

T 621.815  
COE



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de La  
Producción**

**"Diseño y Selección de Equipos de un Sistema de Pre-  
Molienda de Clíinker y Aditivos para la Industria Cementera"**

**TESIS DE GRADO:**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Presentada por:**

**Juan Andrés Coello Cassinelli**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**Año: 2013**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía.

A mis padres por su amor, consejos,  
y enseñanzas.

Al Ing. Federico Camacho por su  
constante ayuda en el desarrollo de  
esta tesis.

## DEDICATORIA

A MI MADRE

A MI PADRE

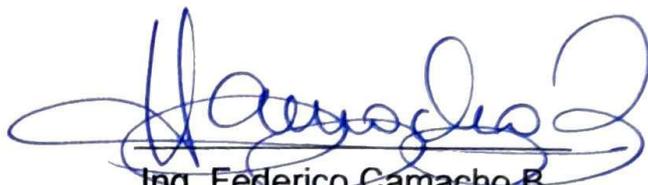
A MI HERMANO

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Federico Camacho B.  
DIRECTOR DE TESIS



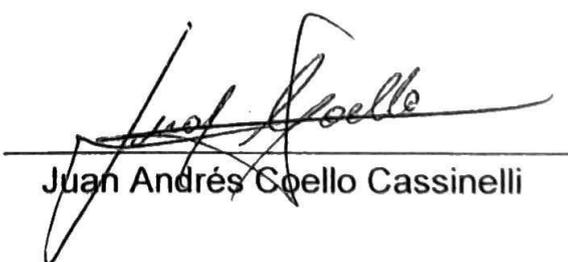
---

Ing. Omar Serrano V.  
VOCAL PRINCIPAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Juan Andrés Coello Cassinelli

## RESUMEN

La industria cementera del Ecuador ha presentado un incremento de la demanda del producto de alrededor de 6'200.000 de toneladas métricas en el 2012, debido al desarrollo de obras públicas y del sector inmobiliario.

Por lo que se ha implementado un sistema de Pre-molienda de clinker y aditivos, aumentando así la eficiencia de cualquier planta cementera. Con este sistema de Pre-molienda se mejoró los indicadores de producción de la molienda de cemento. El sistema de Pre-molienda está comprendido desde la sala de almacenamiento hacia la molienda final de los componentes del cemento con una capacidad de 150 toneladas por hora. Todo este proceso se lo realizó cumpliendo las normas técnicas como: ASTM, INEN, AISC, AWS, DIN, EPA, CEMA, ISO, OSHA, entre otras.

En el primer capítulo se analizaron los aspectos físicos y químicos de las materias primas que comprenden el cemento, se describió el proceso de producción, normas y estándares técnicos, seguridad y medio ambiente.

En el capítulo dos y tres se trataron: sistemas de transportación, almacenamiento, trituración, clasificación, sistemas de transportación, detección de metales, recolección de materiales de rechazo y controladores de polvo; en cada sistema se procedió al diseño de algunos equipos, mientras que otros fueron seleccionados. Con el software Autodesk Inventor 2011 Pro se realizó el diseño de las tolvas de almacenamiento, con los catálogos electrónicos dados por los fabricantes se procedió a la selección de algunos equipos como los ventiladores, mientras que los otros equipos fueron diseñados respetando las normas técnicas cumpliendo los requerimientos técnicos de los fabricantes.

En el capítulo cuatro se realizó una breve descripción de los requerimientos del sistema para automatizar la Pre-molienda de clinker y aditivos.

Finalmente en el capítulo cinco se presentó el análisis de costos donde se detalló los costos de importación, fabricación y montaje de equipos; puesta en marcha y costos de operación, donde se obtuvo un retorno de la inversión a 2 años con una TIR del 51%, considerándose rentable.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXIX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XXXVI
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1. PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO.....	2
1.1. Definición y clasificación.....	2
1.2. Materias primas para la producción de cemento.....	7
1.3. Descripción de la producción de cemento.....	26
1.4. Normas y estándares técnicos.....	46
1.5. Seguridad y medio ambiente.....	48
 CAPÍTULO 2	
2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PRIMARIOS DEL SISTEMA DE PRE-MOLIENDA DE CLINKER Y ADITIVOS.....	53
2.1. Descripción del sistema de pre-molienda.....	53
2.2. Sistemas de Transporte.....	56
2.3. Diseño y selección de bandas transportadoras.....	60
2.4. Diseño y selección del elevador de cangilones.....	122

2.5. Selección de bandas dosificadoras.....	160
2.6. Selección de criba.....	180
2.7. Selección de alimentador vibratorio para criba.....	195
2.8. Selección del triturador.....	197
2.9. Diseño de silos de almacenamiento.....	214
2.10. Selección del Alimentador vibratorio para el triturador.....	267

### CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN DE EQUIPOS SECUNDARIOS.....	269
3.1. Sistema de desempolvado.....	269
3.2. Selección de desempolvado tipo cartucho.....	294
3.3. Selección del extractor magnético.....	299
3.4. Sistema de detección de metales.....	301
3.5. Sistema de recolección del material de rechazo.....	304

### CAPÍTULO 4

4. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	309
4.1. Descripción.....	309
4.2. Selección de dispositivos.....	310

### CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	318
5.1. Costos de fabricación e importación de equipos.....	318
5.2. Costos de montaje y puesta en marcha.....	321
5.3. Costos de operación.....	325

### Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	332
--	-----

### APÉNDICES

### BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados.
%	Porcentaje.
Mm	milímetros.
µm	Micrómetros.
J/g	Joule sobre gramo
S	Escoria granulada de horno alto
P	Puzolanas naturales
Q	Puzolanas naturales calcinadas
V	Cenizas volantes sílicea
W	Cenizas volantes calcárea
T	Esquisto calcinado
L, LL	Caliza
D	Humo de sílice.
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Sulfato de calcio dihidratado
CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O	Sulfato de calcio hemihidrato
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de calcio anhídrida
INEN	INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN
ASTM	AMERICAN SOCIETY STANDARD OF TESTING AND MATERIALS
SiO <sub>2</sub>	Silicato

$\text{Al}_2\text{O}_3$	Aluminato de calcico
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Ferrito Calcico
$\text{CaO}$	Óxido de Calcio
$\text{MgO}$	Óxido de Magnesio
$\text{Na}_2\text{O}$	Óxido de Sodio
$\text{K}_2\text{O}$	Óxido de Potasio
SC	Factor de Saturación de Cal
MH	Módulo Hidráulico
MS	Módulo de Silicato
MF	Módulo de Fundente
$\text{C}_3\text{S}$	Silicato Tricálcico
$\text{C}_2\text{S}$	Silicato Bicálcico
$\text{C}_3\text{A}$	Aluminato Tricálcico
$\text{C}_4\text{AF}$	Ferro-aluminato Tetracálcico
$\text{cm}^2/\text{g}$	Centímetro cuadrado por gramo.
g	Gramos.
$\text{mm}^2$	Milímetro cuadrado.
$\text{CO}_2$	Dióxido de Carbono
$\text{MgCO}_3$	Carbonato de Magnesio
$\text{kg}/\text{cm}^2$	Kilogramo sobre centímetro cuadrado.
p.p.m.	Partes por millón.
GGBF	Ground granulated blast furnace slag

ACI	AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
N/A	No Aplica.
N/D	No Definido
L/D	Longitud sobre diámetro.
M <sup>3</sup> /kg	metros cúbicos por kilogramo
Mbar	mili bar.
kWh/t	kilovatio-hora por tonelada.
ISO	International Standard for Standardization
OHSAS	Occupational Health and Safety Advisory Services
TPH	toneladas por hora
m/s	metros por segundo
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
Lbs	Libras
Kg	Kilogramos
In	Pulgadas
kN	Kilonewtons
Lb/ft	Libras sobre pies
A	Amperios
V	Voltaje
Nm	Newtons metro
Kgm <sup>2</sup>	Kilogramos metro cuadrado
dBA	Decibeles

IEC	International Electrotechnical Commission
ABB	ASEA BROWN BOVERI
N/mm	Newton sobre milímetros
Kg/m <sup>2</sup>	Kilogramo sobre metros cuadrado
Lb-pulg	Libras pulgadas
DIN	DEUTSCHE INDUSTRIE NORMEN
Q	Toneladas cortas por horas transportadas
v	Velocidad de la banda
AISI	AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE
ANSI	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
MPa	Mega Pascal
PSI	Pounds per square inch
G	Gravedad
RPM	Revoluciones por minuto
BHN	Dureza Brinell
t	Tiempo
T	Momento Torsor
ft/min	Pies por minuto
M	Momento flector
kW	Kilovatios

**SIMBOLOGÍA**

TLE1	Tolva de clinker
TLE 2	Tolva de yeso
TLE 3	Tolva de Caliza
BT 1	Banda Transportadora 1
BT 2	Banda Transportadora 2
BT 3	Banda Transportadora 3
BT 4	Banda Transportadora 4
BT 5	Banda Transportadora 5
BD 1	Banda Dosificadora 1
BD 2	Banda Dosificadora 2
BD 3	Banda Dosificadora 3
CV 1	Criba Vibratoria 1
AV	Alimentador Vibratorio
RV	Repartidor Vibratorio
TLR	Tolva de Recolección
TR	Trituradora
EC 1	Elevador de cadena 1
FM 1	Filtro de Mangas 1
SL 1	Silo de Puzolana Seca al 4%
SL 2	Silo de Almacenamiento

VE 1	Ventilador 1
CP-1	Colector de polvo
EM	Extractor de metales
DM	Detector de metales
VE2	Ventilador 2
$T_e$	Tensión Efectiva
L	Longitud del transportador
$k_t$	Factor de temperatura ambiental
$k_x$	Factor de fricción de rodillos y deslizamiento entre la faja y rodillo.
$k_y$	Factor de transporte
$w_b$	Peso de la faja
$w_m$	Peso del material
H	Distancia vertical que el material es elevado o bajado
$T_p$	Tensión de faja a la flexión alrededor de las poleas y resistencia a la rotación.
$T_{am}$	Tensión al acelerar el material continuamente mientras es alimentada la faja.
$T_{ac}$	Total de las tensiones de los accesorios del transportador.
$A_i$	Fuerza para superar la fuerza de fricción
$S_i$	Espaciamiento entre rodillos
$T_{yc}$	Resistencia de la faja a la flexión
$T_{y r}$	Fricción producida por los rodillos de retorno

$T_{yb}$	Resistencia de la faja a la flexión cuando se mueve sobre los rodillos
$T_{ym}$	Resistencia del material a la flexión cuando la faja corre sobre los rodillos
$T_m$	Fuerza necesaria para elevar la carga
$T_p$	Resistencia de la faja a la flexión alrededor de las poleas
$T_{tr}$	Fuerza de tracción adicional producida por los volteadores y apiladores
$T_{pl}$	Fuerza de fricción de los desviadores
$T_{bc}$	Fuerza de tracción producida por los dispositivos de limpieza
$T_{sb}$	Fuerza producida por los faldones
$L_b$	Distancia de los faldones
$C_s$	Factor de fricción con el faldón
$H_s$	Profundidad del material en contacto
$T_o$	Tensión mínima
$T_2$	Tensión del lado flojo
$C_w$	Factor de arrollamiento
$T_1$	Tensión máxima
$T_c$	Tensión mínima unitaria
$Pot_c$	Potencia de la cinta
$Pot_p$	Potencia de la polea motriz
$Pot_r$	Potencia perdida por el reductor

$Pot_m$	Potencia en el eje del motor
$P_f$	Ancho de cara de las poleas
$r$	Radio de Curvatura
$F_c$	Fuerza centrífuga
$T_o$	Tensión en la parte curva
$W_t$	Rotación del tambor motriz
$i_n$	Radio de Transmisión
$n_1$	RPM de entrada del motor
$n_2$	RPM de salida del motor
$f_1$	Factor de servicio
$f_2$	Factor de tipo de motor
$r_v$	Relación de velocidad
$D_m$	Diámetro del eje motriz
$R_m$	Resultante del tambor motriz
$R_c$	Resultante del tambor de cola
$R_{co}$	Resultante del tambor de contacto
$R_p$	Resultante del tambor de contrapeso
$R_{d1}$	Resultante del tambor del desviador 1
$R_{d2}$	Resultante del tambor del desviador 2
$D$	Diámetro del Eje de los tambores
$FS$	Factor de seguridad
$S_f$	Factor corregido de fatiga

A	Brazo flector en la polea
R	Resultante
$k_a$	Factor superficial
$k_b$	Factor de tamaño
$k_c$	Factor de confiabilidad
$k_d$	Factor de temperatura
$k_e$	Factor de ciclo de servicio
$k_f$	Factor de concentración de esfuerzo de fatiga
$k_g$	Factor mixto
$S_f^*$	Esfuerzo último de tensión
$L_{10h}$	Vida Nominal en horas de servicio
$C_d$	Carga Dinámica
$P_d$	Fuerza resultante para rodamientos
$C_w$	Factor de arrollamiento
$T_m$	Tensión Efectiva
$T_1$	Tensión del lado apretado
$T_2$	Tensión del lado flojo
$T_3$	Tensión en el retorno
$T_{cp}$	Tensión en el contrapeso
$T_o$	Tensión mínima para evitar el pandeo
$T_x$	Tensión en la parte curv
$T_u$	Tensión unitaria

$F_1$	Fuerza para mover la banda en vacío y sus componentes móviles
$F_2$	Fuerza para desplazar el material horizontalmente
$F_3$	Fuerza para elevar el material
$P_m$	Potencia de la polea motriz
$P_{ot_r}$	Pérdida por el reductor
$P_f$	Ancho de Tambor
$B$	Ancho de banda
$K_A$	Carga nominal en la banda
$R_p$	Radio de curvatura del tambor motriz
$M_{PM}$	Carga de del material por metro de banda
$F_c$	Fuerza centrífuga
$G_b$	Peso de la banda
$T_s$	Torque del backstop
$Z$	El número de ranuras de la polea
$P_N$	Potencia nominal para longitud desarrollada
$C_2$	Factor para máquinas de servicio continuo
$C_1$	Factor para ángulo de contacto
$C_3$	Factor de desarrollo.
$m_{sb}$	Peso del skirt board
$m_t$	Peso de los chutes
$W_c$	Peso de la cubierta

$m_{BT-1}$	Peso de la cercha BT-1
$m_{BT-2}$	Peso de la cercha BT-2
$m_{BT-3}$	Peso de la cercha BT-3
$m_{BT-3}$	Peso de la cercha BT-3
$F_{sh}$	Fuerza en los soportes
$Q_v$	Capacidad calculada para EC-1
$Q_m$	Capacidad del elevador
$\varphi$	Grado de llenado
$V_B$	capacidad de cada cangilón
$a$	Espaciamiento entre cada cangilón
$M$	Peso de material por cangilón
$f$	Capacidad del cangilón
$P_L$	Fuerza para desplazar el material en EC-1
$W_{EC-1}$	Sumatoria del peso del cangilón y cadena.
$M_{EC-1}$	Peso del material elevado.
$K$	Factor de arrastre
$P_m$	Tensión total de la cadena
$P_t$	Tensión de contrapeso
$P_B$	Fuerza al dragado del material
$DWL$	Carga de diseño
$W_c$	Peso de la cadena para EC-1
$W_s$	Peso de los sujetadores de cangilón

$S_{EC-1}$	Velocidad del del elevador
CFH	Pies cúbicos por hora
PD	Diámetro primitivo
PW	Espesor de la rueda
$P_{Mbd}$	Tensión máxima de la cadena para transportadores de placas
$f_1$	Coefficiente de fricción de los rodillos de cadena sobre rieles
$f_2$	Factor de fricción entre el material y el acero
$M_{BD}$	Peso del material transportado por metro de banda de placas
$W_{BD}$	Peso de las partes móviles de las bandas de placas
$d_a$	Diámetro exterior del buje
$d_r$	Diámetro exterior de rodillos
$P_{BD}$	Potencia en los motores para bandas de placas
$A_{CV}$	Área de cribado
$Q_u$	Cantidad de partículas subdimensionadas.
$D_1$	Espesor de capa primer piso
$D_2$	Espesor de capa segundo piso
$T_a$	Tamaño de partícula de alimentación
$T_p$	Tamaño de partícula del producto
$R_{TR}$	Tasa de reducción
VSI	Triturador de impacto vertical

HSI	Triturador de impacto horizontal
$W_{TR}$	Trabajo de trituración
$W_i$	Índice de Bond
$C_a$	Capacidad de alimentación
$h_{cil}$	Altura del cilindro
$r_{cil}$	Radio del cilindro
$\delta$	Ángulo de rozamiento interno
$\phi_w$	Ángulo de fricción de pared
$ff$	Factor de flujo
$\theta$	Semi-ángulo del cono
$f_c$	Esfuerzo de fluencia del material
$\sigma_1$	Esfuerzo de compactación
$q$	Factor de flujo del material
$H(\theta)$	Ángulo mínimo de inclinación de la tolva
$D_h$	Diámetro hidráulico
$P_v$	Presión vertical
$\gamma_F$	Constante de Janssen
$P_h$	Presión horizontal
$\tau_w$	Esfuerzo cortante
$\sigma_{yc}$	Presión vertical en la parte inclinada de la tolva
$\sigma_{ymax}$	Presión vertical ejercida por el material sobre la tolva
$C_b$	Coeficiente de mayoración

$P_n$	Esfuerzo normal a la tolva
$P_{no}$	Esfuerzo en la parte superior del cono
$P_{nu}$	Esfuerzo en la parte inferior del cono
$P_{tno}$	Esfuerzo cortante en la parte superior del cono
$P_{tnu}$	Esfuerzo cortante que actúa en la parte inferior de la tolva
$W_{pingate}$	Carga distribuida por Pin
$L_{pingate}$	Longitud del Pin gate
$D_{pingate}$	Diámetro del pin gate
$W_{tapa}$	Carga distribuida en la tapa
$W_{persona}$	Carga distribuida por persona
$w_u$	Carga de diseño
$\phi_b$	Factor de resistencia a la fluencia
$F_y$	Resistencia última a la fluencia
$Z_x$	Módulo plástico
$V_{tolva}$	Volumen de la tolva
$P_s$	Esfuerzo de cambio de sección
$b_s$	Tramo de cambio de sección
$Q_{BT}$	Caudal de desempolvado en bandas transportadoras
$Q_{EC-1}$	Caudal de desempolvado en el elevador EC-1
$Q_{CV-1}$	Caudal de desempolvado en la criba CV-1
$Q_{TR}$	Caudal de desempolvado en el triturador TR

$Q_{TLR}$	Caudal de desempolvado en la tolva TLR
$Q_{RV}$	Caudal en el repartidor vibrante
$Q_{AV}$	Caudal en el alimentador vibrante
$VP$	Cabezal dinámico
$V_{ducto}$	Velocidad den el ducto
$R_{BT1}$	Ramal en BT-1
$H_{C90}$	Caída de presión en codos de 90°
$H_{C110}$	Caída de presión en codos de 110°
$H_{B60}$	Bifurcación de 60°
$H_{B30}$	Bifurcación de 30°
$H_{B10}$	Bifurcación de 10°
$H_{campana}$	Pérdida de presión en las campanas de succión
$H_{accesorios}$	Caída de presión en accesorios
$A_{manga}$	Área de la manga
$N_{mangas}$	Número de mangas
$k_v$	Factor de flujo
$Q_n$	Caudal de aire limpio
$\delta_n$	Gravedad específica del aire
$m_{ducto}$	Peso del ducto
$m_{accesorios}$	Peso del accesorios
$\dot{m}$	Flujo másico
$Q_{valvula}$	Caudal de válvula rotatoria

$A_{\text{filtro}}$	Área filtrante
$C_{\text{filtro}}$	Radio de filtración
$P_{\text{guillotina}}$	Presión en la válvula guillotina
H-H	Horas hombre

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Cemento Hidráulico.....	2
<b>Figura 1.2</b>	Formación de Puzolana Natural.....	4
<b>Figura 1.3</b>	Materias Primas para el procesamiento de Cemento.....	8
<b>Figura 1.4</b>	Micrografía de sección pulida de clinker de cemento Pórtland, clinker con alto contenido de Alcalis y se puede apreciar la presencia de M.....	10
<b>Figura 1.5</b>	Mercado de Cemento y consumo per cápita a partir del año 2000 en el Ecuador.....	28
<b>Figura 1.6</b>	Producción de cemento de la empresa a partir del año 2000.....	29
<b>Figura 1.7</b>	Proceso de Fabricación de Cemento Vía Húmeda.....	31
<b>Figura 1.8</b>	Proceso de Fabricación de Cemento Vía Seca.....	32
<b>Figura 1.9</b>	Proceso de Fabricación de Cemento Vía Semi-Seca.....	34
<b>Figura 1.10</b>	Proceso de Fabricación de Cemento Vía Semi-Húmeda.....	35
<b>Figura 1.11</b>	Flujo del Proceso de Fabricación de Cemento.....	36
<b>Figura 1.12</b>	Instalación Estacionaria de Trituración Primaria.....	38
<b>Figura 1.13</b>	Pre-homogeneización a) Lecho Circular b) Lecho Longitudinal.....	39
<b>Figura 1.14</b>	Molienda de crudo mediante el Molino Vertical.....	41
<b>Figura 1.15</b>	Secador de Tambor.....	43
<b>Figura 1.16</b>	Enfriador de Parrilla.....	43
<b>Figura 1.17</b>	Molino de Bolas.....	44

<b>Figura 1.18</b>	Silo Multicelular.....	45
<b>Figura 2.1</b>	Diagrama de Flujo del Sistema de Pre-molienda.....	55
<b>Figura 2.2</b>	Banda Transportadora.....	61
<b>Figura 2.3</b>	Componentes principales de una Banda Transportadora.....	62
<b>Figura 2.4</b>	Rodillo de transporte superior tipo Terna de 35° de inclinación...67	
<b>Figura 2.5</b>	Rodillo de transporte inferior con inclinación 0°.....	69
<b>Figura 2.6</b>	Esquema de Banda BT-1.....	72
<b>Figura 2.7</b>	Arco de Contacto.....	73
<b>Figura 2.8</b>	Disposición de Tambores para la banda BT-1.....	78
<b>Figura 2.9</b>	Dimensiones del tambor motriz para la banda BT-1.....	81
<b>Figura 2.10</b>	Trayectoria del material en la descarga para BT-1.....	84
<b>Figura 2.11</b>	Radio de Transición de la parte curva para la banda BT-1.....	85
<b>Figura 2.12</b>	Acople Hidrodinámico para BT-1.....	87
<b>Figura 2.13</b>	Esquema del Reductor para BT-1.....	89
<b>Figura 2.14</b>	Dispositivo Backstop para BT-1.....	90
<b>Figura 2.15</b>	Limpiador de Bandas Transportadoras.....	93
<b>Figura 2.16</b>	Limpiador PV1S30XX2811GRPC.....	94
<b>Figura 2.17</b>	Limpiador de Cola BT-1.....	95
<b>Figura 2.18</b>	Limpiador STANDARD V-PLOW.....	97
<b>Figura 2.19</b>	Cubierta Galvanizada de 0.75 mm de espesor.....	98
<b>Figura 2.20</b>	Revestimiento antideslizante y ranurado Chevrón.....	99

<b>Figura 2.21</b>	Esquema del Accionamiento del sistema de protección personal.....	100
<b>Figura 2.22</b>	Esquema del Tensor tipo Tornillo para BT-1.....	102
<b>Figura 2.23</b>	Esquema de Banda BT-2, BT-3, BT-4.....	103
<b>Figura 2.24</b>	Dimensiones del tambor motriz para la banda BT-2.....	114
<b>Figura 2.25</b>	Trayectoria de BT-2.....	116
<b>Figura 2.26</b>	Trayectoria del material en la descarga para BT-3 y BT-4.....	117
<b>Figura 2.27</b>	Acople Voith TVV.....	120
<b>Figura 2.28</b>	Elevador de Cangilones.....	123
<b>Figura 2.29</b>	Componentes principales de un elevador de Cangilones.....	124
<b>Figura 2.30</b>	Tipos de carga de los elevadores de cangilones.....	127
<b>Figura 2.31</b>	Tipos de Descarga para elevadores de cangilones.....	128
<b>Figura 2.32</b>	Esquema del Cangilón.....	132
<b>Figura 2.33</b>	Esquemas de Fuerzas en el Elevador EC-1.....	142
<b>Figura 2.34</b>	Cadena tipo ER984 para EC-1.....	143
<b>Figura 2.35</b>	Esquema de sujetadores K443 para EC-1.....	144
<b>Figura 2.36</b>	Rueda de Tracción.....	147
<b>Figura 2.37</b>	Rueda de Tracción Motriz.....	149
<b>Figura 2.38</b>	Esquema de la caja reductora B3SH para EC-1.....	156
<b>Figura 2.39</b>	Trayectoria del material en EC-1.....	158
<b>Figura 2.40</b>	Esquema de plataforma de mantenimiento.....	159
<b>Figura 2.41</b>	Alimentador de Placas metálicas.....	160

