS EN TUBERIAS

**Black Iron, Aluminum, Stainless Steel, PVC Ducts**

| Diameter, inches | Friction Loss, No. VP per foot | | | Diameter, inches | Friction Loss, No. VP per foot | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 fpm | 4000 fpm | 6000 fpm | | 2000 fpm | 4000 fpm | 6000 fpr |
| 0.5 | 0.7963 | 0.7242 | 0.6850 | 33 | 0.0051 | 0.0047 | 0.0044 |
| 1 | 0.3457 | 0.3143 | 0.2974 | 34 | 0.0050 | 0.0045 | 0.0043 |
| 1.5 | 0.2121 | 0.1929 | 0.1825 | 35 | 0.0048 | 0.0043 | 0.0041 |
| 2 | 0.1500 | 0.1364 | 0.1291 | 36 | 0.0046 | 0.0042 | 0.0040 |
| 2.5 | 0.1147 | 0.1043 | 0.0987 | 37 | 0.0045 | 0.0041 | 0.0038 |
| 3 | 0.0921 | 0.0837 | 0.0792 | 38 | 0.0043 | 0.0039 | 0.0037 |
| 3.5 | 0.0765 | 0.0696 | 0.0658 | 39 | 0.0042 | 0.0038 | 0.0036 |
| 4 | 0.0651 | 0.0592 | 0.0560 | 40 | 0.0041 | 0.0037 | 0.0035 |
| 4.5 | 0.0565 | 0.0514 | 0.0486 | 41 | 0.0040 | 0.0036 | 0.0034 |
| 5 | 0.0498 | 0.0453 | 0.0428 | 42 | 0.0038 | 0.0035 | 0.0033 |
| 5.5 | 0.0444 | 0.0404 | 0.0382 | 43 | 0.0037 | 0.0034 | 0.0032 |
| 6 | 0.0400 | 0.0363 | 0.0344 | 44 | 0.0036 | 0.0033 | 0.0031 |
| 7 | 0.0332 | 0.0302 | 0.0286 | 45 | 0.0035 | 0.0032 | 0.0030 |
| 8 | 0.0283 | 0.0257 | 0.0243 | 46 | 0.0034 | 0.0031 | 0.0030 |
| 9 | 0.0245 | 0.0223 | 0.0211 | 47 | 0.0034 | 0.0030 | 0.0029 |
| 10 | 0.0216 | 0.0197 | 0.0186 | 48 | 0.0033 | 0.0030 | 0.0028 |
| 11 | 0.0193 | 0.0175 | 0.0166 | 49 | 0.0032 | 0.0029 | 0.0027 |
| 12 | 0.0174 | 0.0158 | 0.0149 | 50 | 0.0031 | 0.0028 | 0.0027 |
| 13 | 0.0158 | 0.0143 | 0.0136 | 52 | 0.0030 | 0.0027 | 0.0026 |
| 14 | 0.0144 | 0.0131 | 0.0124 | 54 | 0.0028 | 0.0026 | 0.0024 |
| 15 | 0.0133 | 0.0121 | 0.0114 | 56 | 0.0027 | 0.0025 | 0.0023 |
| 16 | 0.0123 | 0.0112 | 0.0106 | 58 | 0.0026 | 0.0024 | 0.0022 |
| 17 | 0.0114 | 0.0104 | 0.0098 | 60 | 0.0025 | 0.0023 | 0.0021 |
| 18 | 0.0106 | 0.0097 | 0.0092 | 62 | 0.0024 | 0.0022 | 0.0021 |
| 19 | 0.0100 | 0.0091 | 0.0086 | 64 | 0.0023 | 0.0021 | 0.0020 |
| 20 | 0.0094 | 0.0085 | 0.0081 | 66 | 0.0022 | 0.0020 | 0.0019 |
| 21 | 0.0088 | 0.0080 | 0.0076 | 68 | 0.0021 | 0.0020 | 0.0018 |
| 22 | 0.0084 | 0.0076 | 0.0072 | 70 | 0.0021 | 0.0019 | 0.0018 |
| 23 | 0.0079 | 0.0072 | 0.0068 | 72 | 0.0020 | 0.0018 | 0.0017 |
| 24 | 0.0075 | 0.0068 | 0.0065 | 74 | 0.0019 | 0.0018 | 0.0017 |
| 25 | 0.0072 | 0.0065 | 0.0062 | 76 | 0.0019 | 0.0017 | 0.0016 |
| 26 | 0.0068 | 0.0062 | 0.0059 | 78 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0016 |
| 27 | 0.0065 | 0.0059 | 0.0056 | 80 | 0.0018 | 0.0016 | 0.0015 |
| 28 | 0.0063 | 0.0057 | 0.0054 | 82 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0015 |
| 29 | 0.0060 | 0.0055 | 0.0052 | 84 | 0.0017 | 0.0015 | 0.0014 |
| 30 | 0.0058 | 0.0052 | 0.0050 | 86 | 0.0016 | 0.0015 | 0.0014 |
| 31 | 0.0055 | 0.0050 | 0.0048 | 88 | 0.0016 | 0.0014 | 0.0014 |
| 32 | 0.0053 | 0.0048 | 0.0046 | 90 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0013 |

[11]AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, HandBook Industrial Ventilation, 22va edición, Cincinnati 1995.

## COLECTORDE POLVOS MODELO HP

| Modelo | Caudal ( CFM ) | Dimensiones ( in ) | | | | | | | | | | | Area Filtro $ft^2$ | Peso ( lb ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | | |
| 64HPW | 6400-10200 | 315.8 | 116.0 | 97.0 | 102.8 | 261.8 | 102.0 | 76.5 | 68.0 | 52 | 30 x 58 | 20 x 25 | 637 | 5538 |
| 80HPW | 8000-12800 | 315.8 | 116.0 | 97.0 | 102.8 | 261.8 | 102.0 | 73.5 | 68.0 | 62 | 30 x 58 | 20 x 31 | 795 | 6259 |
| 96HPW | 9600-17280 | 315.8 | 116.0 | 97.0 | 102.8 | 261.8 | 102.0 | 70.0 | 68.0 | 72 | 30 x 58 | 20 x 38 | 954 | 6712 |
| 128HPW | 12800-20500 | 315.8 | 116.0 | 97.0 | 102.8 | 261.8 | 102.0 | 64.0 | 68.0 | 92 | 30 x 58 | 20 x 50 | 1272 | 7837 |
| 160HPW | 16000-25600 | 315.8 | 116.0 | 97.0 | 102.8 | 261.8 | 102.0 | 57.5 | 68.0 | 112 | 30 x 58 | 20 x 63 | 1590 | 8714 |
| 192HPW | 19200-30700 | 331.5 | 131.7 | 97.0 | 102.8 | 277.5 | 192.0 | 65.0 | 83.7 | 72 | 40 x 47 | 32 x 48 | 1908 | 12500 |
| 256HPW | 25600-41000 | 331.5 | 131.7 | 97.0 | 102.8 | 277.5 | 192.0 | 57.0 | 83.7 | 92 | 40 x 63 | 32 x 64 | 2544 | 14000 |
| 320HPW | 32000-51200 | 331.5 | 131.7 | 97.0 | 102.8 | 277.5 | 192.0 | 51.5 | 83.7 | 112 | 40 x 78 | 32 x 80 | 3180 | 17000 |
| 64HPT | 6400-10200 | 239.5 | 116.0 | 97.3 | 26.2 | 224.5 | 102.0 | 76.5 | 68.0 | 52 | 39 x 15.5 | 20 x 25 | 637 | 4890 |
| 80HPT | 8000-12800 | 239.5 | 116.0 | 97.3 | 26.2 | 224.5 | 102.0 | 73.5 | 68.0 | 62 | 49 x 15.5 | 20 x 31 | 795 | 5581 |
| 96HPT | 9600-17280 | 239.5 | 116.0 | 97.3 | 26.2 | 224.5 | 102.0 | 70.0 | 68.0 | 72 | 59 x 15.5 | 20 x 38 | 954 | 6006 |
| 128HPT | 12800-20500 | 239.5 | 116.0 | 97.3 | 26.2 | 224.5 | 102.0 | 64.0 | 68.0 | 92 | 79 x 15.5 | 20 x 50 | 1272 | 7087 |
| 160HPT | 16000-25600 | 239.5 | 116.0 | 97.3 | 26.2 | 224.5 | 102.0 | 57.5 | 68.0 | 112 | 99 x 15.5 | 20 x 63 | 1590 | 8018 |
| 192HPT | 19200-30700 | 255.0 | 131.7 | 97.3 | 26.0 | 240.1 | 192.0 | 65.0 | 83.7 | 72 | 59 x 15.5 (2) | 32 x 48 | 1908 | 10300 |
| 256HPT | 25600-41000 | 255.0 | 131.7 | 97.3 | 26.0 | 240.1 | 192.0 | 57.0 | 83.7 | 92 | 79 x 15.5 (2) | 32 x 64 | 2544 | 10700 |
| 320HPT | 32000-51200 | 255.0 | 131.7 | 97.3 | 26.0 | 240.1 | 192.0 | 51.5 | 83.7 | 112 | 99 x 15.5 (2) | 32 x 80 | 3180 | 14500 |
| 30HPH** | 3000-4800 | 183.0 | 116.0 | 67.0 | – | 147.5 | 116.3 | 50.4 | 68.0 | 37 | 13 x 30 | 12 x 24 | 298 | 3240 |
| 36HPH | 3600-5800 | 183.0 | 116.0 | 67.0 | – | 147.5 | 116.3 | 50.4 | 68.0 | 42 | 13 x 30 | 12 x 24 | 358 | 3411 |
| 42HPH | 4200-6720 | 183.0 | 116.0 | 67.0 | – | 147.5 | 116.3 | 50.4 | 68.0 | 47 | 13 x 30 | 12 x 24 | 418 | 3624 |
| 54HPH | 5400-8600 | 183.0 | 116.0 | 67.0 | – | 147.5 | 116.3 | 44.4 | 68.0 | 57 | 13 x 30 | 12 x 36 | 537 | 4055 |

[16] DONALSON COMPANY, Filtración Industrial del aire, 2002.