<b>Figura 2.42</b>	Bandejas Estilo A.....	161
<b>Figura 2.43</b>	Tipos de Rodillos de transportadores metálicos.....	163
<b>Figura 2.44</b>	Selección del Ancho de Bandas Transportadoras metálicas.....	164
<b>Figura 2.45</b>	Sección transversal de los Transportadores de placas Metálicas.....	166
<b>Figura 2.46</b>	Esquema de bandas Transportadoras metálicas.....	170
<b>Figura 2.47</b>	Esquema de cadena tipo K para las bandas de placas metálicas..1.....	174
<b>Figura 2.48</b>	Sistema de Sujeción M14 para bandas de placas metálicas.....	175
<b>Figura 2.49</b>	Esquema del ensamble del transportador de placas metálicas.....	175
<b>Figura 2.50</b>	Criba Vibratoria.....	181
<b>Figura 2.51</b>	Curva Granulométrica de Materiales.....	183
<b>Figura 2.52</b>	Capacidad básica para la separación de materiales.....	186
<b>Figura 2.53</b>	Factor del porcentaje de material retenido.....	187
<b>Figura 2.54</b>	Factor C relacionado con el porcentaje en la alimentación.....	188
<b>Figura 2.55</b>	Esquema de la criba CV-1.....	195
<b>Figura 2.56</b>	Esquema del Alimentador Vibratorio.....	196
<b>Figura 2.57</b>	a) Trituración entre dos superficies b) Cizallamiento c) Compresión entre dos superficies d) Impacto entre material y superficie e) Impacto entre sólidos f) Acción de Corte entre el medio circundante.....	198
<b>Figura 2.58</b>	Trituradora Giratoria.....	200
<b>Figura 2.59</b>	Trituradora de Cono.....	201

<b>Figura 2.60</b>	Trituradora de impacto de eje horizontal.....	201
<b>Figura 2.61</b>	Trituradora de Impacto de eje vertical.....	202
<b>Figura 2.62</b>	Trituradora de rodillo.....	203
<b>Figura 2.63</b>	Granulometría de la Alimentación y el producto.....	211
<b>Figura 2.64</b>	Dimensiones del Triturador APSM-1015.....	213
<b>Figura 2.65</b>	Silo de Puzolana.....	216
<b>Figura 2.66</b>	a) Flujo másico, b) Flujo de Embudo c) Flujo Expandido.....	216
<b>Figura 2.67</b>	Forma de la Tolva de Puzolana.....	219
<b>Figura 2.68</b>	Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida cónica.....	222
<b>Figura 2.69</b>	Tipo de Flujo en la parte cónica.....	223
<b>Figura 2.70</b>	Geometría de Salida.....	227
<b>Figura 2.71</b>	a) y c) Estado Activo b) y d) Estado Pasivo.....	229
<b>Figura 2.72</b>	Esfuerzos en la parte Cónica.....	232
<b>Figura 2.73</b>	Distribución de esfuerzos en la tolva de Puzolana.....	237
<b>Figura 2.74</b>	Espesores en la tolva de Puzolana.....	238
<b>Figura 2.75</b>	Rigidizadores de columnas.....	239
<b>Figura 2.76</b>	Espesores de anillos y platinas del Cilindro.....	240
<b>Figura 2.77</b>	Anillo rigidizador del cono.....	241
<b>Figura 2.78</b>	Tolva de Clínker.....	246
<b>Figura 2.79</b>	Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida de ranura.....	248
<b>Figura 2.80</b>	Tipo de Flujo en la parte de Cuña.....	249

<b>Figura 2.81</b>	Distribución de esfuerzos en la tolva de Clínker.....	257
<b>Figura 2.82</b>	Espesores en la tolva de Clínker.....	258
<b>Figura 2.83</b>	Espesores de las tolvas de caliza, yeso, pulmón, TLR.....	264
<b>Figura 2.84</b>	Válvula de descarga BinEx.....	266
<b>Figura 2.85</b>	Dimensiones de la válvula BinEx.....	267
<b>Figura 2.86</b>	Dimensiones del Alimentador Vibratorio del Triturador.....	268
<b>Figura 3.1</b>	Filtro de Mangas Pulse-Jet.....	271
<b>Figura 3.2</b>	Codos.....	277
<b>Figura 3.3</b>	Selección del Ventilador VE1.....	281
<b>Figura 3.4</b>	Dimensiones del Ventilador .....	281
<b>Figura 3.5</b>	Diseño de Accesorios.....	283
<b>Figura 3.6</b>	Válvula RCA25DD3.....	289
<b>Figura 3.7</b>	Tanque Cabezal.....	290
<b>Figura 3.8</b>	Válvula Rotatoria VR-1.....	293
<b>Figura 3.9</b>	Colector de Polvo.....	295
<b>Figura 3.10</b>	Dimensiones del colector 3DCP-18.....	297
<b>Figura 3.11</b>	Selección del Ventilador VE-2.....	298
<b>Figura 3.12</b>	Separador Magnético.....	299
<b>Figura 3.13</b>	Dimensiones del Separador Magnético RCYD( C ) -6.5.....	300
<b>Figura 3.14</b>	Detector de Metales.....	302
<b>Figura 3.15</b>	Dimensiones del Detector de Metales.....	303
<b>Figura 3.16</b>	Sistema de Descarga.....	305

<b>Figura 3.17</b>	Válvula guillotina de cilindro neumático.....	306
<b>Figura 3.18</b>	Dimensiones de la Válvula guillotina DN400.....	308
<b>Figura 4.1</b>	Balanza para Bandas.....	311
<b>Figura 4.2</b>	Caudalímetro G-400.....	313
<b>Figura 4.3</b>	Celda de Pesaje de 33 Ton.....	315
<b>Figura 4.4</b>	Ubicación de los detectores de Altura.....	315

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Tipos de Cementos según ASTM C 150.....	5
<b>Tabla 1.2</b>	Clasificación de Cementos por sus propiedades específicas....	6
<b>Tabla 1.3</b>	Resistencias mínimas que deben cumplir los cementos.....	7
<b>Tabla1.4</b>	Significado de nomenclatura para la simplificación de fórmulas.....	8
<b>Tabla 1.5</b>	Componentes principales del cemento.....	12
<b>Tabla 1.6</b>	Características Físicas y Mecánicas de los Cementos.....	22
<b>Tabla 1.7</b>	Densidad de las materias Primas.....	24
<b>Tabla 1.8</b>	Requisitos Químicos del cemento Portland Puzolánico Tipo IP.....	25
<b>Tabla 1.9</b>	Producción Mundial de Cemento.....	26
<b>Tabla 1.10</b>	Factores de emisión de material Particulado.....	46
<b>Tabla 1.11</b>	Partículas atrapadas por dispositivos de control.....	47
<b>Tabla 1.12</b>	Concentración de contaminantes en los gases.....	50
<b>Tabla 1.13</b>	Límites máximos Permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión.....	52
<b>Tabla 2.1</b>	Características de la Zona.....	54
<b>Tabla 2.2</b>	Especificaciones de las Bandas Transportas.....	56
<b>Tabla 2.3</b>	Especificaciones Técnicas elevador de cangilones EC-1.....	58

<b>Tabla 2.4</b>	Bandas Dosificadoras BD-1; BD-2; BD-3; BD-4.....	60
<b>Tabla 2.5</b>	Descripción de la clasificación de los materiales.....	64
<b>Tabla 2.6</b>	Características del material para la banda BT-1.....	65
<b>Tabla 2.7</b>	Características de los rodillos superiores e inferiores banda BT-1.....	70
<b>Tabla 2.8</b>	Fuerzas que actúan en BT-1.....	72
<b>Tabla 2.9</b>	Tensiones de la banda BT-1.....	74
<b>Tabla 2.10</b>	Características del motor ABB IEC 160L para BT-1.....	76
<b>Tabla 2.11</b>	Características técnicas de la faja para BT-1.....	77
<b>Tabla 2.12</b>	Descripción de las Características Técnicas de los Tambores para la banda BT-1.....	81
<b>Tabla 2.13</b>	Dimensiones del acople Hidrodinámico para BT-1.....	87
<b>Tabla 2.14</b>	Dimensiones del Reductor para BT-1.....	89
<b>Tabla 2.15</b>	Limpiadores PIT VIPER MARTIN.....	94
<b>Tabla 2.16</b>	Limpiadores de cola DURT DOZER.....	96
<b>Tabla 2.17</b>	Limpiadores STANDARD V-PLOW.....	97
<b>Tabla 2.18</b>	Selección de Interruptor de Jalón de Cable.....	101
<b>Tabla 2.19</b>	Peso de Accesorios de BT-1.....	103
<b>Tabla 2.20</b>	Fuerzas en los soportes por BT-1.....	106
<b>Tabla 2.21</b>	Características Técnicas de la banda BT-2, BT-3, BT4.....	107

<b>Tabla 2.22</b>	Características de los rodillos superiores e inferiores de las bandas BT-2, BT-3, BT-4.....	108
<b>Tabla 2.23</b>	Fuerzas que actúan en las bandas BT-2, BT-3, BT-4.....	110
<b>Tabla 2.24</b>	Tensiones de la Banda BT-2, BT-3, BT-4.....	110
<b>Tabla 2.25</b>	Potencia en las Bandas BT-2, BT-3, BT-4.....	111
<b>Tabla 2.26</b>	Características de Motores para BT-2, BT-3, BT-4.....	112
<b>Tabla 2.27</b>	Características técnicas de la faja para BT-2, BT-3, BT-4.....	113
<b>Tabla 2.28</b>	Descripción de las Características Técnicas de los Tambores para las bandas BT-2, BT-3, BT-4.....	115
<b>Tabla 2.29</b>	Parámetros de la Trayectoria del material en BT-2, BT-3, BT-4.....	114
<b>Tabla 2.30</b>	Trayectoria del Material en BT-2, BT-3, BT-4.....	116
<b>Tabla 2.31</b>	Cajas reductoras y poleas de transmisión para BT-2, BT-3, BT-4.....	118
<b>Tabla 2.32</b>	Dimensiones del Reductor para BT-2, BT-3, BT-4.....	118
<b>Tabla 2.33</b>	Acople TVV.....	120
<b>Tabla 2.34</b>	Accesorios y Complementos de BT-2, BT-3, BT-4.....	121
<b>Tabla 2.35</b>	Pesos de las bandas BT-2, BT-3, BT-4.....	122
<b>Tabla 2.36</b>	Características del material para el diseño del Elevador de cangilones EC-1.....	125
<b>Tabla 2.37</b>	Cangilones de acero Tipo AC soldados.....	131
<b>Tabla 2.38</b>	Factor de Servicio para EC-1.....	134
<b>Tabla 2.39</b>	Fuerzas en el elevador de cadena EC-1.....	141

<b>Tabla 2.40</b>	Característica de la cadena ER984 REXNORD.....	143
<b>Tabla 2.41</b>	Distancia entre apoyos para EC-1.....	146
<b>Tabla 2.42</b>	Características de las ruedas de tracción de EC-1.....	150
<b>Tabla 2.43</b>	Características del motor ABB IEC 255M para EC-1.....	152
<b>Tabla 2.44</b>	Factores de operación para selección de reductor de EC-1.....	153
<b>Tabla 2.45</b>	Factor según del tipo de motor para EC-1.....	154
<b>Tabla 2.46</b>	Caja reductora modelo B3SH tipo 508 para EC-1.....	155
<b>Tabla 2.47</b>	Peso Estructural del Elevador de Cangilones EC-1.....	159
<b>Tabla 2.48</b>	Tipos de rodillos para Transportadores de placas metálicas.....	162
<b>Tabla 2.49</b>	Velocidad máxima de rodillos.....	163
<b>Tabla 2.50</b>	Velocidades y Capacidades para las bandas de placas metálicas.....	164
<b>Tabla 2.51</b>	Selección de Paso de cadena y Número de dientes.....	165
<b>Tabla 2.52</b>	Factor de fricción entre el acero y el material.....	168
<b>Tabla 2.53</b>	Carga de Trabajo de las bandas dosificadoras preliminar.....	170
<b>Tabla 2.54</b>	Carga de Trabajo de las bandas dosificadoras final.....	172
<b>Tabla 2.55</b>	Especificaciones y Dimensiones según el número de cadena.....	173
<b>Tabla 2.56</b>	Potencia de las bandas dosificadoras.....	178
<b>Tabla 2.57</b>	Motores de Bandas de placas metálicas.....	178
<b>Tabla 2.58</b>	Características de Bandas de Placas Metálicas.....	180

<b>Tabla 2.59</b>	Tamaño de Grano para selección de Cribas.....	184
<b>Tabla 2.60</b>	Selección de Tamiz para la Criba.....	184
<b>Tabla 2.61</b>	Factor de Posición del Piso.....	188
<b>Tabla 2.62</b>	Factor de Cribado en Húmedo.....	188
<b>Tabla 2.63</b>	Factor del peso del material.....	189
<b>Tabla 2.64</b>	Factor de forma de las partículas.....	189
<b>Tabla 2.65</b>	Factor por el tipo de criba.....	189
<b>Tabla 2.66</b>	Factor de Humedad.....	189
<b>Tabla 2.67</b>	Condiciones críticas del Sistema.....	190
<b>Tabla 2.68</b>	Características del Material en los pisos.....	190
<b>Tabla 2.69</b>	Selección de criba CV-1.....	193
<b>Tabla 2.70</b>	Selección del Alimentador Vibrante.....	196
<b>Tabla 2.71</b>	Medición de Abrasividad.....	204
<b>Tabla 2.72</b>	Índice de abrasividad.....	204
<b>Tabla 2.73</b>	Capacidades, Tamaño de Alimentación y Producto de Trituradoras.....	205
<b>Tabla 2.74</b>	Relación de Reducción de Trituradores.....	207
<b>Tabla 2.75</b>	Índice de Trabajo de Bond.....	209
<b>Tabla 2.76</b>	Descripción del mineral según su Índice de Trabajo.....	210
<b>Tabla 2.77</b>	Selección de Trituradora HSI.....	212
<b>Tabla 2.78</b>	Características de Flujo en la Tolva.....	218
<b>Tabla 2.79</b>	Ángulos internos y de pared de materiales.....	220

<b>Tabla 2.80</b>	Factores de los materiales para la función de flujo.....	224
<b>Tabla 2.81</b>	Diseño de tolvas de Yeso, Caliza, Pulmón, TLR.....	264
<b>Tabla 2.82</b>	Selección de la válvula BinEx.....	266
<b>Tabla 2.83</b>	Selección del Alimentador Vibratorio para el Triturador.....	268
<b>Tabla 3.1</b>	Caudal de Aire a desempolvar según el Equipo.....	272
<b>Tabla 3.2</b>	Caudales y diámetros de los ducto.....	275
<b>Tabla 3.3</b>	Caída de presión en ramales.....	276
<b>Tabla 3.4</b>	Coeficientes de pérdidas en Codos.....	277
<b>Tabla 3.5</b>	Coeficientes de Pérdidas por Bifurcaciones.....	278
<b>Tabla 3.6</b>	Características del ventilador VE1.....	280
<b>Tabla 3.7</b>	Dimensiones del Ventilador VE1.....	282
<b>Tabla 3.8</b>	Dimensiones de Campanas.....	282
<b>Tabla 3.9</b>	Selección de Filtros.....	285
<b>Tabla 3.10</b>	Selección de Válvulas Solenoides.....	288
<b>Tabla 3.11</b>	Dimensiones del Tanque Cabezal para válvulas.....	290
<b>Tabla 3.12</b>	Peso de Ductos de FM1.....	291
<b>Tabla 3.13</b>	Selección de Válvula Rotatoria (6 álabes).....	293
<b>Tabla 3.14</b>	Selección del colector tipo cartucho.....	296
<b>Tabla 3.15</b>	Características del ventilador VE-2.....	298
<b>Tabla 3.16</b>	Selección del Extractor Magnético.....	301
<b>Tabla 3.17</b>	Selección del detector de Metales.....	303
<b>Tabla 3.18</b>	Presión de Trabajo de las Válvulas.....	307

<b>Tabla 3.19</b>	Dimensiones de la válvula guillotina.....	307
<b>Tabla 3.20</b>	Características de la Válvula Guillotina.....	308
<b>Tabla 4.1</b>	Selección de Celdas de Pesaje.....	314
<b>Tabla 4.2</b>	Ubicación de los detectores de Altura.....	316
<b>Tabla 5.1</b>	Costo de Fabricación Local.....	319
<b>Tabla 5.2</b>	Costos de Fabricación e Importación de Equipos.....	320
<b>Tabla 5.3</b>	Costos de Equipos Importados.....	322
<b>Tabla 5.4</b>	Costos de montaje y puesta en marcha.....	323
<b>Tabla 5.5</b>	Consumo de los Equipos.....	325
<b>Tabla 5.6</b>	Sueldo del Personal.....	327

## ÍNDICE DE PLANOS

SIPRE-ME00-DFS-01	Diagrama de Flujo del Sistema de Premolienda
SIPRE-ME01-BT1-02	Banda Transportadora BT1
SIPRE-ME01-BT2-03	Banda Transportadora BT2
SIPRE-ME01-BT3-04	Banda Transportadora BT3
SIPRE-ME01-BT4-05	Banda Transportadora BT4
SIPRE-ME01-CV1-06	Criba Vibratoria CV-1
SIPRE-ME01-TR-07	Triturador
SIPRE-ME01-SL1-08	Tolva de Puzolana
SIPRE-ME01-TLE1-09	Tolva de Clíinker
SIPRE-ME01-TLE2-10	Tolva de Yeso
SIPRE-ME01-TLE3-11	Tolva de Caliza
SIPRE-ME01-SL2-12	Tolva pulmón
SIPRE-ME01-BD1-13	Banda Dosificadora 1
SIPRE-ME01-BD2/3/4-14	Banda Dosificadora 2,3 y 4
SIPRE-ME01-EC1-15	Elevador de Cangilones
SIPRE-ME01-FM1-16	Filtro de desempolvado
SIPRE-ME01-EDIFPRE-17	Edificio de Pre-molienda vista de Planta

SIPRE-ME01-EDIFPRE-18	Edificio de Pre-molienda vista frontal
SIPRE-ME01-EDIFPRE-19	Edificio de Pre-molienda vista lateral
SIPRE-SC01-ARQ-20	Arquitectura del Sistema de Control

## INTRODUCCIÓN

El cemento como producto hidratado mecánicamente resistente y estable tanto al aire como bajo el agua, tiene una alta demanda en obras públicas y el sector inmobiliario. Por lo que es imprescindible la implementación de nuevas tecnologías y sistemas que aumentará la eficiencia y producción de la planta cementera, en este caso se implementará el sistema de Pre-molienda de Clinker y Aditivos, que está comprendido desde la sala de almacenamiento hacia la molienda final del producto.

Algunos equipos del sistema se diseñarán mientras que otros se seleccionarán cumpliendo las normas e información técnica presentada por los fabricantes debidamente explicados en la bibliografía. Se realizarán planos con diversos cortes para detallar la ubicación de los equipos.

En el capítulo final se realizará el presupuesto correspondiente del proyecto realizando un análisis de costos y el consumo del sistema anualmente.

# CAPITULO 1

## 1. PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO

### 1.1. Definición y clasificación

#### Definición del Cemento

Se definen como cementos los conglomerantes hidráulicos que, convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua. <sup>[1]</sup> Como se muestra en la figura 1.1 el cemento hidráulico es uno de los elementos más empleado para la construcción.



**Figura 1.1. Cemento Hidráulico**

### **Definición del Cemento Portland**

Hoy en día el cemento portland es el aglomerante más común, es un ligante hidráulico inorgánico, polifásico artificial, que se obtiene a partir de un producto intermedio denominado clinker, el cual se produce mediante la cocción a aproximadamente 1480 °C. Durante el proceso de cocción se produce una fusión parcial y una recombinación de los componentes de las materias primas dando lugar a nódulos de clinker de 5-50 mm. de diámetro, que esencialmente consisten en silicatos de calcio hidráulicos. Posteriormente el clinker mezclado con un 5% de yeso (sulfato de calcio dihidrato) se somete a un proceso de molienda del cual resulta el cemento portland.

### **Definición del Cemento Puzolánico**

Se hace referencia principalmente a la adición de puzolana natural al cemento portland que se produce principalmente en el Ecuador ya que es indispensable para contrarrestar el efecto de los sulfatos presentes tanto en suelos como en aguas freáticas.

La cal libre es el material vulnerable y el causante de la mayoría de los problemas del hormigón tales como: Inestabilidad de volumen del hormigón, Porosidad y permeabilidad de hormigón, Vulnerabilidad a sales de azufre (sulfatos).

La puzolana que está compuesta mayoritariamente de sílice y alúmina reacciona químicamente con la cal a temperatura ambiente y en presencia de humedad. Estas reacciones son tardías, lentas y continúan combinándose con el hidróxido de calcio que se libera con la hidratación del cemento. Los hormigones siguen ganando resistencia en forma notoria después de los 28 días de edad. Hasta 15-20% a los 56 días, hasta 30% a los 120 días de edad, siempre que los hormigones estén protegidos (curados). [2]

Entre los materiales puzolánicos, llamados “naturales” son los que provienen de las erupciones volcánicas: pumicite (espuma volcánica), tobas, cenizas, etc., y que se van acumulando alrededor de los volcanes tal como se puede apreciar en la figura 1.2 donde se muestra la formación de puzolana natural.



**Figura 1.2 Formación de Puzolana Natural**

## Clasificación

Definiendo los cementos Portland comunes vistos anteriormente, la norma ASTM C 150 y la norma nacional INEN 152 específica ocho tipos de cementos enumerados a continuación en la tabla 1.1: <sup>[3]</sup>

Tipo	Aplicación
I	Para usarse cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
IA	Cemento incorporador de aire para el tipo I donde se desea incorporación de aire.
II	Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o calor de hidratación
IIA	Cemento incorporador de aire para el tipo II donde se desea incorporación de aire.
III	Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.
IIIA	Cemento incorporador de aire para el tipo III donde se desea incorporación de aire.
IV	Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación.
V	Para usarse cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.

**Tabla 1.1 Tipos de Cementos según ASTM C 150**

### Clasificación por propiedades específicas

Hay tipos de cementos hidráulicos que tienen propiedades específicas, por lo que la norma ASTM C 1157 o la norma INEN 2380, debido a sus características especiales los clasifica con la siguiente nomenclatura:<sup>[4]</sup>

<b>Tipo</b>	<b>Aplicación</b>
<b>GU</b>	Para construcción en general, se lo debe utilizar cuando no se requieren uno más de los tipos especiales
<b>HE</b>	Alta resistencia a los sulfatos
<b>MS</b>	Moderada resistencia a los sulfatos
<b>HS</b>	Alta resistencia a los sulfatos
<b>MH</b>	Moderado calor de hidratación
<b>LH</b>	Bajo calor de hidratación
<b>R</b>	Baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice

**Tabla 1.2 Clasificación de cementos por sus propiedades específicas**

Clasificación por materiales adicionales:

Al cemento portland se puede adicionar otros materiales como escoria básica granulada de alto horno, puzolana y yeso para obtener cualidades superiores a los cementos Portland, como menor calor de hidratación, mayor resistencia química, lo que trae como consecuencia una mayor durabilidad y altas resistencias a largo plazo, además de una menor emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente, por lo que la norma ASTM C-595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados: <sup>[5]</sup>

- Cemento Portland de escoria de alto horno – Tipo IS.
- Cemento Portland puzolana – Tipo IP y Tipo P.
- Cemento de escoria – Tipo S.
- Cemento Portland modificado con Puzolana – Tipo I (PM).

- Cemento Portland modificado con escoria – Tipo I (SM).

### Clasificación por su resistencia

A los cementos se los puede también clasificar igualmente según sus resistencias, en dos grados (ver tabla 1.3):

- Cementos corrientes.
- Cementos de alta resistencia.

Resistencia mínima en Kg/cm <sup>2</sup>			
	Grado	a 7 días	a 28 días
<b>Compresión</b>	Corriente	180	250
	De alta resistencia	250	350
<b>Flexión</b>	Corriente	35	45
	De alta resistencia	45	55

**Tabla 1.3 Resistencias mínimas que deben cumplir los cementos** <sup>[6]</sup>

## **1.2. Materias primas para producción del cemento**

Para la fabricación de los distintos tipos de Cementos Portland se usa principalmente el Clinker y diversos productos naturales y artificiales. Para la fabricación del clinker se puede dividir las siguientes categorías: la principal que está constituido por Carbonatos, Aluminosilicatos, Silicatos de Calcio; la Suplementaria que está constituida por materiales

correctores; y aditivos especiales como espesadores de papilla, activadores granulación, mineralizadores.



**Figura 1.3 Materias Primas para el procesamiento de Cemento**

Para convertir el clinker en cemento se dividen en tres categorías: la principal donde se tiene el regulador de fraguado; el suplementario donde se agregan adiciones puzolánicas o cementantes; aditivos especiales que pueden ser agentes hidrofóbicos o pigmentos.

Antes de determinar los diferentes componentes que está constituido el cemento, se requiere definir la simplificación de las fórmulas químicas usadas en la química del cemento como se demuestra en la Tabla 1.4:

Oxide	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO	CO <sub>2</sub>
Symbol	C	S	A	F	H	N	K	Š	M	Ĉ

**Tabla 1.4 Significado de nomenclatura para la simplificación de fórmulas <sup>[7]</sup>**

## **Clinker**

El Clinker puede definirse como el producto granulado obtenido por tratamiento térmico hasta reblandecimiento o fusión parcial y sinterización de mezclas adecuadas de calizas y arcillas y, eventualmente, de arenas y minerales de hierro. El Clinker es la conversión a elevadas temperaturas de mezclas de minerales naturales en una nueva escala de minerales con propiedades hidráulicas obtenidas generalmente entre 1250 °C y 1450 °C de temperatura.

El Clinker como se indicó es el principal componente para la conformación del cemento, éste se mezcla con algún porcentaje de sulfato de calcio y finamente molido para producir el cemento. El sulfato de calcio controla el rango de ajuste e influencia en el desarrollo de la resistencia del cemento.

El Clinker típicamente tiene una composición de 67% de CaO, 22% de SiO<sub>2</sub>, 5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 3% de otros componentes, y normalmente contiene las cuatro fases mayoritarias llamadas Alita, Belita, Aluminato y Ferrita. Algunas otras fases, tales como Sulfatos de Alkali y Oxido de Calcio, son normalmente presentadas en menor cantidad.<sup>[8]</sup>

El Clinker está determinado por compuestos mayoritarios y compuestos minoritarios. Los compuestos mayoritarios son todos los elementos en la

harina cruda terminan como constituyentes en esos componentes de minerales, se deduce que los componentes mayoritarios del clinker son:

- SILICATO TRICALCICO (ALITA),  $C_3S$ , 50 – 70% del total.
- SILICATO DICALCICO (BELITA),  $C_2S$ , 15 – 30% del total.
- ALUMINATO TRICALCICO,  $C_3A$ , 5 – 10% del total.
- FERROALUMINATO TETRACALCICO,  $C_4AF$  5 – 15% del total.

En la figura 1.4 se puede observar secciones pulidas de clinker de cemento portland.



**Figura 1.4 Micrografía de sección pulida de clinker de cemento Pórtland, clinker con alto contenido de Alcalis ( $C_3S$ ) y se puede apreciar la presencia de MgO**

El conocimiento de las distintas proporciones relativas de estos compuestos, de sus diferentes estructuras cristalinas y las distintas formas,

tamaños y distribuciones de sus granos, particularmente de Alita y Belita, se ha aplicado tanto al control de la composición y finura del crudo, de la marcha del horno de cemento y de la velocidad de enfriamiento del clinker en el proceso de fabricación, como a la predicción de las propiedades del cemento y de su comportamiento del clinker en el proceso de fabricación, como a la predicción de las propiedades del cemento y de su comportamiento en cuanto a resistencias mecánicas y sus cambios.

### **Componentes Minoritarios**

El Clinker industrial puede contener como fases distintas otros componentes en menor proporción y que se denominan minoritarios. La proporción en que estén presentes en las materias primas influye en el modo en que van a estar presentes en el clinker, bien los compuestos mayoritarios como impurezas o bien formando nuevos compuestos, que serán minoritarios. Los más importantes son: el Óxido de Calcio, el Óxido de Magnesio, los Alcalis, el Azufre, los Cloruros, los Fluoruros, el Fósforo, Oxido de Titanio, Metales Pesados.

A pesar de estar presentes en cantidades relativamente pequeñas pueden jugar un papel muy importante en el proceso de fabricación del clinker y en sus propiedades finales.

## Componentes Principales

Como se definió en la sección 1.1 se adicionan otros componentes para mezclarse con el clinker y así obtener diferentes tipos de cementos con características especiales, entre estos componentes adicionales se tiene en la tabla 1.5:

Componente	Obtención	Característica
<b>Escoria (S)</b>	Templado, enfriado brusco, ganga fundida de procesos siderúrgicos	Hidraulicidad latente o potencial, contenido mínimo de fase vítrea.
<b>Puzolana (P,Q)</b>	Origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias	Sustancias naturales de composición silícea o sílico-aluminosa o combinación de ambas
<b>Cenizas volantes (V,W)</b>	Precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado	Tienen propiedades puzolánicas e hidráulicas
<b>Esquisto Calcinado (T)</b>	De un horno especial a 800°C	Presenta propiedades puzolánicas
<b>Caliza (L, LL)</b>	Compuesto de carbonato cálcico (superior al 85%), que molidos conjuntamente con el clinker pórtland.	Dispersión, hidratación, trabajabilidad, retención de agua, capilaridad, permeabilidad, retracción, fisuración.
<b>Humo de Sílice (D)</b>	Del silicio y del ferrosilicio	Tiene propiedades puzolánicas

**Tabla 1.5 Componentes Principales del cemento**

## **Componentes Minoritarios Adicionales**

Además de los componentes minoritarios que se mencionaron anteriormente para conformar el clinker, existen adicionalmente otros productos adicionales que se añaden para obtener un comportamiento específico del cemento o controlar la reacción del mismo durante la fabricación del cemento.

### Sulfato de calcio

El sulfato de calcio se añade durante la fabricación del cemento para controlar el fraguado.

El sulfato de calcio puede ser yeso (sulfato de calcio dihidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), semihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) o anhidrita (sulfato de calcio anhidro  $\text{CaSO}_4$ ) o cualquier mezcla de ellos. El yeso y la anhidrita se encuentran en la naturaleza. Además, el sulfato de calcio también puede obtenerse como subproducto de ciertos procesos industriales.

### Aditivos

Son productos que pueden emplearse en la fabricación del cemento, para facilitar el proceso de molienda o bien para aportar al cemento o a sus

derivados algún comportamiento específico (inclusores de aire). La dosificación debe ser inferior al 1% en masa.

En los cementos de albañilería se emplean agentes aireantes con el fin de mejorar su docilidad y durabilidad. Sin embargo, se limita el contenido de aire con el fin de asegurar una buena adherencia. Cuando la designación del cemento incluye el signo X indica que no lleva un agente aireante incorporado. [9]

## **Propiedades físicas y químicas**

### **Ensayos Químicos y Físicos**

El control de calidad, se encuentra presente en todas las etapas del proceso, se realizan diversos procedimientos que permiten un preciso y rápido análisis de las muestras que son tomadas en los diferentes puntos del proceso, desde la cantera hasta el envase.

Los ensayos físicos y químicos que se realizan en los laboratorios están regidos por las normas Nacionales INEN o internacionales ASTM para la industria del cemento.

Los diversos métodos de ensayos que se realizan para la obtención de la composición química y propiedades físicas requeridas para los distintos tipos de cementos están especificados de acuerdo con los siguientes

métodos de ensayo con su respectiva norma ASTM que se muestran a continuación <sup>[10]</sup>:

Contenido de aire en el mortero – Ensayo ASTM C185

Análisis químico – Ensayo ASTM C 114

Resistencia - Ensayo ASTM C109 / C109M

Falso Fraguado – Ensayo ASTM C451

Fineza por permeabilidad al aire – Ensayo ASTM C204

Calor de hidratación – Ensayo ASTM C 151

Tiempo de fraguado por aguja de Gillmore – Ensayo ASTM C 266

Resistencia a los sulfatos – Ensayo ASTM C 452 (expansión de sulfatos)

Sulfato de calcio (expansión de) Mortero – Ensayo ASTM C 1038

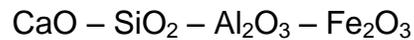
Óptimo SO<sub>3</sub> - Ensayo ASTM C 563

### **Propiedades Químicas**

Como se indicó anteriormente una de las principales materias primas para la fabricación de cemento portland es el clinker y este a su vez está determinado por compuestos mayoritarios y minoritarios, los cuatro óxidos

fundamentales del clinker son:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$ , mientras que el  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , y  $\text{K}_2\text{O}$ , pueden considerarse como accidentales debido a su pequeño porcentaje.

Por consiguiente, la composición química del clinker se presenta por medio del sistema cuaternario:



Cualquier tipo de cemento tiene que estar en conformidad con las normas de calidad individuales de cada cemento. Las normas (especificaciones estándar), incluyen normalmente las especificaciones químicas para el cemento.

En cuanto a las materias primas, solo son importantes los requerimientos químicos:

- Especificaciones químicas del producto.
- Calidad del clinker y cemento.
- Composición de la mezcla cruda.
- Componentes de la materia prima.

Las especificaciones del producto determinan la calidad del clinker y del cemento, la misma, que a su vez determinan la composición química del crudo y, finalmente la selección de los componentes de la materia prima.

La dosificación de las mezclas crudas para la fabricación de un cemento ordinario se basa en la mayoría de los casos, se determinan con los siguientes criterios específicos: <sup>[11]</sup>

#### El contenido de MgO

Se tiene como máximo un 5%.

#### Estándar de cal o factores de saturación de cal: SC

El valor límite aproximado es:

$$SC = \frac{100CaO}{2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3} = 88 - 97 \text{ (ec. 1)}$$

El estándar de cal mide el grado de formación de los compuestos cálcidos. Su variación normal, oscila entre 88 – 97, siendo el límite superior el valor que da lugar a una mayor cantidad de silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S), en comparación con análogos contenidos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y es, por tanto el más favorable para las resistencias.

### Módulo Hidráulico MH

El valor límite aproximado es:

$$MH = \frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3} = 1.8 - 2.2 \text{ (ec. 2)}$$

El valor óptimo del módulo Hidráulico, para obtener altas resistencias, es el comprendido entre 1.8 y 2.2.

Cuando este valor es inferior a 1.8, el aglomerante tiene resistencias muy bajas y cuando el valor es superior a 2.2, el aglomerante no presenta estabilidad en volumen, una vez puesto en obra, sufre al cabo de pocos días o semanas un fenómeno de agrietamiento por expansión, formando grietas centrífugas.

### Módulo de silicatos: MS

El valor límite aproximado es:

$$MS = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} = 1.8 - 3.5 \text{ (ec. 3)}$$

Cuanto más elevado sea el módulo de silicatos, dentro de su variación normal de 1.8 a 3.5 mayor contenido total de silicatos tricálcico (C<sub>3</sub>S) y

silicato bicálcico ( $C_2S$ ) se tendrá en el clinker o cemento, así como un mayor potencial de resistencia a cualquier plazo.

#### Módulo de Fundentes: MF

El valor límite aproximado es:

$$MF = \frac{\%Al_2O_2}{\%Fe_2O_3} = 1.5 - 2.5 \text{ (ec. 4)}$$

El módulo de fundentes, es un valor que no afecta a las resistencias a largo plazo, si no tan solo a las resistencias iniciales cuando es elevado, influye sobre la mayor o menor facilidad de clinkerización por su acción sobre la viscosidad de la fase líquida a alta temperatura. Al disminuir su valor, como se consigue normalmente por una adición al crudo de 1% a 2% de  $Fe_2O_3$ , disminuye la temperatura de combinabilidad del clinker, en igualdad de composición deja más  $CaO$  disponible aumentando el contenido de silicatos y disminuyendo el contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ). Este es la base para la elaboración de cementos especiales resistentes a la acción agresiva de los sulfatos, limitando el contenido de  $C_3A$ , entre 3% y 5%.

Cuando el M.F., es igual a 0.64 todo el óxido de aluminio forma el ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), en cuyo caso no cristaliza

prácticamente el  $C_3A$ . Este tipo de clinker, constituye el fundamento de los cementos resistentes a los sulfatos.

### Potencial de Bogue

Se denomina cálculo potencial a las expresiones y fórmulas que permiten calcular la composición mineralógica a partir del análisis químico o composición centesimal del cemento.

En la derivación de las ecuaciones se asume lo siguiente:

- No hay vidrios presentes (material no cristalino)
- Todo el  $SO_3$  se combina como  $SO_4Ca$ .
- Todo el  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$  se combina como  $C_4AF$  y  $C_3A$ .
- Todo el  $CaO$  (Excepto la cal libre y el que se combinó como  $SO_4Ca$ , y  $C_3A$ ), se combina con el  $SiO_2$  para formar una mezcla de  $C_2S$  y  $C_3S$ .

Cuando la relación:  $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \geq 0.64$  (ec. 5)

Los componentes mineralógicos principales se determinan utilizando las siguientes fórmulas: <sup>[12]</sup>

$$C_3S = 4.0710CaO - 7.6024SiO_2 - 1.42397Fe_2O_3 - 6.7181Al_2O_3 \text{ (ec. 6)}$$

$$C_2S = 8.6024SiO_2 + 1.0785Fe_2O_3 + 5.0683Al_2O_3 - 3.0710CaO \text{ (ec. 7)}$$

$$C_3A = 2.6504Al_2O_3 - 1.6920Fe_2O_3 \text{ (ec. 8)}$$

$$C_4AF = 3.0433Fe_2O_3 \text{ (ec. 9)}$$

Los indicadores antes mencionados MS, MH, SC, MF, para realizar el monitoreo y control del proceso de fabricación de cemento existen muchas variables, pero estas variables son las que suelen definirse para el control de la composición química de las materias primas y productos intermedios que intervienen en el proceso, estos indicadores deben alcanzar al menos un 90% de cumplimiento. <sup>[13]</sup>

### **Propiedades Físicas y Mecánicas**

Las características Físicas y Mecánicas más importantes estableciendo los requisitos de desempeño para los cementos hidráulicos para aplicaciones generales y especiales son determinados por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2380:2010 y la ASTM C 150, se tiene que los requisitos físicos más importantes se muestran en la tabla 1.6 <sup>[14]</sup>

También existen requisitos físicos opcionales que pueden ser pedidos por el comprador del producto, estos pueden ser: Reactivos alcalí-sílice, Endurecimiento prematuro, contracción por secado.

A continuación se definirá cada propiedad física y mecánica, el método de ensayo, la respectiva Norma que está regulado dicho procedimiento, una vez establecidas y comprendidas las propiedades químicas, físicas y mecánicas, y posteriormente realizando una revisión de los tipos de cementos que establecen las Normas, se determinará el tipo de cemento que se empleará en este proyecto y sus características, como se muestra en la tabla 1.6:

<b>Propiedad</b>	<b>Característica</b>	<b>Norma</b>
<b>Finura</b>	Ligada al valor hidráulico del cemento, influye en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.	ASTM C 204 (INEN 196), se usa el permeabilímetro blaine, la superficie específica está entre 2500 y 4000 cm <sup>2</sup> /g <sup>[15]</sup>
<b>Fraguado</b>	Es el desarrollo de rigidez de una pasta o mortero de cemento que cambia su carácter de una masa plástica a un material rígido.	ASTM C 191 (INEN 158), determinado por la aguja Vicat, el tiempo de fraguado inicial no debe ser inferior a 30, 45 ó 60 minutos, mientras que en el fraguado final debe ser inferior a 8, 10 ó 12 horas. <sup>[16]</sup>
<b>Expansión por Autoclave</b>	La determinación de la inalterabilidad del volumen del cemento o sanidad del cemento, es decir, la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado.	ASTM C 151 (INEN 200), el cambio máximo permisible en la longitud es de 0.8 % . <sup>[17]</sup>

Continúa...

<b>Propiedad</b>	<b>Característica</b>	<b>Norma</b>
<b>Contenido de Aire en el Mortero</b>	Se realiza colocando el molde de flujo sobre la mesa de flujo y vertiendo dentro de él y compactando, bajo condiciones normalizadas, una muestra del mortero con determinada cantidad de agua.	ASTM C 185 (INEN 195), se produce una fluidez de 87.5% +/- 7.5 %
<b>Resistencia a la Compresión</b>	La prueba se la realiza sobre el mortero, una mezcla de agua, cemento y un agregado fino específico.	ASTM C 109 (INEN 488), el concreto de uso generalizado tiene una resistencia de 210 y 350 kg/cm <sup>2</sup> , el de alta resistencia a la compresión al menos 420 Kg/cm <sup>2</sup> .
<b>Calor de Hidratación</b>	Es el calor que se desprende durante la reacción que se produce entre el agua y el cemento al estar en contacto.	ASTM C 186 (INEN 199), el calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g.
<b>Expansión en barra de mortero</b>	Se sumerge las barras de mortero en solución de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para evaluar las variaciones en el cambio en la longitud de las barras a través del tiempo, se observa su fisuración superficie, depósitos superficiales de geles en el interior.	ASTM C 1012 (INEN 2529), para cementos HS debe ser menor a 0.05% (ASTM C 1157), la expansión máxima a un año es de 0.1 %. <sup>[18]</sup>
<b>Resistencia a los Sulfatos</b>	Los cementos para uso en hormigones que están expuestos al agua de mar o agua residual y subterránea que contiene sulfatos.	ASTM C 452 (INEN 2503), límite máximo es del 5% de C3A para cementos resistentes; 8% de C3A para cementos con resistencias moderadas a sulfatos.

**Tabla 1.6 Características Físicas y Mecánicas de los Cementos**

### Densidad

También se tiene una propiedad importante que es requerida para el diseño y selección de los equipos como es la densidad del cemento, según

el sistema internacional SI clasifica a los agregados que constituyen a los cementos de la siguiente manera con su respectiva densidad como se puede observar en la tabla 1.7:

Material	Kg/m <sup>3</sup>
Cemento - Clinker	1290 - 1540
Cemento - Portland	1506
Cemento - Mortero	2162
Caliza	1200
Puzolana	800
Yeso	1120

**Tabla 1.7 Densidad de las materias Primas** <sup>[19]</sup>

Debido a que el material se encuentra recién en la fase de trituración, éste pertenece a las densidades comprendidas entre 1290 y 1540 kg/m<sup>3</sup>, es decir, el cemento se encuentra en la fase donde se juntan o se mezclan las materias primas y es por eso que se lo considera cemento-clinker y según los datos prestados por el departamento de calidad de esta empresa tiene una densidad de 1300 Kg/m<sup>3</sup>. Mientras que los otros agregados que actúan en la preparación del cemento Puzolánico IP, se tiene caliza 1200 kg/m<sup>3</sup>, Puzolana 800 kg/m<sup>3</sup>, y el yeso 1120 kg/m<sup>3</sup>.

#### Índice de Molturabilidad de Bond

El índice de trabajo de Bond se define como el parámetro de molturación el cual expresa la resistencia que ofrece el material al proceso de trituración y

molienda. También tiene gran utilidad para evaluar la eficiencia de una ó diferentes etapas de operación de trituración y molienda comparado los  $w_i$  obtenidos en laboratorio con los obtenidos de datos de operación de la planta. Entre los agregados que ingresan a la trituradora el más resistente a la pulverización es el clínker, este tiene un factor de molturabilidad de 13.45 kwh/sh ton.

### Requisitos Químicos y Físicos del Cemento Puzolánico IP

A continuación se verificará las características del producto a procesar según el departamento de calidad de la empresa donde se realiza la fabricación del Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, los requisitos químicos se muestran en la tabla 1.8, cumpliendo con la norma nacional antes mencionada INEN 490:2010 <sup>[20]</sup> quinta revisión (ver Anexo A).

Requisitos Químicos			
Propiedad	Unidad	INEN 490	Resultado
SiO <sub>2</sub>	%	N/A	31.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	N/A	6.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	N/A	2.37
CaO	%	N/A	53.89
MgO	%	6.0 máx.	1.31
SO <sub>3</sub>	%	4.0 máx.	1.96
Pérdida por Calcinación	%	5.0 máx.	1.62
Residuo Insoluble	%	N/A	-

**Tabla 1.8 Requisitos Químicos del cemento Portland Puzolánico Tipo IP.**

### 1.3. Descripción de la producción de cemento

#### Producción Mundial de Cemento

El crecimiento en el consumo mundial de cemento se ralentizó 2,4% en 2008 al situarse en 2.830 toneladas métricas, pero después se recuperó y alcanzó las 2.998 toneladas métricas en 2009 e incluso 3.294 en 2010, cifras que representan tasas de crecimiento anual de 5,9% y 9,9% para el 2009 y 2010 respectivamente, se espera que el cemento alrededor del planeta alcance la cifra récord de 3.859 toneladas métricas en el 2012. <sup>[21]</sup>

Entre los mayores productores de cemento en el mundo (ver tabla 1.9), China lidera la tabla con una producción de 1800'000.000 toneladas métricas, en segundo lugar India con 220'000.000 toneladas métricas y en tercer lugar Estados Unidos con 63'500.000 toneladas métricas, mientras que Ecuador se encuentra entre los productores minoritarios de cemento con 5'800.000 toneladas métricas anuales.

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO	
PAÍS	TON. MÉTRICAS X 10 <sup>3</sup>
China	1800000
India	220000
Estados Unidos	63500
Turquía	60000
Brazil	59000
Japón	56000
Irán	55000

PAÍS	TON. MÉTRICAS X10 <sup>3</sup>
Vietnam	50000
España	50000
Rusia	49000
Egipto	48000
Corea	46000
Arabia Saudita	45000
Indonesia	42000
Italia	35000
México	34000
Alemania	31000
Tailandia	31000
Pakistán	30000
Otros Países	520000

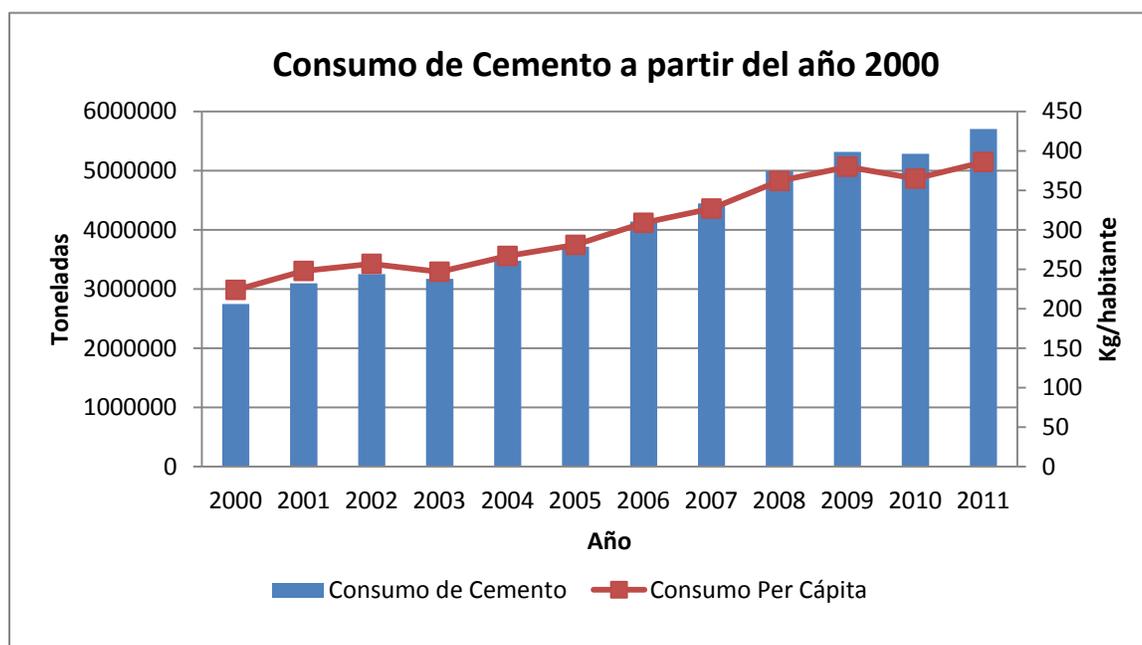
**Tabla 1.9 Producción Mundial de Cemento** <sup>[22]</sup>

### **Producción Nacional de Cemento**

La industria del cemento en Ecuador se inicia en el año 1923 cuando la empresa Industrias y Construcciones instaló la primera planta en la ciudad de Guayaquil, con una producción de 3.000 toneladas /año.

La industria nacional suministra el 100% del cemento gris que se consume en el país, siendo el cemento Portland IP, que se elabora bajo la Norma INEN 490 (ASTM C 595), el de mayor comercialización, cementos puros tipo I y II así como por desempeño HE se los puede obtener bajo pedido, el cemento blanco y especiales se importan.

A continuación se presenta en la figura 1.5 el incremento del consumo de cemento desde el 2000 hasta el 2011, con un incremento anual aproximado de 7,9% y el incremento per cápita de 5,8%. Llegando a 5'705.731 toneladas métricas de consumo en el 2011 y esperando que en 2012 alcance un consumo de 6'200.000 toneladas métricas.

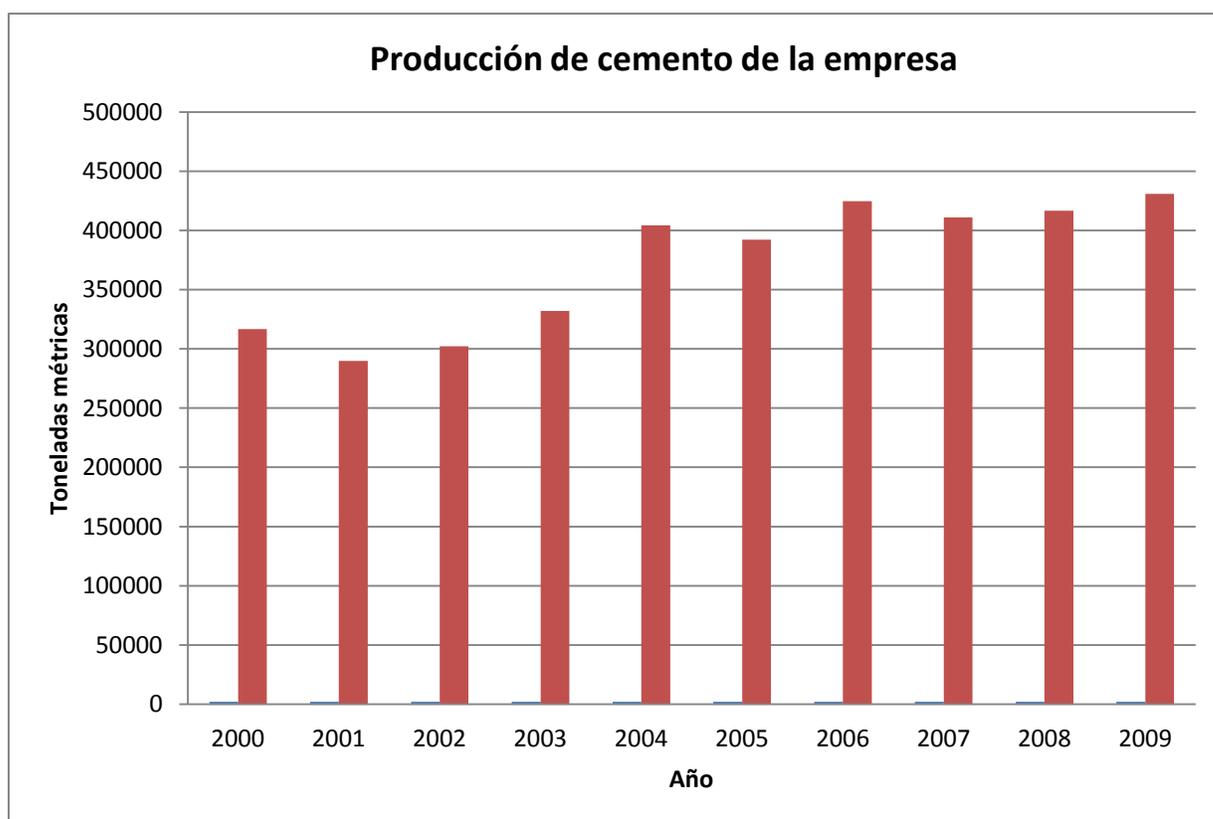


**Figura 1.5 Mercado de Cemento y consumo per cápita a partir del año 2000 en el Ecuador <sup>[23]</sup>**

### Producción de la Empresa

Las condiciones financieras y tecnológicas de la empresa, se verifica que es la tercera empresa de producción de cemento a nivel nacional. Se produce 450.000 toneladas al año lo que la ubica en tercer puesto de

participación en el mercado, en la figura 1.6 se puede verificar el crecimiento que se ha producido debido a la gran demanda que se ha producido gracias a la obra pública y el negocio inmobiliario en esta zona del Ecuador.