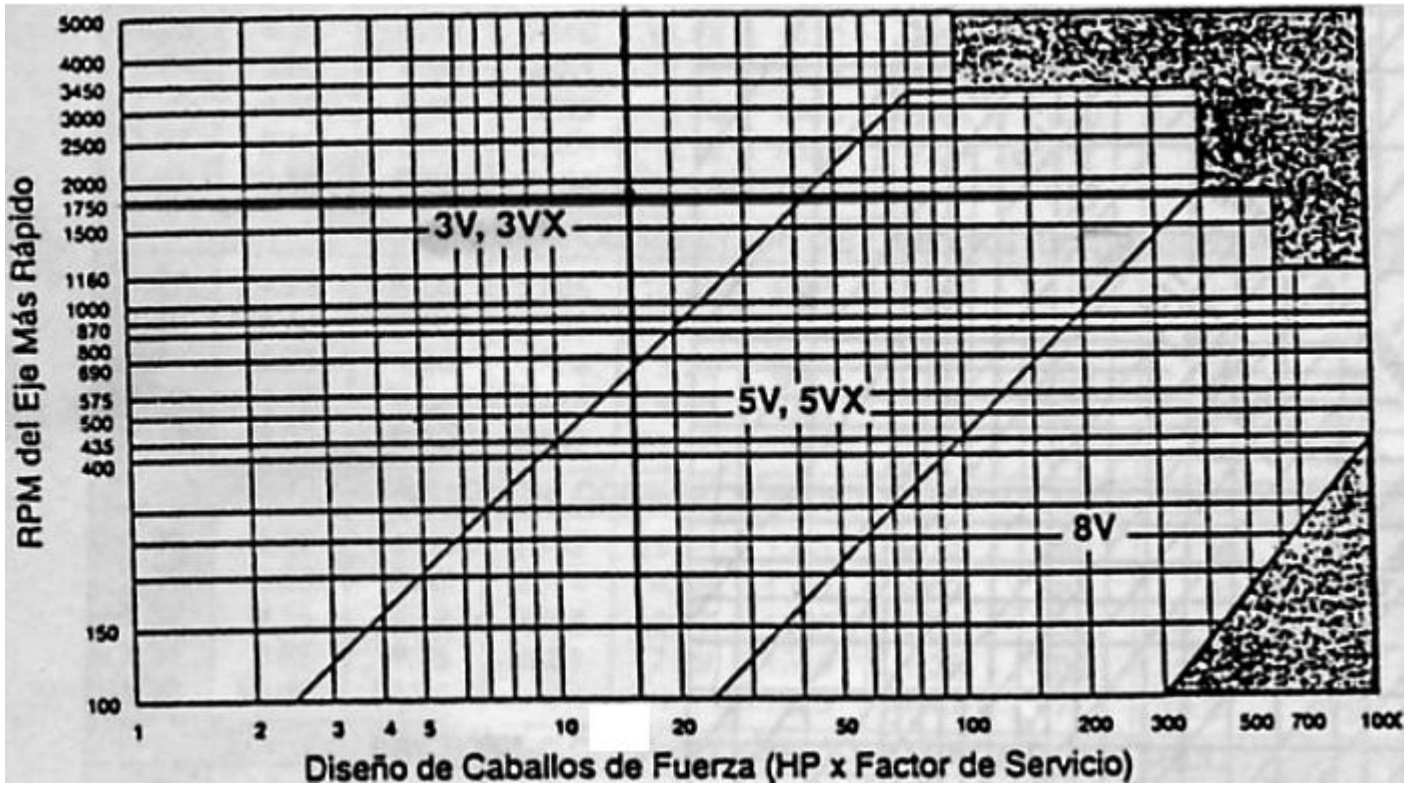
# APENDICE Q

## FACTORES DE SERVICIOS PARA MAQUINAS

| TIPOS DE MAQUINAS DE TRANSMISION | TIPOS DE UNIDADES MOTRICES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Los tipos de máquinas de transmisión anotados a continuación son sólo ejemplos representativos. Seleccione de la siguiente lista la categoría que más se aproxime a su selección.<br><br>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:<br><br>Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno<br>Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1<br>Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1<br>Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2 | MOTORES ELECTRICOS<br>AC Torque Norma<br>Jaula de Ardilla<br>y sincrónico<br>AC Fase Split<br>DC Motor en derivación<br>Motores de Combustión Interna | | | MOTORES ELECTRICOS<br>AC Torque-Alto<br>AC Hi-Slip<br>AC Repulsión-Inducción<br>AC Fase Simple<br>Devanado en serie<br>AC Anillo Slip<br>DC Devanado Compuesto | | |
| | SERVICIO INTERMITENTE | SERVICIO NORMAL | SERVICIO CONTINUO | SERVICIO INTERMITENTE | SERVICIO NORMAL | SERVICIO CONTINUO |
| Agitadores para líquidos<br>Sopletes y aspiradoras<br>Bombas centrífugas y Compresoras<br>Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza<br>Transportadores de trabajo ligero | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| Transportadores de Banda para arena, grano, etc.<br>Mezcladores de masa<br>Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza<br>Generadores<br>Ejes de línea<br>Máquinas de lavandería<br>Herramientas para máquinas<br>Cizallas, Prensas, Punzadoras<br>Máquinas de imprenta<br>Bombas de Rotación para Reemplazo Positivo<br>Revolvedoras y Cribas | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| Máquinas para ladrillos<br>Elevadores de cangilones<br>Excitadores<br>Compresores de Pistones<br>Transportadores (Drogas, Helicoidales, Tablillas)<br>Molinos de martillo<br>Batidores de Molinos de Papel<br>Bombas para Pistones<br>Sopletes para Reemplazo Positivo<br>Pulverizadores<br>Máquinas para madera y sierras<br>Máquinas textiles | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.5 |
| Trituradores (Giratorios, Mordazas, Roladores)<br>Molinos (Bolas, Roladoras, Laminadoras)<br>Gruas<br>Calandrias de hule — Extrusoras — molinos | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.6 |
| Equipo con ahogador | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC, Catalogo 1090, edición 1995

SECCION TRANSVERSAL DE LAS POLEAS




[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC, Catalogo 1090, edición 1995

**APENDICE S**

| CABALLO DE FUERZA DEL MOTOR | RPM DEL MOTOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 575 | 695 | 870 | 1160 | 1750 | 3450 |
| .50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | — | — | — |
| .75 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | — | — |
| 1.00 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.25 | — |
| 1.50 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.25 |
| 2.00 | 3.75 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 | 2.50 |
| 3.00 | 4.50 | 3.75 | 3.00 | 3.00 | 2.50 | 2.50 |
| 5.00 | 4.50 | 4.50 | 3.75 | 3.00 | 3.00 | 2.50 |
| 7.50 | 4.25 | 4.50 | 4.50 | 3.75 | 3.00 | 3.00 |
| 10.00 | 6.00 | 5.25 | 4.50 | 4.50 | 3.75 | 3.00 |
| 15.00 | 6.75 | 6.00 | 5.25 | 4.50 | 4.50 | 3.75 |
| 20.00 | 8.25 | 6.75 | 6.00 | 5.25 | 4.50 | 4.50 |
| 25.00 | 9.00 | 8.25 | 6.75 | 6.00 | 4.50 | 4.50* |
| * 30.00 | 10.00 | 9.00 | 6.75 | 6.75 | 5.25 | — |
| 40.00 | 10.00 | 10.00 | 8.25 | 6.75 | 6.00 | — |
| 50.00 | 11.00 | 10.00 | 9.00 | 8.25 | 6.75 | — |
| 60.00 | 12.00 | 11.00 | 10.00 | 9.00 | 7.50 | — |
| 75.00 | 14.00 | 13.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00 | — |
| 100.00 | 18.00 | 15.00 | 13.00 | 13.00 | 10.00 | — |
| 125.00 | 20.00 | 18.00 | 15.00 | 13.00 | 11.00 | — |
| 150.00 | 22.00 | 20.00 | 18.00 | 13.00 | — | — |
| 200.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | — | — | — |
| 250.00 | 22.00 | 22.00 | — | — | — | — |
| 300.00 | 27.00 | 27.00 | — | — | — | — |

*NOTA: Los datos sobre la línea son del National Electrical Manufacturers Association Standard MG 1-3.16 y MG1-3.16a. Los datos debajo de la línea son un compendio de datos de Electrical Motor Manufacturers. Son generalmente conservativos, y los motores y rodamientos específicos pueden permitir el uso de una polea para motor más pequeña. Consulte al fabricante de motores.

[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC, Catalogo 1090, edición 1995