**Figura 1.6 Producción de cemento de la empresa a partir del año 2000<sup>[24]</sup>**

Debido a la alta demanda se planifica la inversión en algunos insumos y equipos, que aportarían en forma interesante la productividad y posicionamiento del mercado. Se lleva adelante el proceso de adquisición de un Secador de Puzolana y un Sistema de Pre-molienda de Clinker y

aditivos con otros equipamientos, que permitirán en el 2012 incrementar la producción y bajar los costos, lo que pondrá en mejor posición competitiva frente a la competencia y atención a la demanda. El proceso de contratación se realiza, a través del portal de compras públicas, por el valor de 10'000.000 de dólares. <sup>[25]</sup>

### **Proceso de Fabricación del Cemento**

Los métodos comerciales que se usan en la fabricación del clinker de cemento Portland, una vez que el crudo ya está homogeneizado, son principalmente los siguientes:

- Proceso por vía húmeda.
- Proceso por vía seca.
- Proceso por vía semi-húmeda.
- Proceso por vía semi-seca.

Desde un punto de vista histórico, el proceso de fabricación del clinker ha pasado por el cambio de la vía húmeda a la seca.

### **Proceso por Vía Húmeda**

La vía húmeda permitía un manejo y una homogeneización más fácil de las materias primas, especialmente en los casos en que están húmedas o son

pegajosas o cuando exhibían grandes fluctuaciones en su composición química. El proceso por vía húmeda (Figura 1.7) se prepara una papilla añadiendo agua a las materias primas finamente molidas, que a continuación se bombea a un horno rotatorio de gran longitud ( $L/D=30$ ), en el cual tiene lugar todo el piroprocesamiento.

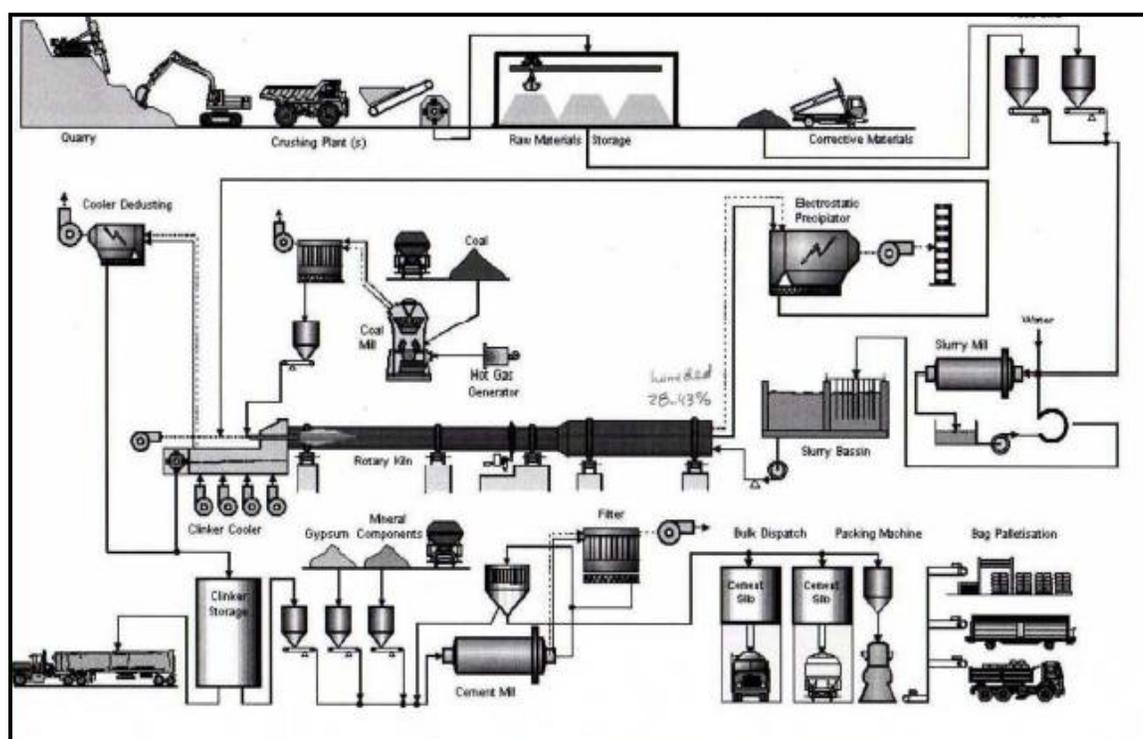


Figura 1.7 Proceso de Fabricación de Cemento Vía Húmeda [26]

En el proceso húmedo, las materias primas (con alto contenido de humedad) son envueltas en agua para formar una composición acuosa

bombeable. La sustancia es alimentada directamente dentro del horno o el primer secador.

### Proceso por Vía Seca

En el proceso por vía seca (Figura 1.8) se prepara una mezcla en seco de las materias primas finamente molidas, que se homogeneiza en silos mediante aireación y que a continuación se alimenta a un horno rotatorio de menor longitud que en el caso de la vía húmeda ( $L/D=15$ ). El calentamiento inicial del crudo en suspensión, hasta aproximadamente  $800^{\circ}\text{C}$ , se lleva a cabo en un intercambiador de calor mediante el  $\text{CO}_2$ , que se desprende durante la calcinación de la caliza y los gases procedentes de la combustión del fuel, carbón, etc.

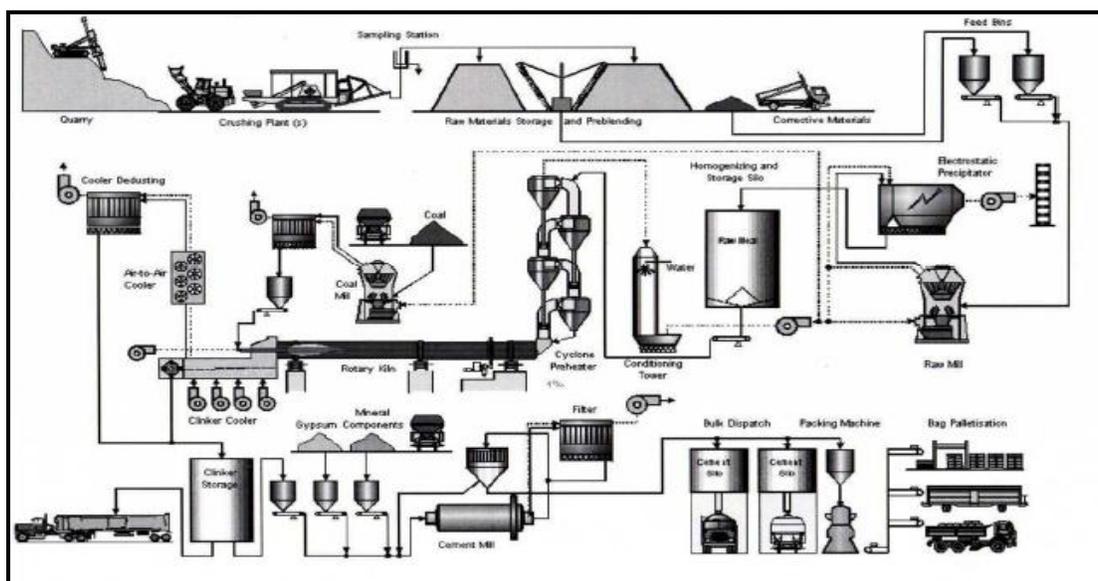


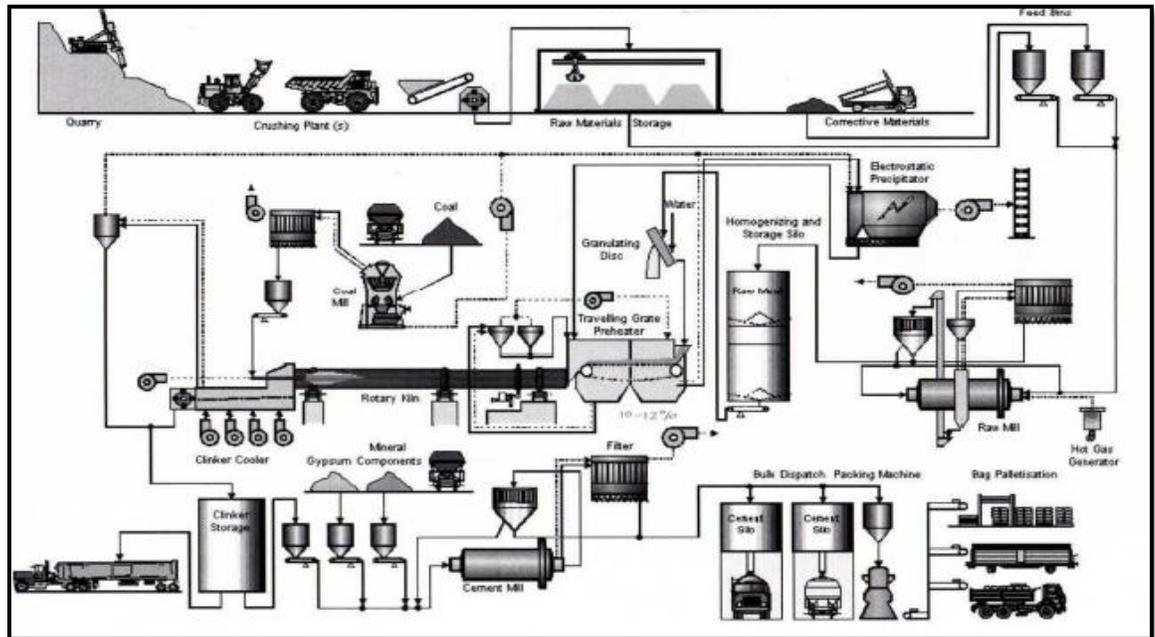
Figura 1.8 Proceso de Fabricación de Cemento Vía Seca [27]

Un desarrollo importante del proceso por vía seca, ha sido colocar un precalcinador en la base de la torre del intercambiador de calor, en el cual se quema parte del combustible (50 – 65% del total) usando como comburente aire del enfriador. Esto permite que el crudo entre en el horno rotatorio con un grado de calcinación superior al 90%.

En este proceso las materias primas son molidas y secadas para obtener el crudo en forma de polvo fluido. El crudo seco es alimentado a un precalentador o un horno precalcinador o no muy frecuentemente a un horno seco largo.

### **Proceso por Vía Semi-Seca**

En el proceso por vía semi-seca o proceso LEPOL (Figura 1.9) el crudo se noduliza en un plato granulador. Los nódulos formados tienen un contenido en agua del 10-12% y un diámetro de aproximadamente 15 Mm. y se alimentan a una parrilla donde se secan, precalientan y se calcinan parcialmente, haciendo uso de los gases de salida del horno rotatorio.



**Figura 1.9 Proceso de Fabricación de Cemento Vía Semi-Secca** [28]

Los gases calientes del horno primario pasan a través de la capa de nódulos secos en la cámara caliente, a continuación se desempolvan en unos ciclones, para a continuación pasar a través de la capa de nódulos húmedos en la cámara de secado de la parrilla. La cantidad de polvo que sale con los gases de salida de la parrilla es muy baja, ya que el residual que traían después del ciclonado se deposita en el lecho de nódulos húmedos.

### **Proceso por Vía Semi-Húmeda**

También se puede denominar proceso LEPOL (Figura 1.10), a las materias primas en forma de papilla se les elimina agua mediante filtro prensa,

alcanzándose una humedad del 16 – 21%. A continuación las tortas que salen de los filtros pueden procesarse en máquinas extrusoras para formar pelets que se alimentan a una parrilla con tres cámaras o bien, dichas tortas, se envían a un depósito intermedio antes de ser alimentadas a trituradoras – secadoras que producen un crudo seco que se alimenta a un torre intercambiadora de calor con o sin sistema de precalcinación.<sup>[29]</sup>

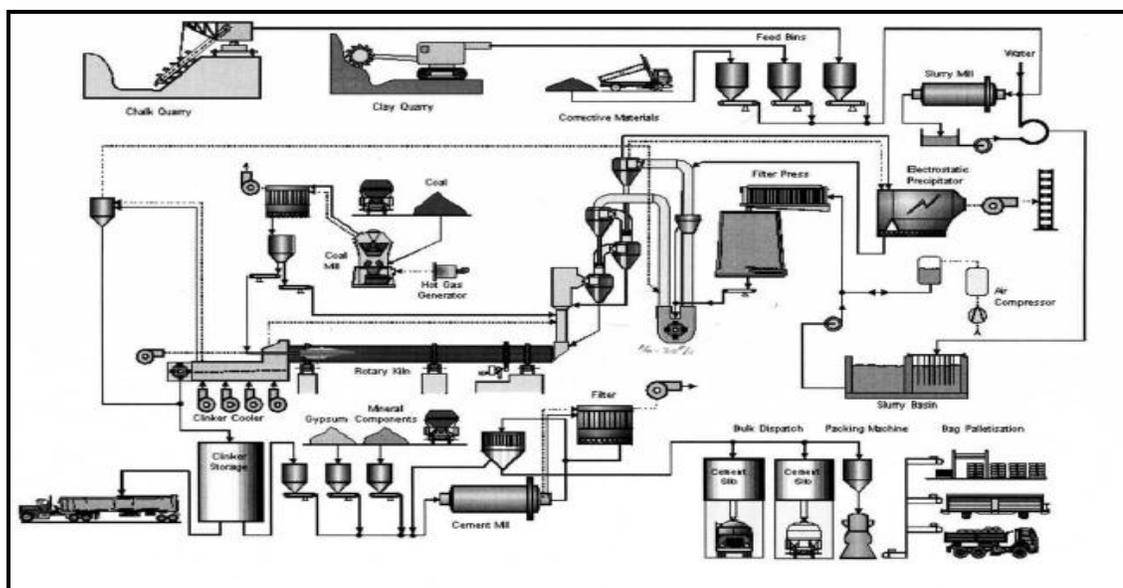
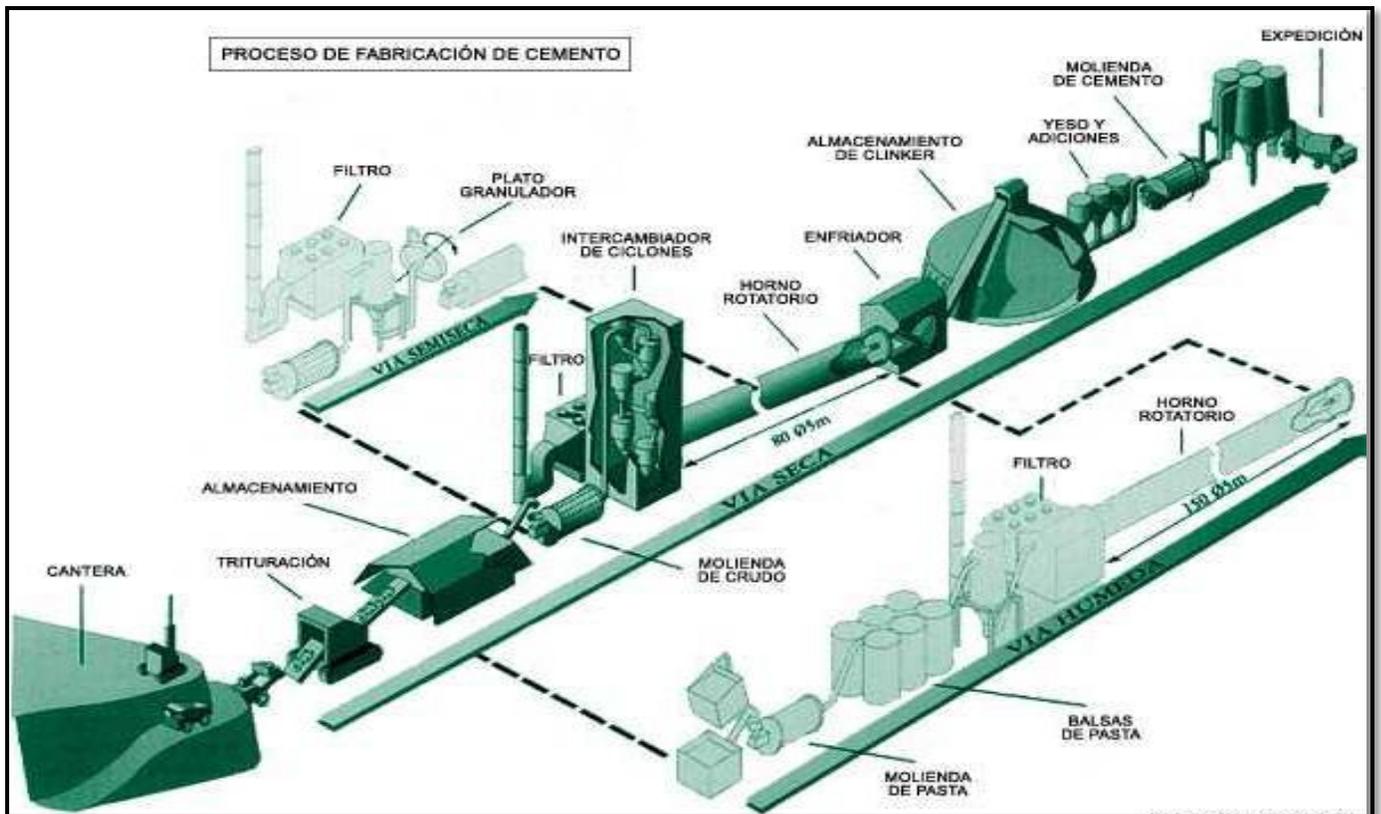


Figura 1.10 Proceso de Fabricación de Cemento Vía Semi-Húmeda<sup>[28]</sup>

### Descripción del Proceso de Fabricación del Cemento

La Fabricación de clínker y cemento (Ver Figura 1.11) incluye las etapas de Trituración primaria, Trituración Secundario, pre-homogenización, molienda y homogeneización, pre-calentamiento, clinkerización, enfriamiento, almacenamiento, embolsado y despacho. En todas las

etapas del proceso de fabricación se instala sistemas de control para la reducción de emisiones de material particulado y sistemas de pesaje para la correcta cantidad de mezclas. [30]



**Figura 1.11 Flujo del Proceso de Fabricación de Cemento**

#### Obtención de las materias primas

Generalmente calizas o margas, son las encargadas de aportar el  $\text{CaO}$  que luego reaccionará en el horno para formar los silicatos que son los componentes realmente activos en el clinker. Y las arcillas o pizarras, son las encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que

contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones. Estos materiales se extraen mediante perforación y voladura de una cantera que generalmente se encuentra en las proximidades de la fábrica. Una vez realizado el arranque el material sufre una primera trituración y es transportado a las instalaciones de la fábrica.

### Trituración preliminar

La trituración es la primera etapa de la operación de reducción de tamaño de las materias primas por impacto y/o presión (Admitiendo el mayor tamaño posible) y tiene por objetivo obtener un producto fácilmente transportable y con la granulometría apropiada, que se preste bien a la operación de pre-homogeneización en montones y cuyo tamaño sea lo más fino posible y, en cualquier caso, cuyo tamaño superior sea aceptable como alimentación de los molinos de crudo, que, generalmente, es del orden de 25 – 30 mm o incluso 50 mm. Es decir, que las materias primas extraídas de la mina se la reducen a un tamaño de 125 mm en la trituradora primaria y luego pasa a la trituradora secundaria donde se reduce el material máximo hasta 20 mm, con este tamaño el material está lista para almacenarse e iniciar la pre-homogenización.

Las instalaciones de trituración suelen ser de una sola etapa o de dos etapas, según que se desee alcanzar el tamaño de partícula conveniente (<25 mm) con una sola trituradora o con dos montadas en serie. Cada una de las trituradoras puede trabajar en circuito abierto (con o sin tamizado preliminar) o en circuito cerrado. También las instalaciones de trituración pueden ser estacionarias o móviles, las estacionarias se usan especialmente cuando se exige una producción en gran escala (ver figura 1.12).



**Figura 1.12 Instalación Estacionaria de Trituración Primaria  
Almacenamiento y Pre-homogenización**

El material resultante de la trituración es transportado hasta “la playa de pre-homogenización” donde se almacena y homogeniza la materia prima.

La pre-homogeneización conjunta de las materias primas consiste en el amontonamiento sucesivo, en una misma pila, de las distintas materias primas que van a entrar en el crudo y en sus respectivas proporciones de mezcla. La dosificación de los componentes se realiza antes de llevarlos al lecho de mezcla y el control de entrada de los materiales se lleva a cabo mediante una estación de toma de muestras.

Para la formación de los lechos de mezcla el tamaño máximo del material a pailar no ha de ser superior a 25 – 30 mm, la eficacia del apilamiento viene determinada por el tipo de material y la forma de apilarlo y extraerlo.

La formación de lechos de mezcla puede ser: Longitudinal o Circular como se puede apreciar en la figura 1.13:



**Figura 1.13 Pre-homogeneización a) Lecho Circular b) Lecho Longitudinal**

Entre los métodos de apilamiento longitudinales más utilizados se tienen:

1. Formación de pilas piramidales ( Método Chevrón )
2. El método de l
3. estratos inclinados.
4. El método de las pilas cónicas.

Los métodos que más se utilizan son:

1. Formación de pilas piramidales o método Chevrón
2. Método de las hileras superpuestas o Método Windrow.
3. Formación de capas horizontales.
4. Método combinado Chevron.

### **Molienda de Crudo**

Consiste en la reducción de los materiales ya triturados a polvo, y su objetivo es el aumento de la superficie del material (siempre de acuerdo con una distribución granulométrica establecida), concepto que se extiende al de la obtención de una adecuada reactividad para la próxima etapa del proceso de fabricación del clinker, que es la cocción.

La piedra homogenizada es extraída y dosificada dentro de el molino vertical (ver figura 1.14) donde la cual se transforma en harina. A su vez se

adicionan oxido de hierro, corrector y yeso y se muelen sobre una mesa giratoria con rodillos que ejercen presión sobre la misma.



**Figura 1.14 Molienda de crudo mediante el Molino Vertical**

### **Secado**

Las materias primas que se utilizan para la fabricación del clinker y del cemento, en general tiene un contenido de humedad, que las hace no ser adecuadas para el proceso por vía seca, por tanto han de ser secadas previamente.

Junto al secado simultaneo con la trituración y molienda o con la molienda, en la industria del cemento también se utilizan:

- Secaderos de tambor (ver Figura 1.15): Es un cilindro de chapa soldada, cuyo espesor varía entre 10 – 20 mm aproximadamente, dependiendo del tamaño del secadero. En los secaderos de calefacción directa, la temperatura a la entrada ha de ser, como máximo, de unos 650°C. En secaderos de flujo paralelo, destinados casos especiales del proceso de secado, se puede elevar la temperatura de los gases a la entrada hasta unos 750 – 975°C.
- Secaderos rápidos: Consiste principalmente en un cilindro fijo de sección circular o a veces elíptica, construido en acero y estanco al aire, el movimiento de los gases y del material a secar es en la misma dirección. La temperatura de los gases a la entrada del secadero puede alcanzar hasta los 600°C, la cantidad de gases necesaria llega hasta 2 m<sup>3</sup>/kg de material de alimentación al secadero y su rendimiento térmico es de un 68,5% para materiales con un 20% de humedad inicial.
- Secaderos flash: El proceso de secado se realiza de forma eficiente, ya que el material está en suspensión en los gases y el intercambio de calor es grande debido a la gran superficie a través de la que se produce. El secador normalmente tiene 1 metro de diámetro y una altura de 24 metros. La pérdida de presión es de unos 30 mbar, lo que equivale a un consumo energético de 2 – 3 kWh/t.



**Figura 1.15 Secado de Tambor**

### **Enfriamiento**

El enfriamiento del clinker influye sobre su estructura, composición mineralógica, molturabilidad (índice de molienda del material) y con ello sobre las propiedades del cemento que con él se fabrique.

El enfriador de parrilla (ver figura 1.16) de vaivén que consiste en una serie de placas de parrilla alternativamente fijas y móviles, se acciona con motores y el número de vaivenes es del orden de 4-17/min.



**Figura 1.16 Enfriador de Parrilla**

## **Molienda de Cemento**

Una vez enfriado el clinker, se dosifica junto al yeso, puzolana y filler caliza de acuerdo al tipo de cemento que se desea producir. El cemento se muele a una finura determinada, para lo que se cuenta con separadores de alta eficiencia de tal forma lograr la finura deseada del producto, que es controlada cada hora y así lograr las resistencias.

Para ello se utilizan los siguientes molinos:

- Prensa de rodillos.
- Molinos verticales de rodillos
- Molinos de bolas. (ver figura 1.17)
- Molinos horizontales de rodillos.



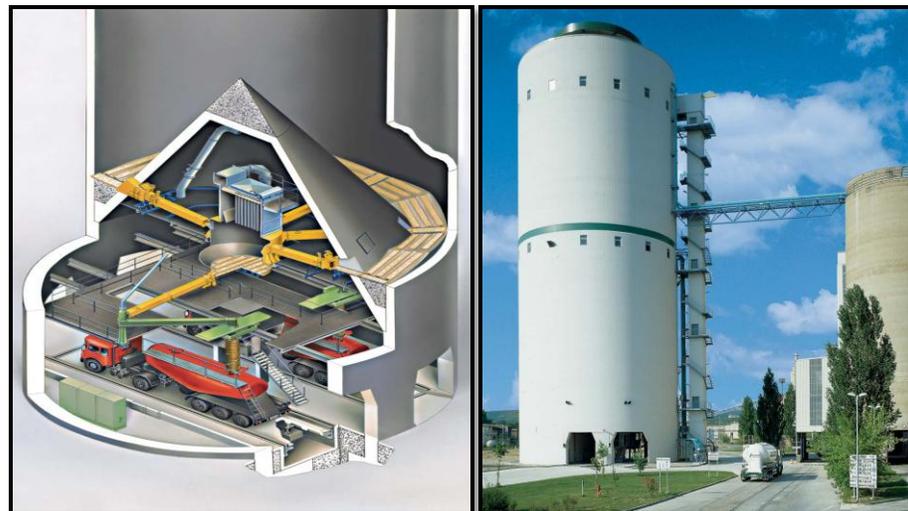
**Figura 1.17 Molino de Bolas.**

## Almacenamiento y Despacho

Los distintos tipos de cemento son transportados hasta los silos de almacenamiento desde donde puede ser despachado a granel o envasado en bolsas.

El cemento es almacenado en grandes silos de cemento que tienen un diámetro entre 10 – 30 m y una capacidad de almacenamiento de hasta 40000 toneladas. Estos silos se pueden clasificar en varios tipos:

- Silo Tangencial
- Silo de fondo plano
- Silo de Fondo Cónico
- Silo multi-celular



**Figura 1.18 Silo Multicelular**

## 1.4. Normas y estándares técnicos

### Emisión de Polvo

La generación de polvo se produce por el almacenamiento, cribado, transporte y trituración de los agregados para la fabricación del cemento, el material particulado suspendido en el aire (PST), esta caracterización se identificaron las principales fuentes de acuerdo a los factores de emisión establecidos por la EPA apartado 42. En la tabla 1.10 se observa en que procesos se genera mayor polución de material.

Proceso	PST (Kg/unidad)	Unidad
Limpieza	1.5	Toneladas de polvo procesado
Descarga	0.5	
Carga	0.15	
Elevador (Superior)	0.75	
Elevador (terminal)	5.11	
Banda	0.85	

**Tabla 1.10 Factores de emisión de material Particulado** <sup>[31]</sup>

### Dispositivos de limpieza de aire

Los ciclones, filtros y ductos deben ser diseñados y seleccionados de acuerdo a la cantidad, calidad y características tanto físicas como químicas del cemento, y las condiciones del flujo de polvo determinarán el tipo de

filtro o colector para cada aplicación. En la tabla 1.11 se puede verificar el rango de partículas atrapadas por los dispositivos.

<b>Equipo</b>	<b>Rango de partículas que atrapa en micras</b>
<b>Precipitadores electrostáticos</b>	0.01 a 90
<b>Filtros de Tela</b>	0.05 a 90
<b>Lavadores de gases</b>	0.05 a 100
<b>Separadores centrífugos</b>	5 a 1000
<b>Cámaras de sedimentación</b>	10 a 10000

**Tabla 1.11 Partículas atrapadas por dispositivos de control**

### Ventiladores

El nivel de ruido para los equipos no deben exceder 85 dbA cuando este es medido a 1.5 m de la fuente en condiciones normales, por lo que se incluirán silenciadores para la disminución del ruido. Todos los ventiladores deben ser dimensionados para motores de 1750 rpm, no deben exceder de los 2000 rpm.

### Bandas transportadoras

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

lubricados, podría causar ignición en el área de trabajo. El deslizamiento entre el tambor y la banda generará calor generará calor y puede resultar en electricidad estática. Un factor de seguridad de alrededor 1.6 debe ser aplicado para la selección de la banda.

#### Elevador de cangilones

Ya que se maneja material abrasivo como lo es el clínker que tiene un índice de abrasividad alta, por lo que se recomienda que el diseño del elevador de cangilones sea de cadenas para aumentar la vida útil del elevador.

#### Tolvas

Las tolvas se deben construirse con materiales resistentes a la abrasión, aumentando la vida útil de la tolva.

### **1.5. Seguridad y medio ambiente**

El cuidado del medio ambiente importa, primero, por la salud de los trabajadores y de la población del lugar, y además porque ayuda a preservar el equilibrio ecológico.

Las emisiones de polvo se controlan mediante cilclonetas, colectores de bolsa y electrofiltros. Las ciclonetas precipitan el polvo y liberan los gases

durante el enfriamiento del clínker. Hay colectores de bolsa en los aereadores, los silos y a lo largo de los deslizadores. Finalmente, los últimos residuos de polvo van a los electrofiltros, que controlan las emisiones de los precalentadores y unidades de molienda.

El control de polvo que resulta del transporte, en las pilas de acopio y caminos de la planta son la causa principal de la degradación de la calidad del aire, la gestión del medio ambiente está regulada por la norma ISO 14001 que ha sido aceptada internacionalmente y es la encargada de gestionar el delicado equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción del impacto medioambiental. Otro punto importante es el control de la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores dentro de la planta, la norma OHSAS 18001 es la norma que ayuda a la organización e identificar, priorizar y gestionar la salud y los riesgos laborales como parte de las prácticas normales de la organización.

En la producción de cemento se tienen concentraciones de polvo contaminantes provenientes de los gases del horno, en la tabla 1.12 se indican la concentraciones de contaminantes provenientes de los gases del horno.

Polvo	20 - 200 mg/Nm <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	500 - 2.000 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	10 - 2.500 mg/Nm <sup>3</sup>
TOC	10 - 100 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	500 - 2.000 mg/Nm <sup>3</sup>
Fluoruro	<5 mg/Nm <sup>3</sup>
Cloruro	<25 mg/Nm <sup>3</sup>
PCDD/F	<0,1 ng/Nm <sup>3</sup>
Metales pesados	
Grupo I: Hg, Cd, Tl	<0,1 mg/Nm <sup>3</sup>
Grupo II: As, Co, Ni, Se, Te.	<0,1 mg/Nm <sup>3</sup>
Grupo III: Pb, Cr, Cu, mn, V, Sn, Zn	<0,1 mg/Nm <sup>3</sup>

**Tabla 1.12 Concentración de contaminantes en los gases** <sup>[32]</sup>

### Dióxido de azufre

El promedio aritmético de la concentración de SO<sub>2</sub> determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de 80µg/m<sup>3</sup>. La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder 350µg/m<sup>3</sup>, más de una vez en un año.

### Óxido de nitrógeno

Según la norma de calidad del ambiente expresa que el promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en todas las muestras en un año, no deberá exceder de 100µg/m<sup>3</sup>. La concentración

máxima en 24 horas no deberá exceder  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  más de dos 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  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que no podrá ser excedido más de dos 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  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder  $40000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  más de una vez en un año.

#### Límites permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión

Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquido, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones y cuya potencia calorífica sea igual o mayor a  $3 \times 10^6 \text{ W}$ . El clínker tiene un poder calorífico aproximado de  $3.2 \text{ MJ}/\text{kg}$ , y en la planta se

calientan 250 ton/h de clínker en los hornos, por lo que se obtiene una potencia calorífica de  $8 \times 10^{11}$  W, por lo que se considera este proceso como una fuente Fija significativa.

En la tabla 1.13 se encuentran los valores máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión.

Contaminante Emitido	Combustible Utilizado	Unidades	Valor
<b>Partículas</b>	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	150
	Gaseoso	<b>No aplicable</b>	<b>No aplicable</b>
<b>Óxidos de Nitrógeno</b>	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	900
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	700
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	500
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	140
<b>Dióxido de Azufre</b>	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	<b>No aplicable</b>
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Gaseoso	<b>No aplicable</b>	<b>No aplicable</b>
<b>Monóxido de Carbono</b>	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	1800
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	300
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	250
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	100

**Tabla 1.13 Límites máximos Permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión** <sup>[33]</sup>

## CAPITULO 2

### **2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PRIMARIOS DEL SISTEMA DE PRE-MOLIENDA DE CLINKER Y ADITIVOS**

#### **2.1. Descripción del sistema de pre-molienda**

El objetivo general del proyecto para la empresa es mejorar los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento gracias a un aumento de producción de mínimo 15% y una reducción del consumo específico en el molino de bolas del mínimo 10% (Kwh/t). El sistema de Pre-molienda (ver figura 2.1) para la producción de cemento puzolánico IP con una capacidad de 150 t/h, deberá preparar la mezcla con 64% de clinker, 25% de puzolana, 7% de caliza y 4% de yeso que van a ser alimentados al molino de bolas con un tamaño de partícula de 4 mm, con el siguiente proceso:

Dosificar la mezcla por medio de bandas de placas metálicas, luego por medio de una banda transportadora de 170 t/h conducir el material hasta el elevador de cangilones, donde se eleva el material hacia el elemento clasificador; donde se clasifica por el tamaño de la partícula mediante una criba vibratoria o equipo similar, con una capacidad de 320 t/h, el material

menor a 4 mm se descargará como producto final al molino de bolas, el material con una granulometría comprendida entre 4 mm a 80 mm se descarga hacia un triturador y el material con un tamaño superior a 80 mm se descargará como rechazo hacia una tolva para otro tratamiento.

Reducción del tamaño de las partículas mediante un triturador, con una capacidad de alimentación de 150 t/h y el producto con un tamaño menor a 4 mm; cuya descarga se alimenta al elemento de transporte hacia el elemento clasificador en un lazo de circuito cerrado.

El proyecto se desarrollará con las siguientes condiciones climáticas y de la zona, como se muestra en la tabla 2.1:

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Altura	2600	msnm
Temperatura Ambiente Promedio	16	°C
Temperatura Ambiente Máxima	25	°C
Humedad ambiente Relativa	60	%
Humedad ambiente Relativa Máxima	80	%
Disponibilidad de aire comprimido	6	Bar
Voltaje a media Tensión	4,16	KV
Voltaje bajo Voltaje	460	V
Frecuencia de la Tensión eléctrica	60	Hz
Voltaje de Control	110	Vac
Voltaje de control DC	24	Vdc
Señales analógicas	4 a 20	mA
Emisiones máximas del filtro	25	mgr/m3
Emisiones de ruido máximas ( a 5 m)	60	dB
Bus de campo para MCC y periferia	PROFIBUS	

**Tabla 2.1 Características de la Zona**

## DIAGRAMA DE FLUJO PRE-MOLIENDA

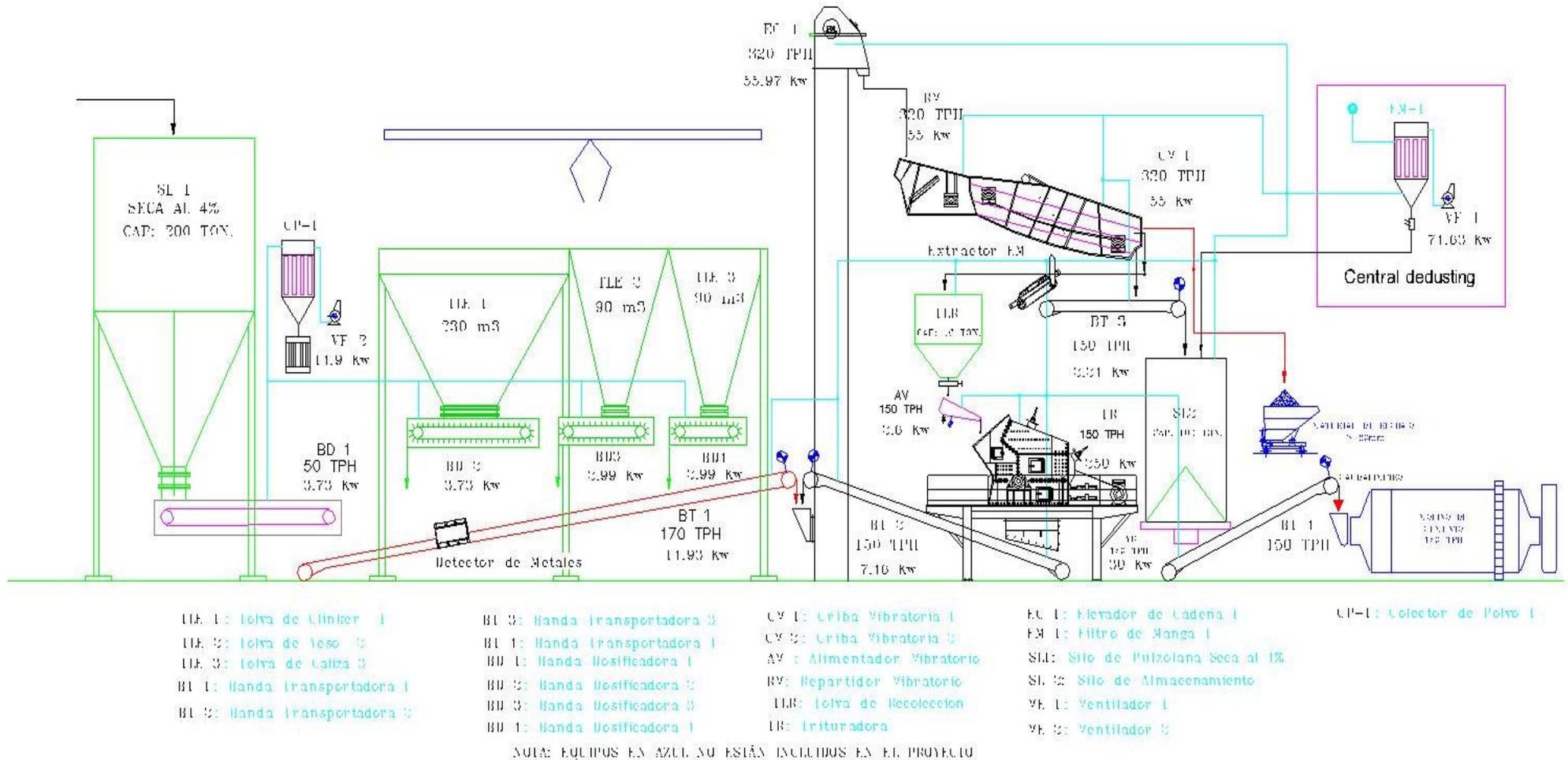


Figura 2.1 Diagrama de Flujo del Sistema de Pre-molienda

## 2.2. Sistemas de transporte

Este sistema está constituido por 4 bandas transportadoras, 4 bandas dosificadoras y un elevador de cangilones, como se puede observar en la figura anterior 2.1 donde se encuentra el diagrama de flujo y la posición de las diferentes bandas y del elevador.

A continuación se determinará las especificaciones técnicas de las bandas transportadoras:

Especificaciones Técnicas	Bandas Transportadoras			
	BT-1	BT-2	BT-3	BT-4
Capacidad	170 t/h	150 t/h	150 t/h	150 t/h
Tambores	Construcción Heavy Duty con recubrimiento de caucho			
Seguridades	Parada de emergencia por cable, sensores de resbalamiento			
Tamaño de Partícula	80 mm	8 - 4 mm	4 mm	4 mm
Material	Clínker, yeso, Caliza, Puzolana			
Densidad del Material	1300 Kg/m <sup>3</sup>			
Longitud entre centros	26 m	10 m	8.5 m	13 m
Inclinación	19°	17°	0°	0°
Temperatura Máxima	80°C	40°C	40°C	40°C

**Tabla 2.2 Especificaciones de las Bandas Transportadoras**

La banda BT-1 (ver tabla 2.2) se mezcla el yeso, la caliza, el clínker y la puzolana con un tamaño de grano de 80 mm, debido a la puzolana natural que proviene de la cantera triturado hasta un tamaño de 80 mm, la densidad especificada es 1300 Kg/m<sup>3</sup> (clínker), se escoge la mayor entre los demás materiales para el diseño, esta banda transporta el material al

elevador de cangilones. Luego está la banda BT-2 que transporta el material ya triturado menor a 4 mm, pero se especifica mayor a 4 mm ya que pueden haber trozos de material que no alcancen a ser triturados a 4 mm, por eso primero tiene que pasar por los clasificadores para verificar el tamaño de grano y dirigirlos a la tolva de almacenamiento, tolva de rechazo o de nuevo a la trituradora. En la tabla 2.2 se encuentra la banda BT-3 que se encarga de transportar el material ya triturado al tamaño requerido menor a 4 mm hacia el silo de almacenamiento y por último se tiene la banda BT-4 (ver tabla 2.2) que es la encargada de transportar el material menor a 4 mm de la tolva de almacenamiento hacia el molino de bolas. Como se puede observar desde la banda BT-2 hasta la banda BT-4 la temperatura del material ha bajado y se lo especifica a 40°C, también se requiere que para todas las bandas sean de construcción “Heavy Duty”, es decir, que las bandas deben ser fabricadas para servicio pesado especialmente en la selección de los tambores y el recubrimiento de caucho de las bandas; también se tiene sistemas de seguridad como parada de emergencia por medio de cables para proteger de los riesgos (fenómenos peligrosos) que puedan causar daño a las personas, a la máquina o a una operación que se esté realizando, también se encuentra los sensores de resbalamiento que detectan si la banda no se adhiere a los

tambores o rodillos y comienza deslizarse entre ellos sin volver a acoplarse, los sensores se activan y detienen la marcha.

El siguiente sistema de transporte es el elevador de cangilones que transporta el material desde la mezcla que es transportada por la banda BT-2 del Hall de clinker (donde se encuentran las materias primas como yeso, clinker, caliza y puzolana) y se lo eleva hasta el edificio de pre-molienda donde cae a un repartidor vibratorio, las especificaciones están dadas en la tabla 2.3 presentada a continuación:

<b>EC-1</b>		
<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Tipo	Elevador de cangilones de cadena	
Capacidad	320	t/h
Temperatura máxima	120	°C
Altura entre centros aproximada	26	metros
Material	Clinker, yeso, Caliza y Puzolana	
Densidad del material alimentado	1300	kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 2.3 Especificaciones Técnicas elevador de cangilones EC-1**

Como se puede observar se trata de un elevador de cangilones de 26 metros que transporta el material mezclado y debe soportar una temperatura de 120°C como máximo, tiene sistemas de seguridad como

sensores de desvío de cadena que detectan si las cadenas del elevador están desalineadas y produzcan un desacople entre la cadena y el tambor motriz o de cola, por lo que este sensor detiene el movimiento, también se tiene sensores de llenado de cangilones que permiten monitorear el llenado total de cada cangilón verificando que este no sobrepase o no se llene totalmente, luego se tiene el sensor de deformación de cangilón para evitar deformaciones y mantener la capacidad original con una descarga eficiente. Se especifica sensor de velocidad cero en la cola y sobre-velocidad en la cabeza que permiten el monitoreo de la velocidad en la cola y en el tambor motriz y evitar el paro del proceso o daño en el motor. Por último se requiere un switch de temperatura de acople ente el motor y reductor y monitorear que trabaje una temperatura óptima.

El último modo de transporte que se tiene son las bandas dosificadoras en las tolvas de clinker, yeso, caliza y puzolana que permiten regular o graduar la cantidad de material hacia la banda BT-1 y así obtener una mezcla proporcionada según los requerimientos del cemento Portland Puzolánico IP, a continuación se presentarán las especificaciones técnicas de las bandas dosificadoras en la tabla 2.4:

Especificaciones Técnicas	Bandas Dosificadoras			
	BD-1	BD-2	BD-3	BD-4
Capacidad	50 t/h	7 - 70 t/h	2 - 40 t/h	3 - 40 t/h
Tamaño de Partícula	7 - 80 mm	7 - 50 mm	2 - 25 mm	5 - 50 mm
Material	Puzolana	Clínker	Yeso	Caliza
Densidad del Material	800 Kg/m <sup>3</sup>	1300 Kg/m <sup>3</sup>	1120 Kg/m <sup>3</sup>	1200 Kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 2.4 Bandas Dosificadoras BD-1; BD-2; BD-3; BD-4**

### 2.3. Diseño y selección de bandas transportadoras

Las bandas transportadoras (ver figura 2.2) son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y conducirlo a otro punto.

Este tipo de transportadoras continuas están constituidas básicamente por una banda sinfín flexible que se desplaza apoyada sobre unos rodillos de giro libre. El desplazamiento de la banda se realiza por la acción de arrastre que le transmite uno de los tambores extremos, generalmente situado en la “cabeza”. Todos los componentes y accesorios del conjunto se disponen sobre un bastidor, casi siempre metálico, que les da soporte y cohesión.



**Figura 2.2 Bandas Transportadoras**

Los sistemas de bandas de transportadoras proporcionan los medios para transportar los materiales con la distancia más corta entre los puntos de carga y descarga, pueden seguir el terreno existente en las inclinaciones de 30 a 35%.

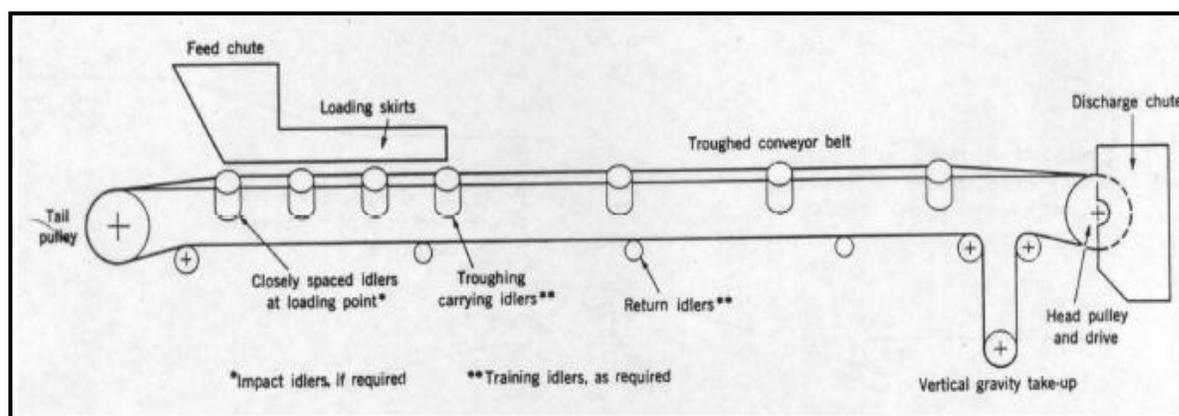
Las características de materiales a granel tales como la densidad, ángulo efectivo de fricción interior, tamaño de trozo y forma, son los factores que indican el ángulo de inclinación máximo , haciendo las cubiertas de faja irregulares se aumentará la capacidad e inclinación con espesores de  $\frac{1}{4}$ " a  $1 \frac{3}{8}$ " en la cubierta superior, los soportes más grandes pueden estar conformadas en caliente o frío unido, o mecánicamente sujetos en la

cubierta superior, estos grandes soporte permiten que el ángulo de transporte aumente aproximadamente  $45^\circ$ .

Los materiales pueden ser desde muy finos, polvo químico, a grandes tamaños, mineral, piedra, carbón o leños de madera aterronadas; las fajas de caucho son muy resistentes a la corrosión y abrasión.

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  $18^\circ$  a  $20^\circ$  y gracias al desarrollo de la tecnología podría tener un máximo de hasta  $45^\circ$ .

Los componentes típicos de una banda transportadora se ilustran en la figura 2.3:



**Figura 2.3 Componentes principales de una Banda Transportadora**

El diseño de las bandas transportadoras se lo realizará por medio del manual CEMA para bandas transportadoras, también con la ayuda del manual GOOD YEAR y FENNER DUNLOP se seleccionará algunas partes de las bandas transportadoras, y los otros accesorios que las constituyen.

### **Diseño y Selección de Banda Transportadora BT-1**

Para comenzar el diseño se debe empezar con la apreciación exacta de las características del material a transportar. Se tiene las siguientes características importantes:

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

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

	<b>Características del Material</b>	<b>Código</b>
<b>Tamaño</b>	Muy Fino: hasta la malla 100	A
	Fino: hasta 1/8"	B
	Granular: hasta 1/2"	C
	Irregular: Fibrosos, que se pueden atorar, enredado	D
<b>Fluidez, Ángulo de reposo</b>	Fluidez muy bueno - Ángulo de reposo menor a 19°	1
	Fluidez buena: Ángulo de reposo entre 20 a 29°	2
	Fluidez promedio - Ángulo de reposo entre 30 a 39°	3
	Ángulo de reposo entre 40° y más	4
<b>Abrasividad</b>	No abrasivo	5
	Abrasivo	6
	Muy Abrasivo	7
	Muy Afilado: corta o deshace la cubierta de la Faja	8
<b>Características variadas</b>	Muy Polvoriento	L
	Aireado o que se desarrolla propiedades de fluido	M
	Contiene polvo explosivo	N
	Contaminable, afecta su uso o venta	P
	Degradable, afecta su uso o venta	Q
	Altamente Corrosivo	S
	Medio Corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Que se atora	V
	Presenta aceites o químicos que pueden afectar el caucho	W
	Empacado bajo presión	X
	Muy liviano y puede dispersarse con el viento	Y
Temperatura Elevada	Z	

**Tabla 2.5 Descripción de la clasificación de los materiales**

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

En el apéndice B se puede determinar el tipo de material que es el Cemento-Clínker con el código D37, el significado se puede observar en la tabla 2.5 donde se tiene que el tamaño es mayor a 12 mm, con fluidez promedio y ángulo de reposo entre 30° a 39°, con una abrasividad alta.