## APENDICE T

## CAJA REDUCTORA PARA MOTORES ELECTRICOS DE 3HP

| Approx Output rpm | Exact Ratio | Actual Output Torque (lb-in) | Service Factor | Overhung Load (lb) | Hollow L.S. Shaft Basic Drive Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | | Hollow L.S. Shaft With Drywell Flange Mounted Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Drive Designation | Part No. | Drive Designation | Part No. |
| 111 | 15.80 | 1526 | 4.00 | 5035 | 07UWBQ2A16.A_C | 4760673 | 07UWXQ2A16.A_C | 4761059 |
| 87 | 20.07 | 2006 | 3.83 | 5035 | 20. | 4760681 | 20. | 4761067 |
| 80 | 21.89 | 2102 | 3.17 | 5035 | 22. | 4760685 | 22. | 4761071 |
| 71 | 24.59 | 2359 | 2.92 | 5035 | 25. | 4760689 | 25. | 4761075 |
| 65 | 27.03 | 2584 | 2.73 | 5035 | 28. | 4760693 | 28. | 4761079 |
| 57 | 30.81 | 3033 | 2.23 | 5023 | 32. | 4760698 | 32. | 4761085 |
| 50 | 35.31 | 3355 | 2.24 | 5035 | 36. | 4760701 | 36. | 4761088 |
| 44 | 40.15 | 3792 | 2.04 | 5035 | 40. | 4760705 | 40. | 4761092 |
| 40 | 44.13 | 4305 | 1.72 | 5018 | 45. | 4760711 | 45. | 4761098 |
| 35 | 49.90 | 4846 | 1.54 | 5018 | 50. | 4760716 | 50. | 4761103 |
| 33 | 53.63 | 5016 | 1.64 | 5022 | 56. | 4760721 | 56. | 4761108 |
| 28 | 61.62 | 5726 | 1.47 | 5022 | 63. | 4760726 | 63. | 4761113 |
| 25 | 69.00 | 6632 | 1.19 | 5009 | 71. | 4760731 | 71. | 4761118 |
| 23 | 75.56 | 7239 | 1.10 | 5009 | 80. | 4760736 | 80. | 4761123 |
| 20 | 88.26 | 8083 | 1.11 | 5013 | 90. | 4760741 | 90. | 4761128 |
| 18 | 99.79 | 9106 | 1.01 | 5013 | 100 | 4760746 | 100 | 4761133 |
| 18 | 97.33 | 9203 | 1.34 | 4996 | 07UWBQ3A100A_C | 4761660 | 07UWXQ3A100A_C | 4761730 |
| 15 | 113.20 | 10666 | 1.15 | 4990 | 118 | 4761664 | 118 | 4761734 |
| 36 | 49.26 | 4833 | 3.93 | 6466 | 08UWBQ2A50.A_C | 4760839 | 08UWXQ2A50.A_C | 4761226 |
| 32 | 54.60 | 5165 | 3.29 | 6474 | 56. | 4760843 | 56. | 4761230 |
| 28 | 63.56 | 5989 | 2.93 | 6474 | 63. | 4760847 | 63. | 4761234 |
| 25 | 69.64 | 6743 | 3.14 | 6461 | 71. | 4760853 | 71. | 4761240 |
| 23 | 76.50 | 7395 | 2.95 | 6461 | 80. | 4760859 | 80. | 4761246 |
| 20 | 87.29 | 8113 | 2.28 | 6465 | 90. | 4760865 | 90. | 4761252 |
| 18 | 98.53 | 9091 | 2.07 | 6457 | 100 | 4760871 | 100 | 4761258 |
| 17 | 102.38 | 9801 | 2.41 | 6457 | 112 | 4760877 | 112 | 4761264 |
| 15 | 117.89 | 11204 | 1.97 | 6448 | 125 | 4760883 | 125 | 4761270 |
| 13 | 139.29 | 12618 | 1.59 | 6448 | 140 | 4760889 | 140 | 4761276 |
| 11 | 153.00 | 13817 | 1.48 | 6448 | 160 | 4760895 | 160 | 4761282 |
| 8.5 | 204.75 | 18253 | 1.18 | 6452 | 212 | 4760901 | 212 | 4761288 |
| 7.4 | 235.77 | 20853 | 1.06 | 6452 | 250 | 4760907 | 250 | 4761294 |
| 16 | 106.17 | 10291 | 3.80 | 7823 | 09UWBQ2A112A_C | 4761007 | 09UWXQ2A112A_C | 4761394 |
| 15 | 119.38 | 11504 | 3.43 | 7823 | 125 | 4761013 | 125 | 4761400 |
| 12 | 146.23 | 13295 | 3.47 | 7823 | 140 | 4761019 | 140 | 4761406 |
| 11 | 161.44 | 14618 | 3.22 | 7823 | 160 | 4761025 | 160 | 4761412 |
| 7.9 | 222.08 | 19772 | 2.57 | 7823 | 212 | 4761031 | 212 | 4761418 |
| 7.0 | 249.73 | 22065 | 2.36 | 7823 | 250 | 4761037 | 250 | 4761424 |
| 7.8 | 225.50 | 20646 | 3.53 | 9104 | 10UWBQ2A212A_C | 4763539 | 10UWXQ2A212A_C | 4764099 |
| 7.2 | 242.27 | 22074 | 3.33 | 9104 | 250 | 4763545 | 250 | 4764105 |

[34] FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora.

## APENDICE U

## CAJA REDUCTORA PARA MOTORES ELECTRICOS DE 5HP

| Approx Output rpm | Exact Ratio | Actual Output Torque (lb-in) | Service Factor | Overhung Load (lb) | Hollow L.S. Shaft Basic Drive Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | | Hollow L.S. Shaft With Drywell Flange Mounted Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Drive Designation | Part No. | Drive Designation | Part No. |
| 211 | 8.31 | 1326 | 1.31 | 1674 | 05UWAQ2A8.0A_C | 4760469 | | |
| 150 | 11.66 | 1844 | 1.08 | 1674 | 11. | 4760473 | | |
| 136 | 12.85 | 2015 | 1.02 | 1674 | 12. | 4760477 | | |
| 109 | 16.09 | 2325 | 1.18 | 1674 | 16. | 4760485 | | |
| 213 | 8.23 | 1352 | 2.28 | 1806 | 06UWAQ2A8.0A_C | 4760562 | | |
| 151 | 11.57 | 1896 | 1.88 | 1788 | 11. | 4760565 | | |
| 135 | 12.97 | 2124 | 1.75 | 1780 | 12. | 4760568 | | |
| 120 | 14.56 | 2377 | 1.64 | 1772 | 14. | 4760571 | | |
| 110 | 15.93 | 2392 | 1.81 | 1778 | 16. | 4760574 | | |
| 95 | 18.49 | 3000 | 1.42 | 1749 | 18. | 4760577 | | |
| 83 | 20.96 | 3388 | 1.32 | 1735 | 20. | 4760580 | | |
| 78 | 22.40 | 3323 | 1.48 | 1749 | 22. | 4760583 | | |
| 70 | 25.11 | 3703 | 1.39 | 1735 | 25. | 4760586 | | |
| 62 | 28.18 | 4128 | 1.28 | 1722 | 28. | 4760589 | | |
| 49 | 35.79 | 5184 | 1.08 | 1686 | 36. | 4760596 | | |
| 222 | 7.90 | 1330 | 4.00 | 4972 | 07UWBQ2A8.0A_C | 4760658 | 07UWXQ2A8.0A_C | 4761043 |
| 160 | 10.94 | 1835 | 3.32 | 4993 | 11. | 4760662 | 11. | 4761047 |
| 142 | 12.29 | 2075 | 3.10 | 5001 | 12. | 4760666 | 12. | 4761051 |
| 129 | 13.52 | 2272 | 2.92 | 5035 | 14. | 4760669 | 14. | 4761055 |
| 111 | 15.80 | 2543 | 2.40 | 5031 | 16. | 4760673 | 16. | 4761059 |
| 99 | 17.66 | 2948 | 2.50 | 5031 | 18. | 4760677 | 18. | 4761063 |
| 87 | 20.07 | 3343 | 2.30 | 5031 | 20. | 4760681 | 20. | 4761067 |
| 80 | 21.89 | 3503 | 1.90 | 5035 | 22. | 4760685 | 22. | 4761071 |
| 71 | 24.59 | 3932 | 1.75 | 5029 | 25. | 4760689 | 25. | 4761075 |
| 65 | 27.03 | 4308 | 1.64 | 5029 | 28. | 4760693 | 28. | 4761079 |
| 57 | 30.81 | 5055 | 1.34 | 5013 | 32. | 4760698 | 32. | 4761085 |
| 50 | 35.31 | 5593 | 1.34 | 5025 | 36. | 4760701 | 36. | 4761088 |
| 44 | 40.15 | 6321 | 1.22 | 5025 | 40. | 4760705 | 40. | 4761092 |
| 40 | 44.13 | 7175 | 1.03 | 5006 | 45. | 4760711 | 45. | 4761098 |
| 79 | 22.03 | 3540 | 3.72 | 6474 | 08UWBQ2A22.A_C | 4760807 | 08UWXQ2A22.A_C | 4761194 |
| 72 | 24.47 | 3940 | 3.48 | 6471 | 25. | 4760811 | 25. | 4761198 |
| 64 | 27.22 | 4390 | 3.26 | 6471 | 28. | 4760815 | 28. | 4761202 |
| 55 | 31.78 | 5281 | 3.12 | 6469 | 32. | 4760819 | 32. | 4761206 |
| 50 | 35.20 | 5645 | 2.74 | 6470 | 36. | 4760823 | 36. | 4761210 |
| 44 | 39.51 | 6317 | 2.52 | 6470 | 40. | 4760827 | 40. | 4761214 |
| 40 | 43.64 | 7173 | 2.56 | 6460 | 45. | 4760833 | 45. | 4761220 |
| 36 | 49.26 | 8056 | 2.36 | 6460 | 50. | 4760839 | 50. | 4761226 |
| 32 | 54.60 | 8608 | 1.97 | 6468 | 56. | 4760843 | 56. | 4761230 |
| 28 | 63.56 | 9982 | 1.76 | 6468 | 63. | 4760847 | 63. | 4761234 |
| 25 | 69.64 | 11238 | 1.89 | 6452 | 71. | 4760853 | 71. | 4761240 |
| 23 | 76.50 | 12326 | 1.77 | 6452 | 80. | 4760859 | 80. | 4761246 |
| 20 | 87.29 | 13522 | 1.37 | 6459 | 90. | 4760865 | 90. | 4761252 |
| 18 | 98.53 | 15151 | 1.24 | 6445 | 100 | 4760871 | 100 | 4761258 |
| 17 | 102.38 | 16335 | 1.45 | 6445 | 112 | 4760877 | 112 | 4761264 |
| 15 | 117.89 | 18674 | 1.18 | 6430 | 125 | 4760883 | 125 | 4761270 |
| 25 | 69.91 | 11442 | 3.26 | 7815 | 09UWBQ2A71.A_C | 4760983 | 09UWXQ2A71.A_C | 4761370 |
| 23 | 77.18 | 12584 | 3.00 | 7815 | 80. | 4760989 | 80. | 4761376 |
| 19 | 93.18 | 14517 | 2.80 | 7812 | 90. | 4760995 | 90. | 4761382 |
| 17 | 103.53 | 15966 | 2.62 | 7812 | 100 | 4761001 | 100 | 4761388 |
| 16 | 106.17 | 17152 | 2.28 | 7816 | 112 | 4761007 | 112 | 4761394 |
| 15 | 119.38 | 19173 | 2.06 | 7810 | 125 | 4761013 | 125 | 4761400 |
| 12 | 146.23 | 22159 | 2.08 | 7804 | 140 | 4761019 | 140 | 4761406 |
| 11 | 161.44 | 24364 | 1.93 | 7804 | 160 | 4761025 | 160 | 4761412 |
| 7.9 | 222.08 | 32953 | 1.54 | 7791 | 212 | 4761031 | 212 | 4761418 |
| 7.0 | 249.73 | 36775 | 1.42 | 7783 | 250 | 4761037 | 250 | 4761424 |
| 17 | 101.47 | 16010 | 3.94 | 9098 | 10UWBQ2A100A_C | 4763509 | 10UWXQ2A100A_C | 4764069 |
| 15 | 115.82 | 18816 | 3.68 | 9096 | 125 | 4763521 | 125 | 4764081 |
| 12 | 144.71 | 22590 | 2.98 | 9094 | 140 | 4763527 | 140 | 4764087 |
| 10 | 166.73 | 25829 | 2.68 | 9093 | 160 | 4763533 | 160 | 4764093 |
| 7.8 | 225.50 | 34410 | 2.12 | 9086 | 212 | 4763539 | 212 | 4764099 |
| 7.2 | 242.27 | 36790 | 2.00 | 9085 | 250 | 4763545 | 250 | 4764105 |

[34] FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora.