Entonces las características del material que se puede observar en la tabla 2.6, donde se tiene una densidad de 1300 kg/m<sup>3</sup> con un ángulo de reposo de 36° y un ángulo de sobrecarga de 15°, con una inclinación de la banda de 19°, la temperatura ambiente de 25°C, muy abrasivo, fluidez promedio y tamaño de grano mayor a 80 mm.

Densidad Aparente	kg/m <sup>3</sup>	1300
Material		Clínker, Yeso, Caliza y Puzolana
Ángulo de Reposo	°	36°
Ángulo de Sobrecarga	°	15°
Inclinación de la Banda	°	19°
Temperatura Ambiente	°C	25°C
Abrasividad	-	Muy abrasivo
Fluidez	-	Promedio
Tamaño de grano	mm	>80

**Tabla 2.6 Características del material para la banda BT-1**

### Ancho de banda

El ancho de banda están normalizados por la mayoría de fabricantes de bandas transportadoras como sigue: 18, 24, 26, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 72, 84, y 96 pulgadas.<sup>[34]</sup>

Las bandas deben ser lo bastante anchas para que cualquier combinación de trozos comunes y el material más fino, no haga que los trozos estén demasiado cerca del borde de las bandas transportadoras.

Existe una relación empírica entre el tamaño del trozo y el ancho de banda. Hay varias maneras de determinar el ancho de banda para un tamaño de trozo específico.

En el apéndice C se puede seleccionar el ancho de banda según el tamaño de partícula, que puede ser mayor a 80 mm, teniendo como máximo 100 mm, que tiene un ancho mínimo de 500 mm, debido a la combinación de trozos escogemos 750 mm que equivale a 30 in.

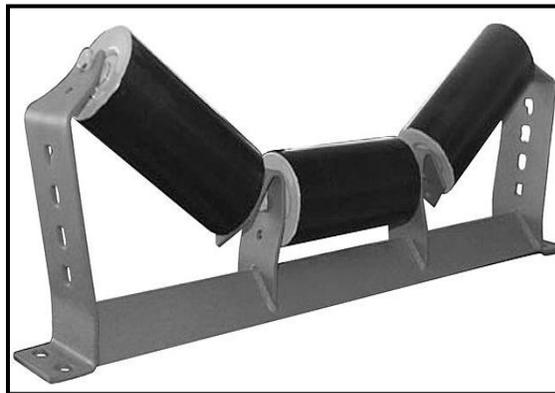
### Velocidad de banda

Como se puede observar en el apéndice D, que para un ancho de banda de 750 mm, debido a que el clinker es muy abrasivo y además se transporta minerales relativamente duros con filos cortantes se deben

transportar a velocidades moderadas, se tiene una velocidad de 2.75m/s recomendadas, y se selecciona una velocidad de 1.25 m/s para disminuir el desgaste de la banda y cantidad de polvo en el ambiente.

#### Tipo de rodillo superior

Se tiene rodillos tipo Terna con un ángulo de inclinación de 35°, que es el ángulo más común ya que proporcionan la mayor capacidad de transporte para un ancho dado.



**Figura 2.4 Rodillo de transporte superior tipo Terna de 35° de inclinación.**

#### Capacidad máxima calculada

Con la ecuación 2.1 se puede calcular la capacidad máxima que puede transportar la banda como se muestra a continuación:

$$TPH = \frac{\text{Capacidad} \times \text{Densidad} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{Factor de Cap.} \times \text{Velocidad de banda} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{1000} \text{ ec. 2.1}$$

$$TPH = \frac{(268)(1300)(0.92)(1.25)}{1000} = 400 \text{ Ton/h}$$

Capacidad: (apéndice E); Factor de Capacidad (apéndice F)

#### Peso de la banda

En el apéndice G se selecciona el peso de la banda por metro de faja por medio del ancho de banda y el servicio que presta, es de 10.5 kg/m para el ancho de 750 mm y servicio mediano.

#### Espaciamiento entre rodillos

Se tiene que el espaciamiento entre rodillos superiores es de 1200 mm y el espaciamiento entre los rodillos inferiores es de 3000 mm para un ancho de banda de 750 mm como se puede apreciar en el apéndice H.

#### Selección de rodillos

Por medio del apéndice I se selecciona el tipo de rodillos por medio de la clasificación CEMA para un ancho de banda de 30 in, que en este caso puede ser CEMA C o D para carga mediana, y con diámetros de 5" o 6", los rodillos inferiores serán planos con inclinación de 0° como se muestra en la figura 2.5:



**Figura 2.5 Rodillo de transporte inferior con inclinación 0°**

Se selecciona los rodillos CEMA tipo C5 de 5" (127 mm) para los rodillos superiores y los inferiores.

#### Capacidad de carga de rodillos

En el apéndice J se determina la capacidad de carga que soportan los rodillos CEMA tipo C tanto superiores como inferiores, para los rodillos superiores tienen un valor de carga de 900 lbs (409.1 kg) mientras que los rodillos inferiores tienen 250 lbs (113.64 kg).

#### Peso de los rodillos

El peso de las partes rotatorias, de los rodillos superiores e inferiores se los puede determinar en el apéndice K, para los rodillos CEMA tipo C5 superiores se tiene 26.8 lbs (12.18 kg) y para los rodillos inferiores se tiene 24 lbs (10.9 kg).

### Características de los rodillos seleccionados

Para resumir todas las características mencionadas anteriormente se las puede observar en la tabla 2.7, las características de los rodillos superiores e inferiores seleccionados:

<b>Rodillo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
<b>Clase</b>		CEMA C	CEMA C
<b>Tipo</b>		Terna (iguales)	plano
<b>Ángulo</b>	°	35°	0°
<b>Diámetro</b>	in	5	5
<b>Espaciamiento</b>	mm	1200	3000
<b>Cantidad</b>		25	10
<b>Carga</b>	lbs	900	250
<b>Velocidad</b>	RPM	188	188
<b>Diámetro del eje</b>	in	3/4	3/4
<b>material del eje</b>		Acero Macizo	Acero Macizo
<b>Capacidad dinámica de carga</b>	kN	21.2	21.2
<b>Rodamientos</b>		Bolas 6305ZZ (con tapas)	Bolas 6305ZZ (con tapas)

**Tabla 2.7 Características de los rodillos superiores e inferiores banda BT-1**

### Coeficiente de fricción por longitud y las partes giratorias

En el apéndice Ñ se encuentra el coeficiente de fricción C producido por las fuerzas de fricción en los cojinetes de los tambores, fricción de los rascadores, inercia de los tambores, etc, se agrupan en lo que se denominan resistencias secundarias, para una banda de 26 m de longitud se tiene un factor de 2.9.

### Coeficiente de fricción en las partes giratorias

La fricción producida por las partes giratorias en función de las condiciones de operación, mantenimiento y estanqueidad se pueden observar en el apéndice Ñ, que para condiciones con ambiente normal de trabajo se tiene 0.02.

### **Cálculo de Fuerzas según DIN 22101**

En el apéndice M se realiza los cálculos para determinar las diversas fuerzas de fricción individuales que actúan en la faja transportadora y que contribuyen a la tensión requerida para el accionamiento de la faja mediante la polea motriz. También hay que determinar la forma de la banda como se puede apreciar en la figura 2.6.



**Figura 2.6 Esquema de Banda BT-1**

En la tabla 2.8 se tiene las fuerzas que actúan en la banda transportadora.

Fuerza	Newton
Fuerza para mover la banda en vacío y sus componentes móviles	500.96
Fuerza para desplazar el material horizontalmente	1279.6
Fuerza para elevar el material	3976.32

**Tabla 2.8 Fuerzas que actúan en BT-1**

### **Cálculo de Tensiones y Potencia**

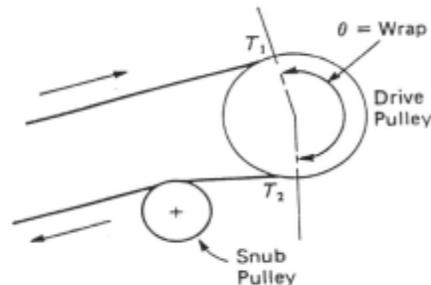
Para el cálculo de las tensiones que se presentan en el apéndice M se requieren los siguientes parámetros:

### Coeficiente de fricción entre el tambor y la banda

El coeficiente de fricción tambor-banda con un tambor revestido y seco es de 0.4.

### Factor de arrollamiento $C_w$

Es un factor que depende del ángulo de arrollamiento (ver figura 2.7), este ángulo es la faja que envuelve la polea motriz, este factor es necesario para proporcionar la suficiente tensión en el lado flojo para accionar el transportador.



**Figura 2.7 Arco de Contacto**

Se asume un ángulo de contacto de  $220^\circ$ , el factor de arrollamiento <sup>[35]</sup> para un ángulo de  $220^\circ$  polea recubierta con tensor manual es de 0.6.

### Porcentaje de flecha

Para un ángulo de rodillo abarquillado de  $35^\circ$  y el tipo de material se obtiene un 2% de flecha, este valor sirve para obtener la tensión mínima ( $T_o$ ) requerida para accionar la faja sin el derramamiento del producto.

En el apéndice M se demuestra los cálculos de las tensiones en la banda transportadora, a continuación en la tabla 2.9 se presentan los resultados:

<b>Tensión</b>	<b>Newton</b>
Tensión Efectiva	8000
Tensión en el lado apretado T1	12320
Tensión en el lado flojo T2	4445
Tensión en el retorno T3	4750
Tensión en el contrapeso T <sub>cp</sub>	9500
Tensión mínima para evitar el pandeo	3569
Tensión en la parte curva T <sub>x</sub>	4772
Tensión unitaria T <sub>u</sub> (N/mm)	16.6

**Tabla 2.9 Tensiones de la banda BT-1**

### Eficiencias mecánicas de reductores de velocidad

En el apéndice L se encuentran las eficiencias mecánicas de los reductores de velocidad según CEMA, se utilizará reductor de engranajes helicoidales de doble reducción con una eficiencia mecánica de 94%.

### Eficiencia del motor

La eficiencias de los motores eléctricos normalmente están entre un rango de 90 al 95%, se selecciona 95%.

### **Selección del Motor**

Con los datos anteriores se seleccionará el motor, con ayuda de las ecuaciones 2.2 y 2.3 que se definen a continuación:

Potencia de la cinta:

$$P = \frac{(F_1 + F_2 + F_3)v}{1000} + P_s + P_a \quad ec. 2.2$$

Potencia de la polea motriz:

$$P_m = \frac{P}{n} \quad ec. 2.3$$

De la ecuación 2.2 se tiene:

$$P = \frac{(500.96 + 1279.7 + 3976.32)1.25}{1000} + 2,4 + 0 = 10 \text{ kW}$$

Pérdidas por reductor es de 6%, con la ecuación 2.4:

$$Pot_r = 0,06(P) \quad ec. 2.4$$

$$Pot_r = 0,06(10) = 0.60 \text{ kW}$$

Potencia en el eje del motor, de la ecuación 2.3 se tiene:

$$P_m = \frac{10 + 0.60}{0.95} = 11.2 \text{ kW}$$

Se obtiene el valor de 15.1 hp requeridos, se escoge motor de 20 hp a 1800 rpm marca ABB, en la tabla 2.10 se encuentran las características del motor y en el apéndice O se encuentran las dimensiones del motor con Frame según IEC 160L.

<b>Motor eléctrico ABB IEC 160L</b>		
<b>Tipo</b>	-	M2QA160L4A
<b>Velocidad</b>	RPM	1755
<b>Eficiencia</b>	%	91,6
<b>Factor de Servicio</b>	-	1,15
<b>Corriente nominal</b>	A	23,9
<b>Voltaje</b>	V	440
<b>Torque nominal</b>	Nm	81
<b>Momento de inercia</b>	Kgm <sup>2</sup>	0,09349
<b>Peso</b>	Kg	137
<b>Ruido</b>	dBA	69

**Tabla 2.10 Características del motor ABB IEC 160L para BT-1**

### **Selección de la Faja**

Se tiene que la tensión de la banda o tensión unitaria mínima es de 16,6 N/mm, por lo que se escoge el mayor que tiene una resistencia de 50 N/mm, en el apéndice N se tiene que para un ancho de correa de 30 in y

para 16.6 N/mm y 35° de ángulo de abarquillamiento se requiere 5 pliegues máximo, se escoge 4 Pliegues resistente a la abrasión, cubierta grado 1 (designación CEMA) para resistir grandes trozos de minerales, materiales de bordes cortantes, servicio extremadamente fuerte. El empalme es vulcanizado en caliente para esfuerzos de uso más alto y gran tiempo de servicio.

Los tejidos de la faja son de poliéster-poliamida EP, poliéster en la urdimbre y poliamida en la trama. Esta combinación produce alta resistencia en proporción al peso, alta resistencia al impacto, elongación despreciable, gran flexibilidad y excelente adaptación a la artesa.

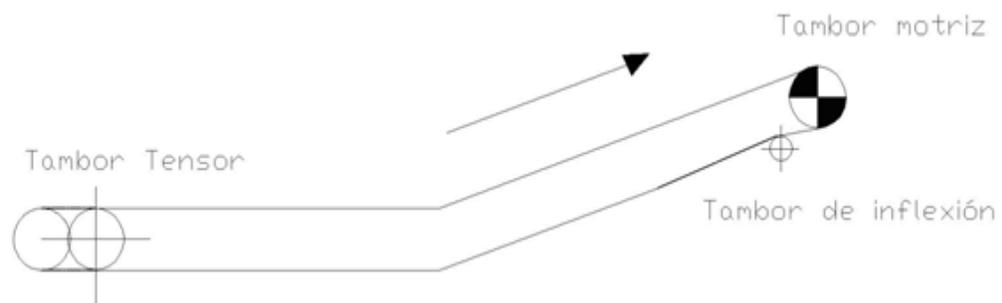
En la tabla 2.11 se presentan las características de la banda EP 500 / 4:

<b>BANDA EP 500 / 4</b>		
<b>Resistencia</b>	N/mm	50
<b>Espesor de cubierta superior</b>	mm	4
<b>Espesor de cubierta inferior</b>	mm	2
<b>Espesor Total de la cubierta</b>	mm	9,8
<b>Peso aprox. De la Cubierta</b>	kg/m <sup>2</sup>	11,6
<b>Espesor de Carcasa</b>	mm	4,5
<b>Peso aprox. De la Carcasa</b>	Kg/m <sup>2</sup>	6,4
<b>Peso de la Banda</b>	kg/m <sup>2</sup>	18
<b>Peso total de la faja</b>	kg	756
<b>Índice de Impacto</b>	Lb-pulg	5400
<b>Espesor total</b>	mm	14.7
<b>Clasificación de Cubierta</b>	Norma DIN	Y

**Tabla 2.11 Características técnicas de la faja para BT-1<sup>[47]</sup>**

## Selección de los Tambores

La Banda Transportadora BT-1 está constituida por una Polea Motriz, Polea de contrapeso y Polea de Contacto como se muestra en la figura 2.8:



**Figura 2.8 Disposición de Tambores para la banda BT-1**

Con la ecuación 2.5 <sup>[36]</sup> se puede determinar el ancho de cara mínimo de todos los tambores como se muestra a continuación:

$$P_f = B + 2 \text{ ec. 2.5}$$

Donde:

B= Ancho de banda.

$$P_f = 30 + 2 = 32 \text{ in.}$$

Por consiguiente se selecciona el ancho de cara de 36 in.

### Distancia entre apoyo de los tambores

En el apéndice P se encuentran las distancias recomendadas entre soportes de los tambores que es de 1370 mm tambor motriz, cola y contrapeso, y 1140 mm para los desviadores y de contacto.

### Material del eje

CEMA recomienda que el material del eje pueda ser de acero AISI C1018 o C1045, se selecciona el C1045 que es el más comercial y tiene un esfuerzo de fluencia de 45000 PSI (310 MPa), esfuerzo máximo de 81900 PSI (565 MPa).

### Selección de las poleas

El diámetro de las poleas, debe ser lo suficientemente grande, para prevenir la separación de las capas de la banda y el esfuerzo excesivo en estas, cuando la banda pasa alrededor de las poleas, mientras que las poleas requieren más espacio y un mayor par, y las relaciones de velocidad del reductor. Con la ecuación 2.6 se tiene la carga nominal con la que se ingresa al apéndice Q.

$$k_A = \frac{T_{max}S}{B * k_N} \quad ec. 2.6$$

Donde:

$T_{\max}$  = Tensión máxima 14069 N

S = Factor de seguridad 1.5

B = ancho de banda 750 mm

$K_N$  = resistencia 50 N/mm

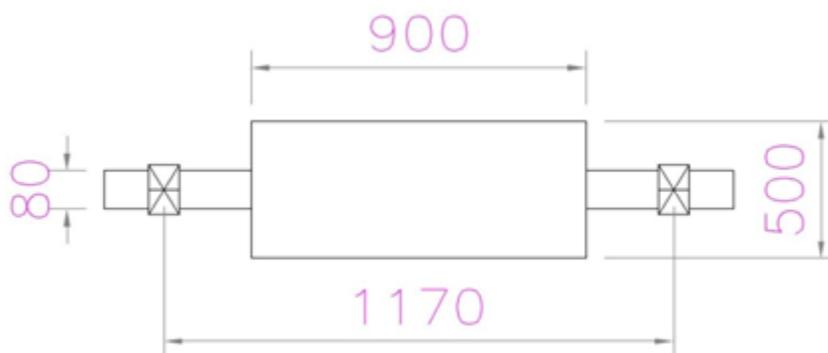
$$k_A = \frac{14069 * 1.5}{750 * 50} * 100 = 56\%$$

En el apéndice Q se muestran los diámetros de los tambores mínimos que se deben utilizar según el tipo de faja y % de utilización nominal de servicio. Se tiene las poleas de 400 para la motriz, 315 para desviadores, contrapeso y cola, 250 para la de contacto, se recomienda aumentar una talla a las poleas mencionadas. En la tabla 2.12 se puede observar las características técnicas de los tambores, mientras que en el apéndice R se encuentra los cálculos de la fuerza resultante, diámetro del eje (norma CEMA - ANSI 105.1 ) y la capacidad de carga de los rodamientos. En el apéndice S se encuentra que la vida de cojinetes para máquinas de servicio de 8 horas es de 30000 horas.

Tambores	Motriz	Cola (Tensor)	Contacto
Ancho de cara (mm)	900	900	900
Diámetro (mm)	500	400	315
Distancia entre apoyos (mm)	1170	1170	990
Fuerza Resultante (kN)	17.81	10.26	2.55
Ángulo de Contacto °	220	180	30
Peso del Tambor (kN)	1.21	0.87	0.71
Material del eje	AISI C1045	AISI C1045	AISI C1045
Diámetro del eje (mm)	80	70	40
Capacidad de Carga del rodamiento (kN)	69.13	44.21	5.74

**Tabla 2.12 Descripción de las Características Técnicas de los Tambores para la banda BT-1**

A continuación se encuentra las dimensiones del tambor motriz en la figura 2.9.



**Figura 2.9 Dimensiones del tambor motriz para la banda BT-1**

### Trayectoria del Material

Para verificar cómo es la trayectoria del material en la zona de descarga se utiliza la ecuación 2.7:

$$\frac{V^2}{g \cdot r} = \cos \gamma \quad \text{ec. 2.7}$$

Donde:

V = Velocidad de la banda de 1.25 m/s.

G = Gravedad 9.8 m/s<sup>2</sup>

r = Radio de Curvatura m dado por:

$$r = a_1 + h + Rp$$

Donde  $a_1$  están en el apéndice T para ternas de 35° y ángulo de sobrecarga de 15°, y Rp es el radio del tambor motriz, mas h que es el espesor de banda.

Se tiene que:

$$r = 0.58 + 1.4 + 9.84 = 11.82" = 300 \text{ mm}$$

De la ecuación 2.7 se tiene :

$$\frac{V^2}{g \cdot r} = \frac{(1.25)^2}{9.8 * 0.3} = 0.53$$

Mientras que el ángulo de inclinación es 19° se tiene que el  $\cos 19^\circ = 0.946$ , por lo que 0.946 es mayor que 0.53 por lo que el material viajará

parcialmente alrededor de la polea motriz, una distancia angular  $\gamma$ , con un radio de curvatura de 300 mm, entonces el ángulo de descarga es:

$$\gamma = \cos^{-1} 0.53 = 57.9^\circ$$

Para intervalos de tiempo de 0.05 segundos se obtiene las coordenadas X y Y como se muestra a continuación:

$$X = vt \text{ ec. 2.8}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} \text{ ec. 2.9}$$

$$X = 1.25 * 0.05 = 62.5 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.05^2}{2} = 12.25 \text{ mm}$$

$$X = 1.25 * 0.1 = 125 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.1^2}{2} = 49 \text{ mm}$$

$$X = 1.25 * 0.15 = 187.5 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.15^2}{2} = 110.25 \text{ mm}$$

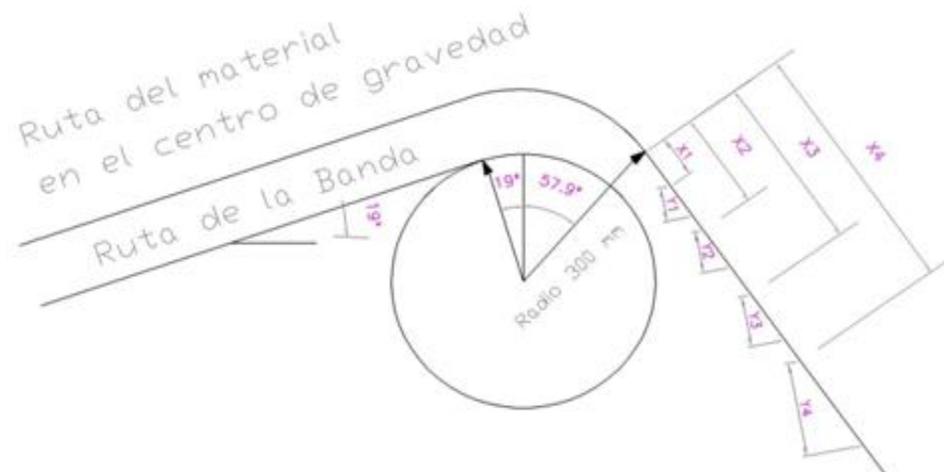
$$X = 1.25 * 0.2 = 250 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.2^2}{2} = 196 \text{ mm}$$

$$X = 1.25 * 0.25 = 312.5 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.25^2}{2} = 306.25 \text{ mm}$$

En la figura 2.10 se encuentra la trayectoria del material de descarga de la banda.



**Figura 2.10 Trayectoria del material en la descarga para BT-1**

Para calcular la fuerza centrífuga que actúa en la descarga se verifica con la ecuación 2.10:

$$F_c = \frac{M_{PM} * V}{g * r} \quad ec. 2.10$$

Donde:

$M_{PM}$  = Carga de del material por metro de banda 38 kg/m

$V$  = Velocidad de la Banda m/s.