## APENDICE V

## CAJA REDUCTORA PARA MOTORES ELECTRICOS DE 25HP

| Approx Output rpm | Exact Ratio | Actual Output Torque (lb-in) | Service Factor | Overhung Load (lb) | Hollow L.S. Shaft Basic Drive Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | | Hollow L.S. Shaft With Drywell Flange Mounted Gearmotor Less Motor Inch Dimensioned | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Drive Designation | Part No. | Drive Designation | Part No. |
| 220 | 7.97 | 6665 | 2.58 | 7823 | 09UWBQ2A8.0A_F | 4760912 | 09UWXQ2A8.0A_F | 4761299 |
| 159 | 10.98 | 9164 | 2.15 | 7823 | 11. | 4760916 | 11. | 4761303 |
| 142 | 12.30 | 10253 | 2.02 | 7823 | 12. | 4760920 | 12. | 4761307 |
| 127 | 13.81 | 11498 | 1.88 | 7823 | 14. | 4760924 | 14. | 4761311 |
| 105 | 16.68 | 13278 | 1.61 | 7816 | 16. | 4760928 | 16. | 4761315 |
| 98 | 17.79 | 14776 | 1.62 | 7816 | 18. | 4760932 | 18. | 4761319 |
| 88 | 19.88 | 16522 | 1.52 | 7816 | 20. | 4760936 | 20. | 4761323 |
| 76 | 22.96 | 18266 | 1.33 | 7814 | 22. | 4760940 | 22. | 4761327 |
| 68 | 25.73 | 20383 | 1.24 | 7814 | 25. | 4760944 | 25. | 4761331 |
| 61 | 28.89 | 22892 | 1.16 | 7808 | 28. | 4760948 | 28. | 4761335 |
| 56 | 31.43 | 25880 | 1.14 | 7808 | 32. | 4760952 | 32. | 4761339 |
| 158 | 11.11 | 9341 | 3.75 | 9104 | 10UWBQ2A11.A_F | 4763424 | 10UWXQ2A11.A_F | 4763984 |
| 145 | 12.08 | 10149 | 3.57 | 9104 | 12. | 4763428 | 12. | 4763988 |
| 128 | 13.72 | 11502 | 3.32 | 9104 | 14. | 4763432 | 14. | 4763992 |
| 105 | 16.63 | 13431 | 2.87 | 9104 | 16. | 4763436 | 16. | 4763996 |
| 98 | 17.87 | 14948 | 2.84 | 9104 | 18. | 4763440 | 18. | 4764000 |
| 91 | 19.29 | 16113 | 2.71 | 9104 | 20. | 4763444 | 20. | 4764004 |
| 75 | 23.23 | 18766 | 2.35 | 9104 | 22. | 4763448 | 22. | 4764008 |
| 69 | 25.27 | 20428 | 2.23 | 9104 | 25. | 4763452 | 25. | 4764012 |
| 61 | 28.70 | 23181 | 2.06 | 9098 | 28. | 4763456 | 28. | 4764016 |
| 55 | 31.85 | 26417 | 2.00 | 9098 | 32. | 4763460 | 32. | 4764020 |
| 47 | 37.38 | 29974 | 1.70 | 9098 | 36. | 4763464 | 36. | 4764024 |
| 43 | 40.36 | 32320 | 1.61 | 9091 | 40. | 4763468 | 40. | 4764028 |
| 40 | 43.65 | 35922 | 1.64 | 9073 | 45. | 4763474 | 45. | 4764034 |
| 36 | 48.51 | 39701 | 1.50 | 9073 | 50. | 4763480 | 50. | 4764040 |
| 30 | 58.85 | 46593 | 1.21 | 9077 | 56. | 4763484 | 56. | 4764044 |
| 26 | 66.63 | 52596 | 1.10 | 9074 | 63. | 4763488 | 63. | 4764048 |
| 25 | 69.18 | 56002 | 1.12 | 9068 | 71. | 4763494 | 71. | 4764054 |
| 22 | 79.71 | 64280 | 0.98 | 9049 | 80. | 4763500 | 80. | 4764060 |

[34] FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora.

# APENDICE W

## SELECCIÓN DEL DETECTOR DE METALES

| MI NUMBER | MODEL | X | Y | Z | L | H |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MI-33466A-1 | 18MDS10 | 18 | 10 | 17 | 31 | 20.5 |
| -2 | 18MDS15 | 18 | 15 | 17 | 31 | 25.5 |
| -3 | 18MDS20 | 18 | 20 | 17 | 31 | 30.5 |
| -4 | 18MDS25 | 18 | 25 | 17 | 31 | 35.5 |
| -5 | | | | | | |
| -6 | | | | | | |
| -7 | | | | | | |
| -8 | | | | | | |
| -9 | | | | | | |
| -10 | | | | | | |
| -11 | 24MDS10 | 24 | 10 | 23 | 37 | 20.5 |
| -12 | 24MDS15 | 24 | 15 | 23 | 37 | 25.5 |
| -13 | 24MDS20 | 24 | 20 | 23 | 37 | 30.5 |
| -14 | 24MDS25 | 24 | 25 | 23 | 37 | 35.5 |
| -15 | 24MDS30 | 24 | 30 | 23 | 37 | 40.5 |
| -16 | | | | | | |
| -17 | | | | | | |
| -18 | | | | | | |
| -19 | | | | | | |
| -20 | | | | | | |
| -21 | 30MDS10 | 30 | 10 | 29 | 43 | 20.5 |
| -22 | 30MDS15 | 30 | 15 | 29 | 43 | 25.5 |
| -23 | 30MDS20 | 30 | 20 | 29 | 43 | 30.5 |
| -24 | 30MDS25 | 30 | 25 | 29 | 43 | 35.5 |
| -25 | 30MDS30 | 30 | 30 | 29 | 43 | 40.5 |
| -26 | 30MDS35 | 30 | 35 | 29 | 43 | 45.5 |
| -27 | | | | | | |
| -28 | | | | | | |
| -29 | | | | | | |
| -30 | | | | | | |
| -31 | 36MDS10 | 36 | 10 | 35 | 49 | 20.5 |
| -32 | 36MDS15 | 36 | 15 | 35 | 49 | 25.5 |
| -33 | 36MDS20 | 36 | 20 | 35 | 49 | 30.5 |
| -34 | 36MDS25 | 36 | 25 | 35 | 49 | 35.5 |
| -35 | 36MDS30 | 36 | 30 | 35 | 49 | 40.5 |
| -36 | 36MDS35 | 36 | 35 | 35 | 49 | 45.5 |
| -37 | 35MDS40 | 36 | 40 | 35 | 49 | 50.5 |
| -38 | | | | | | |
| -39 | | | | | | |
| MI-33466A-40 | | | | | | |

| MI NUMBER | MODEL | X | Y | Z | L | H |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MI-33466A-41 | 42MDS10 | 42 | 10 | 41 | 55 | 20.5 |
| -42 | 42MDS15 | 42 | 15 | 41 | 55 | 25.5 |
| -43 | 42MDS20 | 42 | 20 | 41 | 55 | 30.5 |
| -44 | 42MDS25 | 42 | 25 | 41 | 55 | 35.5 |
| -45 | 42MDS30 | 42 | 30 | 41 | 55 | 40.5 |
| -46 | 42MDS35 | 42 | 35 | 41 | 55 | 45.5 |
| -47 | 42MDS40 | 42 | 40 | 41 | 55 | 50.5 |
| -48 | 42MDS42 | 42 | 42 | 41 | 55 | 52.5 |
| -49 | | | | | | |
| -50 | | | | | | |
| -51 | 48MDS10 | 48 | 10 | 47 | 61 | 20.5 |
| -52 | 48MDS15 | 48 | 15 | 47 | 61 | 25.5 |
| -53 | 48MDS20 | 48 | 20 | 47 | 61 | 30.5 |
| -54 | 48MDS25 | 48 | 25 | 47 | 61 | 35.5 |
| -55 | 48MDS30 | 48 | 30 | 47 | 61 | 40.5 |
| -56 | 48MDS35 | 48 | 35 | 47 | 61 | 45.5 |
| -57 | 48MDS40 | 48 | 40 | 47 | 61 | 50.5 |
| -58 | 48MDS45 | 48 | 45 | 47 | 61 | 55.5 |
| -59 | 48MDS48 | 48 | 48 | 47 | 61 | 58.5 |
| -60 | | | | | | |
| -61 | 54MDS10 | 54 | 10 | 53 | 67 | 20.5 |
| -62 | 54MDS15 | 54 | 15 | 53 | 67 | 25.5 |
| -63 | 54MDS20 | 54 | 20 | 53 | 67 | 30.5 |
| -64 | 54MDS25 | 54 | 25 | 53 | 67 | 35.5 |
| -65 | 54MDS30 | 54 | 30 | 53 | 67 | 40.5 |
| -66 | 54MDS35 | 54 | 35 | 53 | 67 | 45.5 |
| -67 | 54MDS40 | 54 | 40 | 53 | 67 | 50.5 |
| -68 | 54MDS45 | 54 | 45 | 53 | 67 | 55.5 |
| -69 | 54MDS50 | 54 | 50 | 53 | 67 | 60.5 |
| -70 | 54MDS54 | 54 | 54 | 53 | 67 | 64.5 |
| -71 | 60MDS10 | 60 | 10 | 59 | 73 | 20.5 |
| -72 | 60MDS15 | 60 | 15 | 59 | 73 | 25.5 |
| -73 | 60MDS20 | 60 | 20 | 59 | 73 | 30.5 |
| -74 | 60MDS25 | 60 | 25 | 59 | 73 | 35.5 |
| -75 | 60MDS30 | 60 | 30 | 59 | 73 | 40.5 |
| -76 | 60MDS35 | 60 | 35 | 59 | 73 | 45.5 |
| -77 | 60MDS40 | 60 | 40 | 59 | 73 | 50.5 |
| -78 | 60MDS45 | 60 | 45 | 59 | 73 | 55.5 |
| -79 | 60MDS50 | 60 | 50 | 59 | 73 | 60.5 |
| MI-33466A-80 | 60MDS55 | 60 | 55 | 59 | 73 | 65.5 |

| MI NUMBER | MODEL | X | Y | Z | L | H |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MI-33466A-81 | 60MDS60 | 60 | 60 | 59 | 73 | 70.5 |
| -82 | 66MDS15 | 66 | 15 | 65 | 79 | 25.5 |
| -83 | 66MDS20 | 66 | 20 | 65 | 79 | 30.5 |
| -84 | 66MDS25 | 66 | 25 | 65 | 79 | 35.5 |
| -85 | 66MDS30 | 66 | 30 | 65 | 79 | 40.5 |
| -86 | 66MDS35 | 66 | 35 | 65 | 79 | 45.5 |
| -87 | 66MDS40 | 66 | 40 | 65 | 79 | 50.5 |
| -88 | 66MDS45 | 66 | 45 | 65 | 79 | 55.5 |
| -89 | 66MDS50 | 66 | 50 | 65 | 79 | 60.5 |
| -90 | 66MDS55 | 66 | 55 | 65 | 79 | 65.5 |
| -91 | 66MDS60 | 66 | 60 | 65 | 79 | 70.5 |
| -92 | 66MDS66 | 66 | 66 | 65 | 79 | 76.5 |

| SIZE ★ | A | B | C | E | F | H | HD | J | K | L | M | P | Q | R | Hollow L.S. Shaft U +.001 −.000 | Hollow L.S. Shaft Keyway | V | X | XA | YA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 07 | 7.1 | 2.64 | 2.95 | 4.80 | 0.71 | M20 x 2.50 | 1.34 | 2.95 | 2.36 | 5.63 | 1.97 | 4.90 | 1.02 | 3.64 | 2.000 | .50 x .23 x 8.58 | 1.10 | 4.27 | 3.68 | 4.23 |
| 08 | 8.9 | 3.15 | 3.94 | 5.91 | 0.87 | M20 x 2.50 | 1.34 | 3.62 | 3.46 | 6.61 | 2.36 | 5.63 | 1.10 | 4.92 | 2.375 | .63 x .29 x 9.84 | 1.38 | 5.20 | 5.04 | 4.92 |
| 09 | 11.0 | 3.35 | 4.92 | 6.97 | 1.02 | M24 x 3.00 | 1.77 | 4.53 | 4.72 | 7.68 | 2.66 | 6.65 | 1.57 | 6.00 | 2.750 | .63 x .29 x 11.82 | 1.57 | 6.20 | 6.40 | 5.71 |
| 10 | 13.2 | 4.33 | 5.91 | 9.06 | 1.02 | M24 x 3.00 | 1.77 | 6.69 | 5.51 | 9.25 | 2.95 | 7.80 | 2.56 | 7.09 | 3.250 | .75 x .34 x 13.78 | 1.77 | 8.86 | 7.68 | 6.79 |

## Typical NEMA Motor Dimensions ★

| Frame Size | DRIVE SIZE: All Sizes AB | All Sizes BD | All Sizes FP | All Sizes KO (Max) | 07 KA (Max) | 08 KA (Max) | 09 KA (Max) | 10 KA (Max) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 56C | 5.25 | 6.50 | 7.19 | 12.00 | 27.78 | 30.78 | .... | .... |
| 143TC/145TC | 5.25 | 6.50 | 7.19 | 12.06 | 27.84 | 30.84 | .... | .... |
| 182TC/184TC | 5.88 | 9.00 | 8.50 | 15.44 | 32.02 | 34.22 | 37.45 | 41.04 |
| 213TC/215TC | 7.38 | 9.00 | 10.19 | 16.31 | 32.90 | 35.09 | 38.32 | 41.91 |
| 254TC/256TC | 8.94 | 9.13 | 12.50 | 19.63 | 39.54 | 41.73 | 46.33 | 49.73 |
| 284TC/286TC | 13.13 | 11.19 | 15.56 | 23.19 | .... | .... | 50.76 | 56.97 |
| 324TC/326TC | 14.13 | 13.38 | 16.94 | 25.25 | .... | .... | 58.32 | 61.72 |

[34] FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora.