$R$  = radio del centro de gravedad.

$$F_c = \frac{38 * 1.25}{9.81 * 0.3} = 16.1 \text{ N/m}$$

### Tensión y Radio en la Curva de la Banda

Se tiene una tensión en la sección curva de 4772 N, ahora para calcular el radio de curvatura de transición de horizontal a inclinado se tiene la ecuación 2.11:

$$R = \frac{0.204 * T_o}{G_b} \quad ec. 2.11$$

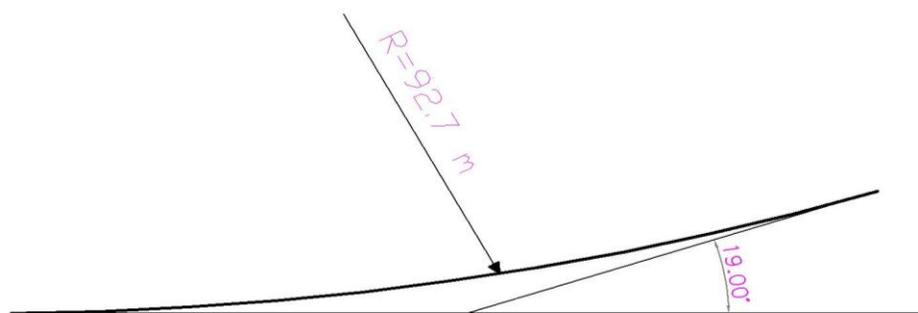
Donde:

$T_o$  = Tensión en la parte curva, N

$G_b$  = Peso de la banda (Kg/m).

$$R = \frac{0.204 * T_o}{G_b} = \frac{0.204 * 4772}{10.5} = 92.7 \text{ m}$$

Donde la distancia horizontal es:



**Figura 2.11 Radio de Transición de la parte curva para la banda BT-1**

### **Selección del Acople para BT-1**

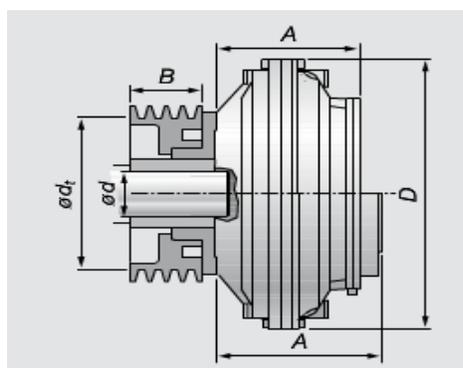
Gracias al avance de la tecnología se ha logrado diseñar un acoplamiento hidrodinámico que posibilita el arranque gradual de una máquina, que sigue el principio de Föttinger en el cual la transmisión hidrodinámica entre dos rotores de turbina enfrentados, conductor y conducido dentro de la cámara la energía es transmitida hidrodinámicamente por un toroide de aceite hidráulico en rotación impulsado por la turbina. <sup>[37]</sup>

Este dispositivo permite una suave aceleración de grandes masas inerciales con motores eléctricos, transmisión libre de desgaste, arranque del motor sin carga, amortiguamiento efectivo de choques, oscilaciones de carga y rotativas, eliminación de la necesidad del sobredimensionamiento del momento rotor de arranque del motor. <sup>[38]</sup>

El acople es marca Voith tipo TVRI con polea incluida, con 900 RPM y 20 hp se ingresa al apéndice U y se escoge el 487 TVRI <sup>[39]</sup>, se muestran dimensiones y características en la tabla 2.13 y la figura 2.12:

Número	Tipo	A	D	Bmax	d1 max	d2 max	Peso [kg]
		[mm]					
206	TRI	97	248	70	116	42	9
206	DTRI	137	248	70	116	42	12
274	TRI	137	328	100	150	55	25
274	TVRI	172	328	100	150	55	26
274	DTRI	175	328	135	165	60	33
274	DTVRI	242	328	135	165	60	38
366	TRI	198	424	145	160	65	47
366	TVRI	225	424	145	160	65	51
422	TRI	205	470	160	182	70	74
422	TVRI	258	470	160	182	70	76
487	TRI	246	556	201	233	90	110
487	TVRI	297	556	201	233	90	112
562	TRI	269	634	294	265	100	173
562	TVRI	333	634	294	265	100	175
650	TRI	317	740	-	423	105	256
650	TVRI	384	740	-	423	105	261

**Tabla 2.13 Dimensiones del acople Hidrodinámico para BT-1**



**Figura 2.12 Acople Hidrodinámico para BT-1**

Como se puede observar en la figura 2.12 tiene incorporado una polea para reducción o aumento de velocidad.

### Selección de la Caja Reductora para BT-1

Se seleccionará una caja reductora marca REXNORD <sup>[40]</sup> que debe reducir los RPM del motor que es de 1800 RPM a la velocidad circular requerida del tambor motriz para que la banda tenga una velocidad de 1.25 m/s como se presenta a continuación:

$$\omega_t = \frac{V_t * 60}{2\pi * r_t} \quad ec. 2.12$$

En donde:

$V_t$  = La velocidad de la banda de 1.25 m/s

$R_t$  = Radio del tambor motriz más el espesor de la banda, 265mm.

$$\omega_t = \frac{V_t * 60}{2\pi * r_t} = \frac{1.25 * 60}{2\pi * 0.265} = 45.05 \text{ RPM}$$

Para seleccionar el reductor apropiado se debe calcular el radio de transmisión:

$$i_N = \frac{n_1}{n_2} \quad ec. 2.13$$

Donde:

$N_1$  = RPM de entrada del motor.

N2 = RPM de salida requerido de la banda transportadora.

$$i_N = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1800}{46} = 39.13$$

Con la velocidad de salida de 46 RPM se ingresa al apéndice V y verificando el factor de servicio de 1.5, para un motor de 20 hp se tiene el modelo 09UWBQ2A25.0A\_E con número de parte 4760943, con una velocidad de salida de 68 RPM.

Tipo	A	B	C	E	F	H	
9 (Dimensiones en in)	11	3.35	4.92	6.97	1.02	M24X3	
	J	K	L	M	P	Q	
	4.53	4.72	7.68	2.66	6.65	1.57	
	V	X	XA	YA	U	HD	
	1.57	6.2	6.4	5.71	2.75	1.77	
	Chaveta						R
	.63x.29x11.82						6

Tabla 2.14 Dimensiones del Reductor para BT-1

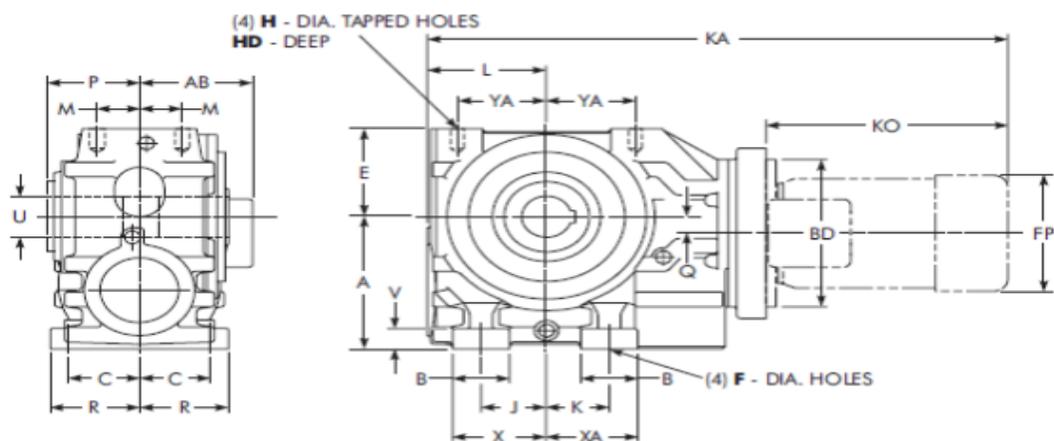


Figura 2.13 Esquema del Reductor para BT-1

## Selección del Sistema Backstop

Este reductor también tiene incorporado un sistema Backstop que permite la rotación del sistema en un solo sentido durante la operación, en la figura 2.14 se muestra un esquema del backstop.

Se lo selecciona determinando el torque como se muestra en la ecuación 2.14:

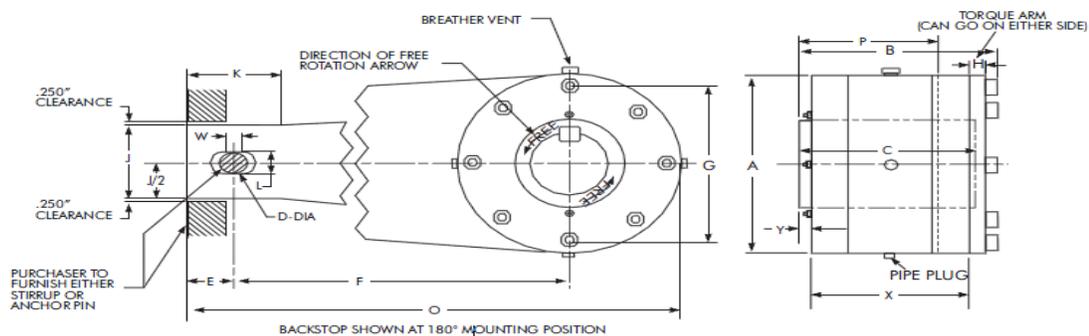
$$T_s = \frac{(\text{hp motor}) * 5250}{\text{RPM}} \quad \text{ec. 2.14}$$

Donde:

hp motor = Son los 20 hp del motor eléctrico.

RPM = Son los RPM de la polea motriz de 46 RPM.

$$T_s = \frac{(20) * 5250}{46} = 2283 \text{ lb} - \text{ft}$$



**Figura 2.14 Dispositivo Backstop para BT-1**

En el apéndice X se selecciona el modelo 1055, donde también se encuentra las dimensiones del mismo.

### **Selección de Poleas para BT-1**

Debido a que se tiene una velocidad de salida del reductor de 68 RPM, y son necesarias 46 RPM, se deben colocar poleas para reducir la velocidad, se tiene que:

$$r_s = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{68}{46} = 1.48 \text{ ec. 2.15}$$

Para una máquina de servicio continuo según el catálogo Martin <sup>[41]</sup>, se tiene un factor de 1.3. Por lo que la potencia de diseño es  $1.3 \times 20 = 26$  Hp, con una velocidad de 1750 RPM se ingresa al apéndice Y, se tiene una sección transversal de correa 3V.

Luego en el apéndice Y con una potencia de diseño de 26 hp y 1750 RPM, se tiene un diámetro de 5.3" entonces se tiene que el diámetro de la otra polea es:

$$D_s = 5.3 * 1.48 = 7.84" \cong 8"$$

Se calcula el número de ranuras que debe tener la polea con la siguiente ecuación <sup>[42]</sup>:

$$z \geq \frac{PC_2}{P_N C_1 C_3} \text{ ec. 2.16}$$

Donde:

$z$  = El número de ranuras de la polea

$P$  = Potencia del motor eléctrico 14.93 kW

$P_N$  = Potencia nominal para longitud desarrollada de 1600 mm. 4.88kW.

$C_2$  = Factor de 1.3 para máquinas de servicio continuo

$C_1$  = Factor de 1 para ángulo de contacto de 180°.

$C_3$  = Para una distancia entre centros de 800 mm, se tiene un factor de desarrollo de 1.03

$$z \geq \frac{14.93 * 1.3}{4.88 * 1 * 1.03} = 3.8$$

Se escogen poleas de 4 ranuras de 1 29/32 in de ranura, en el apéndice Y se tiene para la polea 8" el tipo de polea 43V500SK, para la polea 5.3" se tiene el tipo de polea 43V530SDS.

### **Selección de Limpiador para la Polea Motriz en BT-1**

Se coloca contra el tambor motriz en dirección contraria a la velocidad de la banda inmediatamente debajo de la descarga del material como se muestra en la figura 2.15. Debido a que el clinker es abrasivo la banda se debe limpiar constantemente para evitar el desgaste y así aumentar la vida útil de la banda.



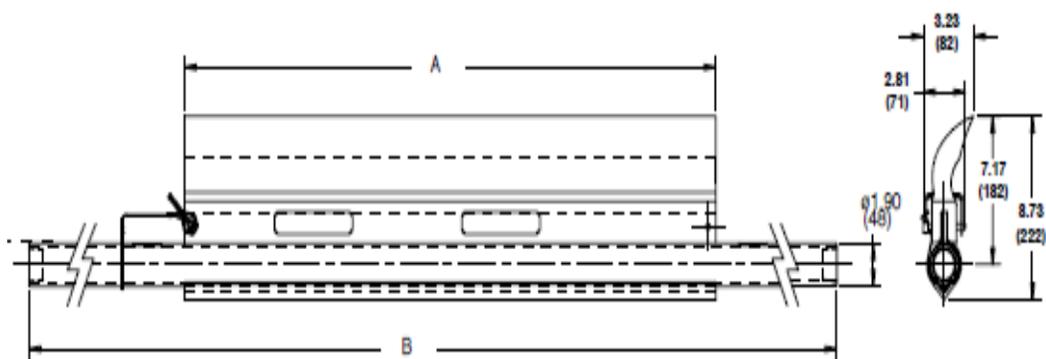
**Figura 2.15 Limpiador de Bandas Transportadoras**

La marca del limpiador es MARTIN <sup>[43]</sup>, del modelo PIT VIPER de color verde (Green) hecho de uretano resistente a altas temperaturas y a la abrasividad, en la tabla 2.15 se escoge el limpiador por medio del ancho de banda.

El limpiador especificado tiene el código PV1S30XX2811GRPC, de hoja sólida color verde para materiales abrasivos, sistema tensionador “Twist” de cable resorte, en la figura 2.16 se puede ver un esquema del limpiador seleccionado.

P/N	Ancho de Banda in	A in	B in	Peso Kg
PV1S-18XX12XXXX	18	12	48	10
PV1S-18XX16XXXX	18	16	48	10.5
PV1S-24XX18XXXX	24	18	54	12
PV1S-24XX22XXXX	24	22	54	13
PV1S-30XX24XXXX	30	24	60	14.5
PV1S-30XX28XXXX	30	28	60	15
PV1S-36XX30XXXX	36	30	66	17
PV1S-36XX34XXXX	36	34	66	17
PV1S-42XX36XXXX	42	36	72	19
PV1S-42XX40XXXX	42	40	72	20
PV1S-48XX42XXXX	48	42	78	21
PV1S-48XX46XXXX	48	46	78	22
PV1S-54XX48XXXX	54	48	84	23.5
PV1S-54XX52XXXX	54	52	84	24
PV1S-60XX54XXXX	60	54	90	25
PV1S-60XX54XXXX	60	58	90	26
PV1S-72XX66XXXX	72	66	102	30
PV1S-72XX70XXXX	72	70	102	31

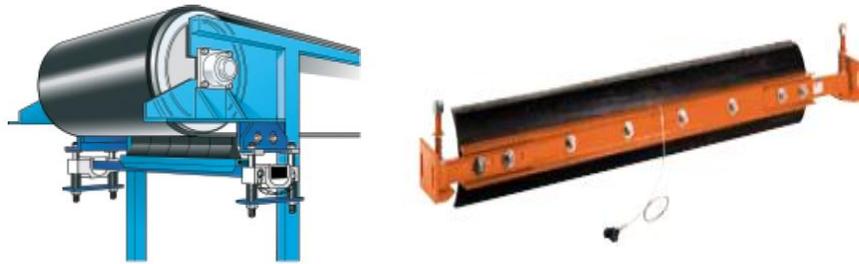
**Tabla 2.15 Limpiadores PIT VIPER MARTIN**



**Figura 2.16 Limpiador PV1S30XX2811GRPC**

### Selección del Limpiador de Cola para BT-1

Para reducir las paradas de mantenimiento y prolongar el máximo de la vida útil de la cinta, disminuir más la acumulación de materiales en la polea de cola y debido a que este material es muy abrasivo, se tiene la necesidad de colocar el limpiador de cola para aumentar la vida útil de la cinta. En la tabla 2.16 se selecciona entrando con el ancho de banda y el es modelo DURT DOZER tipo 33600-30 como se muestra en la figura 2.17



**Figura 2.17 Limpiador de Cola para BT-1**

Ancho de Banda in	Tipo de limpiador de cola P/N	Peso kg	Tipo de Hoja reemplazable	Peso de la hoja kg
18	33600-18	20.4	33610-18	4.1
24	33600-24	24.5	33610-24	4.9
30	33600-30	27.2	33610-30	6.4
36	33600-36	29.9	33610-36	7.2
42	33600-42	33.1	33610-42	8.2
48	33600-48	36.3	33610-48	9.5
54	33600-54	39	33610-54	10.4
60	33600-60	42.2	33610-60	11.8
72	33600-72	48.1	33610-72	14.1
84	33600-84	53.9	33610-84	16.3
96	33600-96	59.8	33610-96	18.6

**Tabla 2.16 Limpiadores de cola DURT DOZER**

### **Selección del Limpiador en V para Rodillos de Retorno BT-1**

También se necesita la limpieza de la sección de retorno, ya que el material abrasivo puede caer de la parte superior hacia la sección de retorno e incrustarse en la banda acortando la vida útil de la misma, en la tabla 2.17 se selecciona el tipo de limpiadores en V para la sección de retorno modelo STANDARD V-PLOW marca MARTIN 31106-30R para un ancho de banda de 30 in, en la figura 2.18 se muestra el limpiador tipo V.

Ancho de Banda in	Tipo de limpiador de cola P/N	Peso kg	Tipo de Hoja reemplazable	Peso de la hoja kg
18	31106-18R	22.7	31134-18R	3.2
24	31106-24R	27.2	31134-24R	4.1
30	31106-30R	31.8	31134-30R	5
36	31106-36R	36.3	31134-36R	5.9
42	31106-42R	40.9	31134-42R	6.8
48	31106-48R	45.4	31134-48R	7.7
54	31106-54R	49.9	31134-54R	8.6
60	31106-60R	54.4	31134-60R	9.5
72	31106-72R	63.5	31134-72R	10.4
84	31106-84R	72.6	31134-84R	11.3
96	31106-96R	81.6	31134-96R	12.2

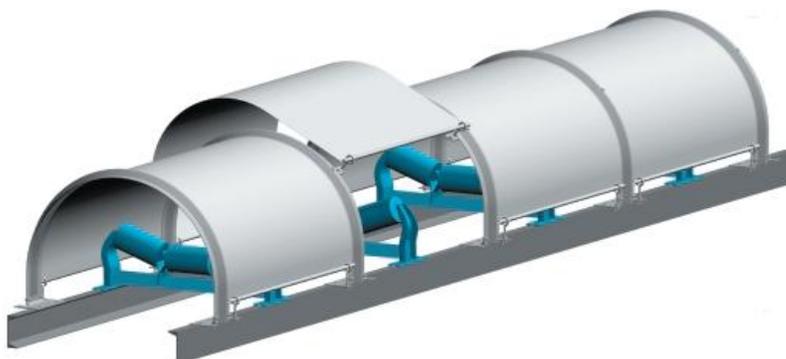
**Tabla 2.17 Limpiadores STANDARD V-PLOW**



**Figura 2.18 Limpiador STANDARD V-PLOW**

### **Cubierta Metálica para la Banda BT-1**

Esta cubierta sirve para evitar la polución de material transportado, aumenta la seguridad, evita que el material sea retirado del transportador (Ver figura 2.19). La cubierta es de acero laminado en frío de espesor 0.75 norma ASTM A568 galvanizado por inmersión en caliente con tensionivelado.

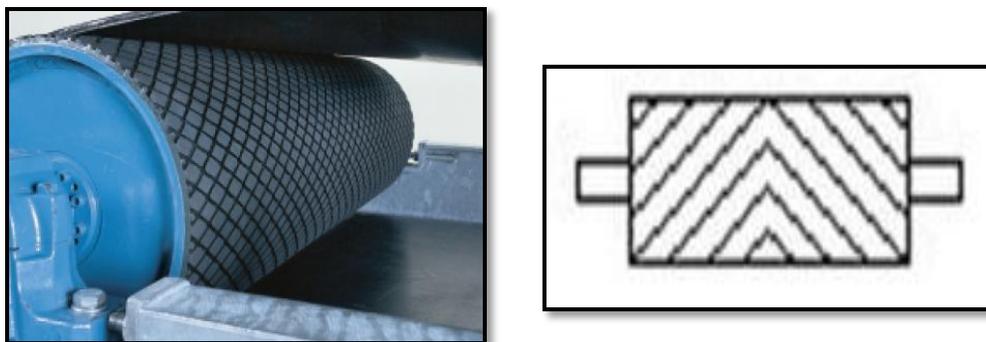


**Figura 2.19 Cubierta Galvanizada de 0.75 mm de espesor**

### **Revestimiento Antideslizante en Tambores para BT-1**

Debido a la alta inclinación de la banda  $19^{\circ}$ , se requiere que los tambores tengan revestimiento de caucho de 10 mm de espesor para el tambor motriz, 8 mm de espesor para el tambor de cola y 6 mm para los demás tambores, con 65 shore de dureza, con ranurado chevrón, así se aumenta el coeficiente de fricción entre la faja y polea, para evitar el deslizamiento y

desalineamiento de la banda y efectuar una acción de autolimpieza en la superficie de la polea.



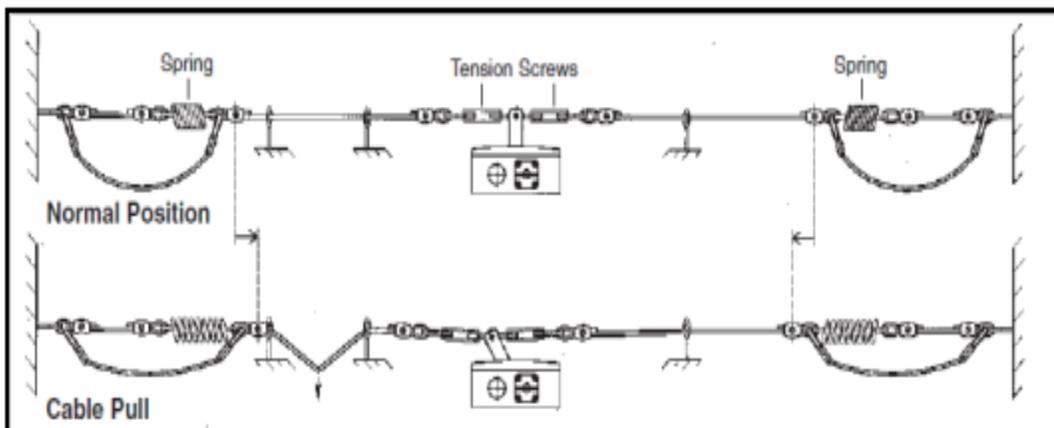
**Figura 2.20 Revestimiento antideslizante y ranurado Chevrón**

### **Selección del Interruptor por Jalón de Cable para BT-1**

El brazo de accionamiento del dispositivo está conectado con un cable de seguridad sujeto a ambos lados del transportador, cuando se ejerce una fuerza en algún lugar del cable de seguridad, el brazo de accionamiento se desplaza a una posición de bloqueo y activa una alarma proveniente de un micro interruptor o que informa la situación de parada de emergencia del proceso.

Se basa en un sistema de parada por jalón de cable como se muestra en la figura 2.21, el sistema se acciona en cualquier instante en caso de

detectar alguna falla en la banda transportadora o en el componente donde está instalado.



**Figura 2.21 Esquema del Accionamiento del sistema de protección personal**

En la tabla 2.18 se ingresa con la longitud de la banda que es de 26 m (86 ft), se selecciona el mayor de 105 ft que tiene una carcasa de aluminio fundido ideal para ambientes abrasivos, la marca de este dispositivo es WARNELECTRIC, el modelo es Si2-UV1ADK/LATCH con número de parte 8010-448-004, con pestillo de doble dirección que se acciona cuando el pestillo o palanca se mueve unos 40°.

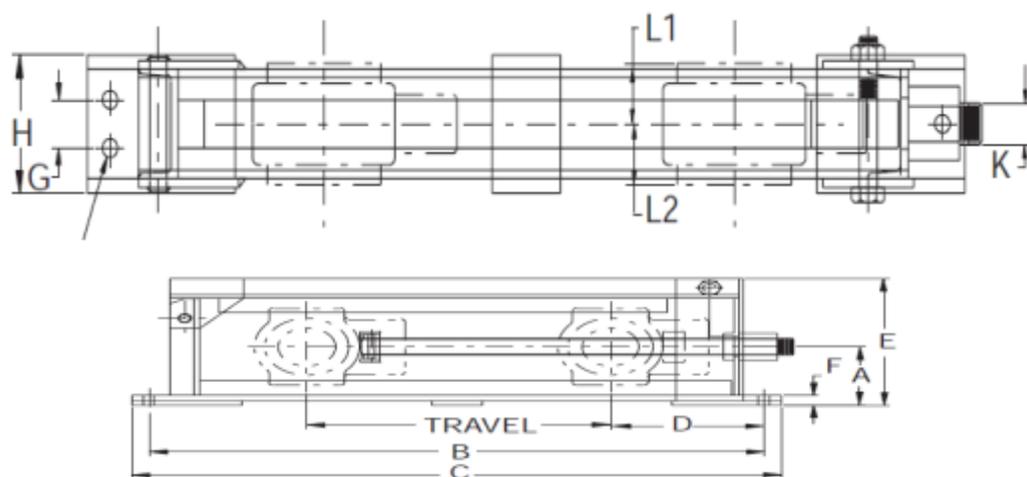
Modelo	Numero de Parte	Longitud de Cable ft	Fuerza de jalón lbs	Voltaje (max) VAC	Corriente (max) A	Encerramiento
SiI-UV1Z	601-3832-076	10	5.5	380	10	Plastico
SiEK-UV1Z	601-1831-134	15	18	500	10	Plastico
SiEM2-UV1Z	601-2831-022	15	18	500	10	Aluminio
SiEM2-UV1Z/LATCH	601-2831-023	15	18	500	10	Aluminio
SiD-UV1Z	601-1431-857	30	27	380	16	Aluminio
SiD-UV1Z/LATCH	601-1431-869	30	27	380	16	Aluminio
SiD-UV1Z	601-2431-877	75	45	500	16	Aluminio
SiD-UV2Z/LATCH	601-2441-907	75	45	380	16	Aluminio
Si1-UV1ZAK/LATCH	601-4735-001	225	30*	500	10	Aluminio Fundido
Si2-UV1ADK/LATCH	601-5735-002	250	40*	500	10	Aluminio Fundido
Si2-UV1ADK/LATCH	8010-448-004	105	40*	500	10	Aluminio Fundido
Si2-UV1ADK/LATCH	8010-448-004	200	40*	500	10	Aluminio Fundido
Si2-UV1ADK/LATCH	8010-448-004	250	40*	500	10	Aluminio Fundido
* Se acciona a 30° o 40°						

**Tabla 2.18 Selección de Interruptor de Jalón de Cable**

### **Selección del Tensor por husillo para BT-1**

Para Bandas transportadoras que tienen hasta 60 m de longitud de centro a centro se utiliza el tensor de tornillo para asegurar la cantidad apropiada de tensión del lado flojo. Para un ancho de banda de 30 in se recomienda que la carrera del tensor sea de 12 a 36 in <sup>[44]</sup>, y con el diámetro del eje de

2 11/16 se ingresa al apéndice W y se selecciona el tipo CP-515 serie S-2000, en el apéndice W con la carrera de 36 in se selecciona el tensor con el código 019244, tiene un rodamiento Dodge 22215 que soporta una carga dinámica de 184.61 kN un esquema del tensor se puede observar en la figura 2.22.