# APENDICE Y

## PESO DE LA CAJA REDUCTORA

| DRIVE SIZE | Motor Frame Size | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 56C | | 143TC | | 145TC | | 182TC | | 184TC | | 213TC | | 215TC | | 254TC | | 256TC | | 284TC | |
| | Gearmotor With Motor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange | Base | Flange |
| 03UW2 | 52 | 54 | 57 | 59 | 67 | 69 | 84 | 87 | 106 | 109 | | | | | | | | | | |
| 03UW3 | 59 | 62 | 64 | 67 | 74 | 77 | | | | | | | | | | | | | | |
| 04UW2 | 58 | 60 | 63 | 65 | 73 | 75 | 91 | 93 | 113 | 115 | | | | | | | | | | |
| 04UW3 | 66 | 68 | 71 | 73 | 81 | 82 | | | | | | | | | | | | | | |
| 05UW2 | 63 | 64 | 68 | 69 | 78 | 79 | 96 | 97 | 118 | 119 | | | | | | | | | | |
| 05UW3 | 71 | 72 | 76 | 77 | 86 | 87 | | | | | | | | | | | | | | |
| 06UW2 | 95 | 95 | 100 | 100 | 110 | 110 | 140 | 140 | 162 | 162 | 201 | 201 | 242 | 242 | | | | | | |
| 06UW3 | 108 | 107 | 113 | 112 | 123 | 122 | 141 | 140 | 163 | 162 | | | | | | | | | | |
| 06UW4 | 130 | 130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07UW2 | 182 | 193 | 187 | 198 | 197 | 208 | 225 | 236 | 247 | 258 | 286 | 297 | 327 | 338 | 476 | 487 | 453 | 464 | | |
| 07UW3 | 203 | 214 | 208 | 219 | 218 | 229 | 248 | 259 | 270 | 281 | | | | | | | | | | |
| 07UW4 | 214 | 225 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07UW5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08UW2 | 291 | 312 | 296 | 317 | 306 | 327 | 321 | 342 | 343 | 364 | 382 | 403 | 423 | 444 | 572 | 593 | 549 | 570 | | |
| 08UW4 | 331 | 353 | 336 | 358 | 346 | 368 | 377 | 399 | | | | | | | | | | | | |
| 08UW5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09UW2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 451 | 483 | 473 | 505 | 511 | 543 | 553 | 585 | 718 | 740 | 695 | 717 | 846 | 868 |
| 09UW4 | 481 | 514 | 486 | 519 | 496 | 529 | 526 | 569 | 548 | 591 | | | | | | | | | | |
| 09UW5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10UW2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 667 | 725 | 689 | 747 | 727 | 785 | 769 | 827 | 937 | 995 | 914 | 972 | 1065 | 1123 |
| 10UW4 | 739 | 796 | 744 | 801 | 754 | 811 | 782 | 839 | 804 | 861 | | | | | | | | | | |
| 10UW5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[34] FALK CORPORATION, Catalogo de Selección de Caja Reductora.

## APENDICE Z

## DISTRIBUCION DE LOS ESFUERZOS EN LA TOLVA

| Altura ( m ) | Vertical ( Pa ) | Pared ( Pa ) | Cortante ( Pa ) |
|---|---|---|---|
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 |
| 12.5 | 3836 | 1140 | 522 |
| 12 | 7501 | 2229 | 1021 |
| 11.5 | 11004 | 3270 | 1497 |
| 11 | 14351 | 4264 | 1953 |
| 10.5 | 17550 | 5215 | 2388 |
| 10 | 20607 | 6123 | 2804 |
| 9.8 | 21792 | 6475 | 2965 |
| 9.5 | 23529 | 6991 | 3201 |
| 9 | 26321 | 7820 | 3581 |
| 8.4 | 29509 | 8768 | 4014 |
| 8.3 | 30024 | 8920 | 4084 |
| 8.2 | 30534 | 9072 | 4154 |
| **8.1** | **31039** | **9222** | **4222** |
| **7.98** | **6864** | **66007** | **8669** |
| 7.9 | 6792 | 63066 | 8578 |
| 7.8 | 6720 | 60125 | 8487 |
| 7.7 | 6648 | 57184 | 8395 |
| 7.6 | 6576 | 54243 | 8304 |
| 7 | 6143 | 36596 | 7758 |
| 6.5 | 5782 | 21891 | 7302 |
| 6 | 5422 | 14954 | 6847 |
| 5.5 | 5061 | 13959 | 6391 |
| 5 | 4700 | 12964 | 5936 |
| 4.5 | 4340 | 11969 | 5480 |
| 4 | 3979 | 10974 | 5025 |
| 3.5 | 3618 | 9979 | 4569 |
| 3 | 3257 | 8984 | 4114 |
| 2.5 | 2897 | 7989 | 3658 |
| 2 | 2536 | 6994 | 3203 |
| 1.5 | 2175 | 6000 | 2747 |
| 1 | 1815 | 5005 | 2292 |
| 0.5 | 1454 | 4010 | 1836 |
| 0 | 1093 | 3015 | 1381 |

## APENDICE AA

## MODELO Y CARACTERISTICAS DE POLEAS

| 3 Ranuras | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| F = ½ | | | | | |
| No. de Parte | DE | DP | Tipo | Buje | Peso sin Buje |
| | | Banda 3V | | | |
| 3 3V 250 JA | 2.50 | 2.45 | E-1 | JA | 1.6 |
| 3 3V 265 JA | 2.65 | 2.60 | D-1 | JA | 1.8 |
| 3 3V 280 JA | 2.80 | 2.75 | D-1 | JA | 2.0 |
| 3 3V 300 SH | 3.00 | 2.95 | E-1 | SH | 2.2 |
| 3 3V 315 SH | 3.15 | 3.10 | E-1 | SH | 2.5 |
| 3 3V 335 SH | 3.35 | 3.30 | D-1 | SH | 2.8 |
| 3 3V 365 SH | 3.65 | 3.60 | D-1 | SH | 3.0 |
| 3 3V 412 SH | 4.12 | 4.07 | A-1 | SH | 3.3 |
| 3 3V 450 SDS | 4.50 | 4.45 | A-1 | SDS | 3.5 |
| 3 3V 475 SDS | 4.75 | 4.70 | A-1 | SDS | 3.7 |
| 3 3V 500 SDS | 5.00 | 4.95 | A-1 | SDS | 4.0 |
| 3 3V 530 SDS | 5.30 | 5.25 | A-1 | SDS | 4.3 |
| 3 3V 560 SDS | 5.60 | 5.55 | A-1 | SDS | 4.9 |
| 3 3V 600 SDS | 6.00 | 5.95 | A-1 | SDS | 5.9 |
| 3 3V 650 SDS | 6.50 | 6.45 | A-3 | SDS | 6.3 |
| 3 3V 690 SDS | 6.90 | 6.85 | A-3 | SDS | 6.8 |
| 3 3V 800 SK | 8.00 | 7.95 | C-2 | SK | 10.6 |
| 3 3V 1060 SK | 10.60 | 10.55 | C-3 | SK | 12.0 |
| 3 3V 1400 SK | 14.00 | 13.95 | C-3 | SK | 20.0 |
| 3 3V 1900 SF | 19.00 | 18.95 | C-3 | SF | 33.0 |
| 3 3V 2500 SF | 25.00 | 24.95 | C-3 | SF | 45.0 |
| 3 3V 3350 SF | 33.50 | 33.45 | C-3 | SF | 75.0 |

[28] MARTIN, SPROCKET & GEAR, INC, Catalogo 1090, edición 1995