**Figura 2.22 Esquema del Tensor tipo Tornillo para BT-1<sup>[45]</sup>**

### **Peso Total para BT-1**

El peso total para BT-1 se determina por medio del peso de accesorios, caucho de la banda, estructura de pasamanos, faja, parrilla galvanizada, etc. En la tabla 2.19 se presenta el peso por longitud de los accesorios y equipos que actúan en la banda, el peso en la parte inclinada para el posterior diseño de las columnas que la soportan.

Equipo	Kg/m	Masa (kg)	Peso parte Inclined (N)	Peso Total (N)
Rodillos Superiores	29.1	756.6	3992.52	7414.68
Rodillos inferiores	5.57	144.82	764.21	1419.24
Faja	13.5	351	1852.2	3439.8
Soporte de estaciones	35.6	925.6	4884.32	9070.88
Pasamanos	103.28	2685.28	12145.73	26315.75
Gratting (21/2"x30")	22.95	596.7	3148.74	5847.66
		<b>6792.76</b>	<b>35844.87</b>	<b>66569.05</b>

**Tabla 2.19 Peso de Accesorios de BT-1**

Donde se tiene que el peso total de los equipos por metro es de 210 kg/m

#### Peso del skirt board para BT-1

El skirt Board cubre los 12000 mm de la banda plana, donde se producirá la carga del material, está constituido por acero A36 de 6 mm de espesor con faldones de caucho con sus respectivas tolvas de carga de 8 mm de espesor de acero A36. El peso está determinado a continuación:

$$m_{sb} = \frac{(740 + 1200) * 12000 * 6 * 7.85}{1000000} = 1096.49 \text{ kg } ec. 2.17$$

Se tiene 102.48 kg/m incluidos el peso de los accesorios para sujeción mientras que las tolvas tienen 300 mm de altura un área total de 904696.62 mm<sup>2</sup> determinado por el programa Autodesk Inventor, con la cual se puede determinar el peso de los chutes:

$$m_t = \frac{904696.62 * 8 * 7.85}{1000000} = 56.82 * 4 = 227.28 \text{ kg } ec.2.18$$

Se tiene un peso total de 121.42 kg/m actuando en la parte plana de la banda.

#### Peso de la cubierta para BT-1

La cubierta tiene un peso de 30 kg/m incluyendo los elementos de sujeción y todos los componentes que la comprenden y va colado en el tramo inclinado por lo que tiene un peso de:

$$W_c = 30 * 14 * 9.8 = 4116 \text{ N } ec.2.19$$

#### Peso de la cercha BT-1

El peso de la cercha es de 200 kg/m, este tiene una longitud total de 26 metros por lo que el peso es:

$$m_{BT-1} = 200 * 26 = 5200 \text{ Kg } ec.2.20$$

La fuerza debido al peso de las personas es  $80 \text{ kg/m}^2$ , se asume que entran dos personas en los pasillos con un ancho aproximado de 1 m y los pasillos van colocados a cada lado de la banda, dejando el peso en función de la longitud se tiene:

$$m_{\text{persona}} = 80 * 2 = 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad \text{ec. 2.21}$$

### Fuerzas en los soportes y columnas de BT-1

Las fuerzas que actúan en los primeros cuatro soportes en una longitud de 12 m de la banda son:

$$F_{sh} = m_{BT-1} + m_{sb} + m_{\text{equipos}} + m_{\text{persona}} \quad \text{ec. 2.22}$$

$$F_{sh} = (200 + 121.42 + 210 + 160) * 9.81 = 6782.83 \text{ N/m}$$

Peso que actúa en cada columna se tiene la parte inclinada de 14 m donde se encuentra  $m_{\text{cubierta}}$ ,  $m_{\text{persona}}$ ,  $m_{BT-1}$  y donde la fuerza es:

$$F_c = m_{BT-1} + m_{\text{cubierta}} + m_{\text{equipos}} + m_{\text{persona}} \quad \text{ec. 2.23}$$

$$F_c = (200 + 30 + 210 + 160) * 9.81 = 5886 \text{ N/m}$$

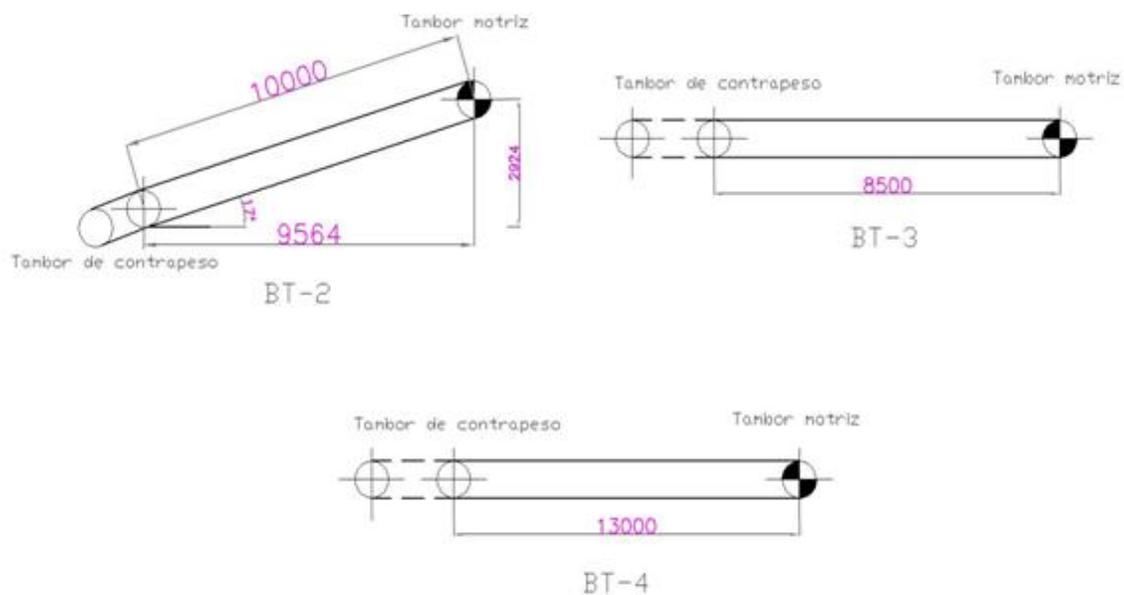
En la tabla 2.20 se puede observar las fuerzas que actúan en los soportes, y en el plano SIPRE-ME01-BT1-02 se encuentra el esquema de la banda transportadora BT-1.

Soportes	Fuerza por longitud N/m	Longitud (m)	Fuerza kN
S1 - S4	$F_{sh} / 4$	12	20.35
C1	$F_c / 2$	14	41.2
C2	$F_c / 2$	14	41.2

**Tabla 2.20 Fuerzas en los soportes por BT-1**

#### **Diseño y Selección de la Banda Transportadora BT-2, BT-3 y BT-4**

La Banda BT-2 está ubicada debajo del triturador para dirigir el material de vuelta al elevador de cangilones, transporta cemento clinker triturado con una granulometría de 4 mm hasta 8 mm máximo, transportando 150 ton/h con una distancia de centro a centro de 10 m con una inclinación de 17°; la banda BT-3 encargada de transportar el material de 4 mm desde la criba hacia la tolva pulmón, este transportador tiene una longitud de 8.5 m, inclinación 0°; y La banda BT-4 encargada de transportar el material menor desde la tolva pulmón hacia el molino de bolas, este transportador tiene una longitud de 13 m, inclinación 0° en la figura 2.23 se encuentra un esquema de las bandas.



**Figura 2.23 Esquema de Banda BT-2, BT-3, BT-4**

Se tienen los mismos criterios mencionados anteriormente, por lo que en la tabla 2.21 se presenta el resumen de las características técnicas de las bandas

<b>Ancho de Banda</b>	650 mm
<b>Velocidad</b>	1.25 m/s
<b>Rodillo Superior</b>	Terna de 35°
<b>Capacidad Máxima</b>	293 t/h
<b>Peso de la Banda</b>	9.75 Kg
<b>Espaciamiento Superior</b>	1200 mm
<b>Espaciamiento Inferior</b>	3000 mm

**Tabla 2.21 Características Técnicas de la banda BT-2, BT-3, BT4.**

### Características de los rodillos seleccionados

En la tabla 2.22 se observa las características de los rodillos seleccionados:

<b>Rodillo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
<b>Clase</b>		CEMA C	CEMA C
<b>Tipo</b>		Terna (iguales)	plano
<b>Ángulo</b>	°	35°	0°
<b>Diámetro</b>	in	5	5
<b>Espaciamiento</b>	mm	1200	3000
<b>Cantidad</b>		11	4
<b>Carga</b>	Kg	409.1	136.4
<b>Peso</b>	Kg	11.1	9.9
<b>Velocidad</b>	RPM	188	188
<b>Diámetro del eje</b>	in	3/4	3/4
<b>material del eje</b>		Acero Macizo	Acero Macizo
<b>Capacidad dinámica de carga</b>	kN	21.2	21.2
<b>Rodamientos</b>		Bolas 6305ZZ (con tapas)	Bolas 6305ZZ (con tapas)

**Tabla 2.22 Características de los rodillos superiores e inferiores de las Bandas BT-2, BT-3, BT-4**

### Coeficiente de fricción por longitud y las partes giratorias

En el apéndice Ñ se encuentra el coeficiente de fricción  $C$  producido por las fuerzas de fricción en los cojinetes de los tambores, fricción de los rascadores, inercia de los tambores, etc, se agrupan en lo que se denominan resistencias secundarias; para una banda de 10 m de longitud se tiene un factor de 4.7; para 8.5 m se tiene un factor de 5.2; para 13 m se tiene un factor de 3.4.

### Coeficiente de fricción en las partes giratorias

La fricción producida por las partes giratorias en función de las condiciones de operación, mantenimiento y estanqueidad se puede observar en el apéndice Ñ, que para condiciones con ambiente normal de trabajo se tiene 0.02.

### **Cálculo de Fuerzas según DIN 22101**

En el apéndice M se realiza los cálculos para determinar las diversas fuerzas de fricción individuales que actúan en la faja transportadora y que contribuyen a la tensión requerida para el accionamiento de la faja mediante la polea motriz. <sup>[46]</sup>

En la tabla 2.23 se encuentran las fuerzas que actúan en las Bandas, en el apéndice Y se encuentra la memoria de cálculo de las fuerzas.

Fuerzas	BT-2 (N)	BT-3 (N)	BT-4 (N)
Fuerza para mover la banda en vacío y sus componentes móviles	229.6	229.8	229.8
Fuerza para desplazar el material horizontalmente	564.2	564.7	564.7
Fuerza para elevar el material	1863.2	-	-

**Tabla 2.23 Fuerzas que actúan en las bandas BT-2, BT-3, BT-4**

### **Cálculo de Tensiones y Potencia**

El coeficiente de fricción, Factor de arrollamiento y porcentaje de flecha son iguales a la banda anterior, en el apéndice Y se muestran los cálculos de las tensiones en las bandas.

Tensión	BT-2 (N)	BT-3 (N)	BT-4 (N)
Tensión Efectiva	4640	1275	1595
Tensión en el lado apretado T1	7827	5341	5911
Tensión en el lado flojo T2	3187	4066	4317
Tensión en el retorno T3	3269	4179	4429
Tensión en el contrapeso T <sub>cp</sub>	6600	8400	8858
Tensión mínima para evitar el pandeo	3179	3179	3179
Tensión unitaria T <sub>u</sub> (N/mm)	12.1	8.22	9.09

**Tabla 2.24 Tensiones de la Banda BT-2, BT-3, BT-4.**

## Potencia

Teniendo en cuenta las pérdidas por el reductor y la eficiencia del motor a continuación en la tabla 2.25 se muestra la potencia en las bandas:

Potencia	Potencia Teórica (kW)	Pérdida por el Reductor (6%)	Potencia en el Eje del Motor (kW)
BT-2	5.8	0.35	6.5
BT-3	1.59	0.096	1.75
BT-4	1.99	0.12	2.22

**Tabla 2.25 Potencia en las Bandas BT-2, BT-3, BT-4**

## Selección del Motor

Se obtiene el valor de 8.71 hp requeridos, se escoge motor de 10 hp para BT-2; Se obtiene el valor de 2.4 hp requeridos, se escoge motor de 3 hp para BT-3; se obtiene el valor de 2.98 hp requeridos, se escoge motor de 5 hp para BT-4, a 1800 rpm marca ABB, en la tabla 2.26 se encuentran las características del motor y en el apéndice O se encuentran las dimensiones del motor.

	<b>BT-2</b>	<b>BT-3</b>	<b>BT-4</b>
<b>Tipo</b>	M2QA132M4A	M2QA100L4A	M2QA112M4A
<b>Potencia</b>	10 HP	3 HP	5 HP
<b>Frame IEC</b>	132M	100L	112M
<b>Velocidad</b>	1734	1724	1730
<b>Eficiencia</b>	88.1	82.1	85.4
<b>Factor de Servicio</b>	1.15	1.15	1.15
<b>Corriente nominal</b>	13.2	4.4	7.2
<b>Voltaje</b>	440	440	440
<b>Torque Nominal</b>	41	12.2	20.4
<b>Momento de Inercia</b>	0.03432	0.00679	0.01306
<b>Peso</b>	73	32	45
<b>Ruido</b>	62	57	60

**Tabla 2.26 Características de Motores para BT-2, BT-3, BT-4**

### **Selección de la Faja**

Se tiene que la tensión de la banda o tensión unitaria mínima es de 12.1N/mm, 8.22 N/mm y 9.09 N/mm (ver tabla 2.24), por lo que se escoge uno mayor que tiene una resistencia de 40 N/mm, en el apéndice N se tiene que para un ancho de correa de 26 in, con las tensiones unitarias mencionadas anteriormente y 35° de ángulo de abarquillamiento se requiere 4 pliegues máximo se escoge 3 Pliegues resistente a la abrasión, cubierta grado 2 (designación CEMA) para resistir materiales clasificados con acción cortante limitada, para operaciones de servicio pesado. El empalme es vulcanizado en caliente para esfuerzos de uso más alto y gran

tiempo de servicio. En la tabla 2.27 se presentan las características de la banda EP 400 / 3 a continuación:

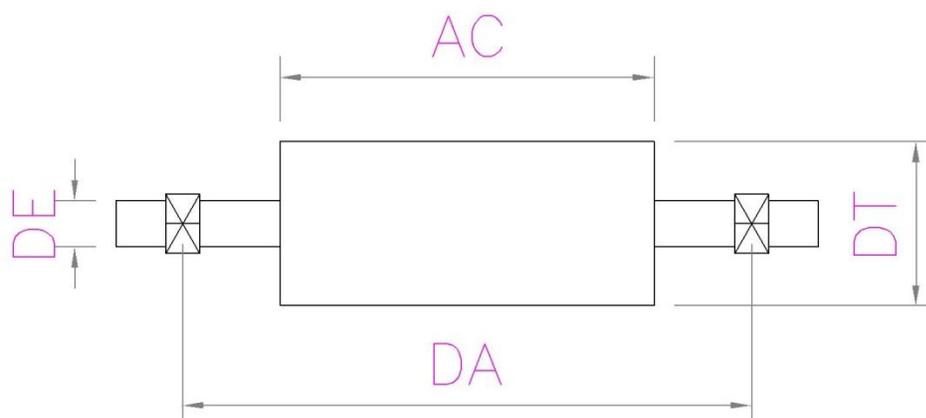
<b>BANDA EP 400 / 3</b>		
<b>Resistencia</b>	N/mm	40
<b>Espesor de cubierta superior</b>	mm	4
<b>Espesor de cubierta inferior</b>	mm	2
<b>Espesor Total de la cubierta</b>	mm	8,8
<b>Peso aprox. De la Cubierta</b>	kg/m <sup>2</sup>	10,4
<b>Espesor de Carcasa</b>	mm	3,3
<b>Peso aprox. De la Carcasa</b>	Kg/m <sup>2</sup>	4,7
<b>Peso de la Banda</b>	kg/m <sup>2</sup>	15,1
<b>Peso total de la faja</b>	kg	221
<b>Índice de Impacto</b>	Lb-pulg	4700
<b>Espesor total</b>	mm	12,1
<b>Clasificación de Cubierta</b>	Norma DIN	Y

**Tabla 2.27 Características técnicas de la faja para BT-2, BT-3, BT-4<sup>[47]</sup>**

### Selección de los tambores

El diámetro de las poleas, debe ser lo suficientemente grande, para prevenir la separación de las capas de la banda y el esfuerzo excesivo en estas, cuando la banda pasa alrededor de las poleas, mientras que las poleas requieren más espacio y un mayor par, y las relaciones de velocidad del reductor. A continuación en la tabla 2.28 se muestran los tambores de cada banda.

En la figura 2.24 se muestra un esquema con las dimensiones del tambor motriz para BT-2:



**Figura 2.24 Dimensiones del tambor motriz para las Bandas BT-2, BT-3, BT-4**

### Trayectoria del Material

En la tabla 2.29 se muestra el radio de curvatura, el ángulo de descarga y Fuerzas centrífugas que actúan en cada banda.

Bandas	Radio de Curvatura (mm)	Ángulo de descarga (°)	Fuerza Centrífuga (N)
BT-2	243	49.1	17.5
BT-3	243	0	17.5
BT-4	243	0	17.5

**Tabla 2.29 Parámetros de la Trayectoria del material en BT-2, BT-3, BT-4**

Tambores	BT-2		BT-3		BT-4	
	Motriz	Cola	Motriz	Cola	Motriz	Cola
Ancho de Cara (mm) AC	750	750	750	750	750	750
Diámetro (mm) DT	400	315	400	315	400	315
Distancia entre apoyos (mm) DA	1170	1170	1170	1170	1170	1170
Fuerza Resultante (kN)	10.95	6.6	9.41	8.4	10.24	8.9
Ángulo de contacto °	180	180	180	180	180	180
Peso del Tambor (kg)	98.64	50.97	98.64	50.97	98.64	50.97
Velocidad (RPM)	56	70	56	70	56	70
Material del eje	AISI C1045					
Diámetro del eje (mm) DE	80	70	70	70	80	70
Capacidad de carga del rodamiento (kN)	51	33.09	44	42	47.66	45.12

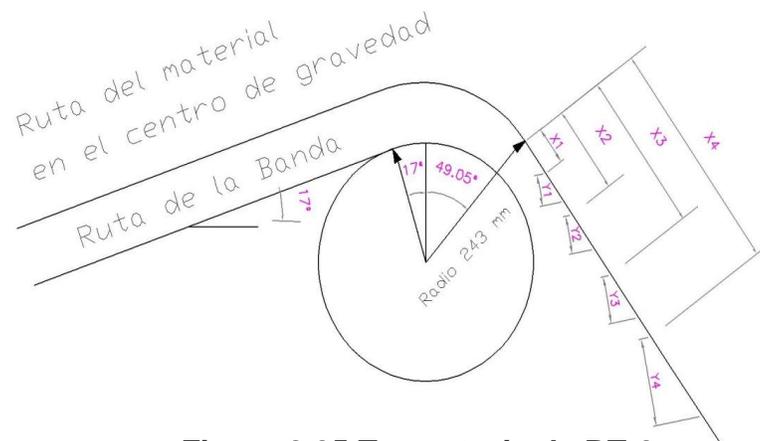
**Tabla 2.28 Descripción de las Características Técnicas de los Tambores para las bandas BT-2, BT-3, BT-4**

Para intervalos de tiempo de 0.05 segundos se obtiene las coordenadas X y Y como se muestra a continuación en la tabla 2.30:

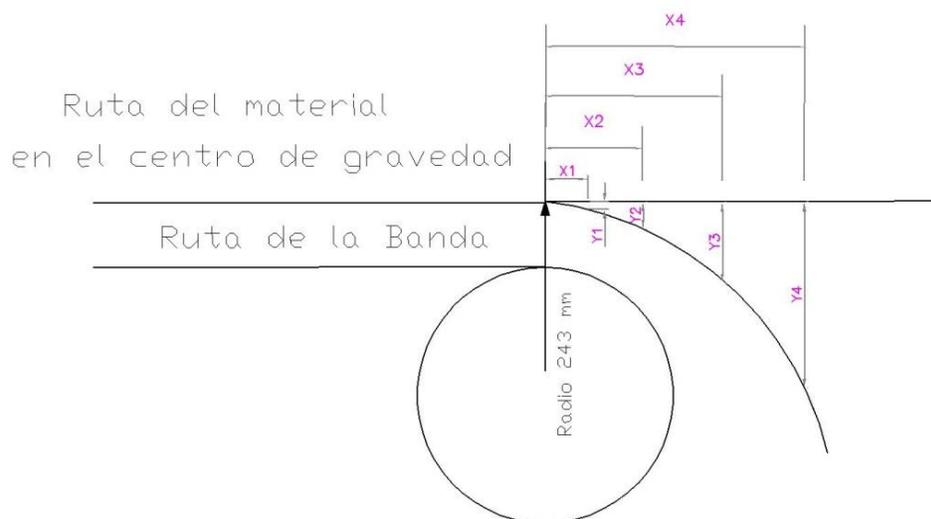
Tiempo (Seg.)	Coordenadas X (mm)	Coordenadas Y (mm)
0.05	63	12
0.1	125	49
0.15	188	110
0.2	250	196
0.25	313	306

**Tabla 2.30 Trayectoria del Material en BT-2, BT-3, BT-4**

En la figura 2.25 y figura 2.26 se encuentra la trayectoria del material de descarga de las bandas.



**Figura 2.25 Trayectoria de BT-2**



**Figura 2.26 Trayectoria del material en la descarga para BT-3 y BT-4.**

### **Selección de la Caja Reductora y Poleas de Transmisión**

Se seleccionarán las cajas reductoras marca REXNORD <sup>[40]</sup> que deben reducir los RPM del motor que es de 1800 RPM a la velocidad circular requerida de los tambores motrices para que las bandas tengan una velocidad de 1.25 m/s teniendo en cuenta las poleas de transmisión necesarias como se presenta a continuación en la tabla 2.31:

	<b>BT-2</b>	<b>BT-3</b>	<b>BT-4</b>
<b>Velocidad de entrada (RPM)</b>	1800	1800	1800
<b>Velocidad del tambor motriz (RPM)</b>	56	56	56
<b>Radio de Transmisión</b>	32.14	32.14	32.14
<b>Modelo del Reductor</b>	08UWBQ2A32.0A_D	07UWBQ2A32.A_C	07UWAQ2A28.0A_C
<b>Número de Parte</b>	4760820	4760698	4760693
<b>Velocidad de Salida (RPM)</b>	55	57	65
<b>Tipos de Poleas</b>	-	-	3 ranuras de ½ in
<b>Polea del Motor</b>	-	-	33V300SH
<b>Polea del Tambor</b>	-	-	33V365SH

**Tabla 2.31 Cajas reductoras y poleas de transmisión para BT-2, BT-3, BT-4**

En la tabla 2.32 se muestran las dimensiones de las cajas reductoras tipo 7 y 8, en la figura 2.13 se muestra un esquema del reductor.

<b>8 ( in)</b>	8.9	3.15	3.94	5.91	0.87	M20x2.5	3.62	3.46	6.61	2.36	5.63	1.1
<b>7 ( in)</b>	7.1	2.64	2.95	4.8	0.71	M20x2.5	2.95	2.36	5.63	1.97	4.9	1.02
	<b>V</b>	<b>X</b>	<b>XA</b>	<b>YA</b>	<b>U</b>	<b>HD</b>	<b>R</b>	<b>Chaveta</b>				
<b>8 ( in)</b>	1.38	5.2	5.04	4.92	2.38	1.34	4.92	.63x.29x9.84				
<b>7 ( in)</b>	1.1	4.27	3.68	4.23	2	1.34	3.64	.50x.23x8.58				

**Tabla 2.32 Dimensiones del Reductor para BT-2, BT-3, BT-4**

### Selección del Sistema Backstop

Se lo selecciona determinando el torque como se muestra en la ecuación

2.14: <sup>[48]</sup>

$$T_{sBT-2} = \frac{(10) * 5250}{56} = 938 \text{ lb} - \text{ft}$$

$$T_{sBT-3} = \frac{(3) * 5250}{56} = 282 \text{ lb} - \text{ft}$$

$$T_{sBT-4} = \frac{(5) * 5250}{56} = 469 \text{ lb} - \text{ft}$$

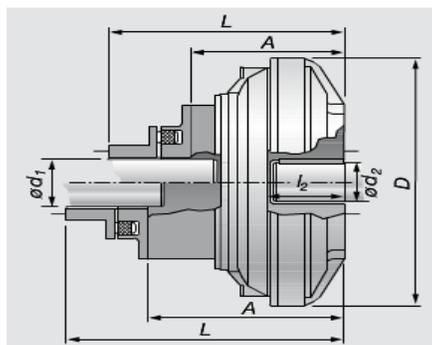
En el apéndice X se escoge el 1045 con 1800 RPM como máximo para BT-2, BT-3, BT-4, en el mismo se encuentran las dimensiones (ver figura 2.14)

### **Selección del Acople Voith**

Se tiene que para BT-2 con 10 hp y 900 RPM en el apéndice U un acople de 366, ahora se escoge del tipo TVV sin polea; para BT-3 se tiene el modelo 274D (tipo DTVRI); para BT-4 se tiene el modelo 274D (tipo DTV) en la tabla 2.33 se encuentran las dimensiones y la figura 2.27 se encuentra un esquema del acople hidrodinámico sin polea.

Número	Tipo	A	D	L	d1 max	d2 max	l2 max	Peso
		[mm]						[kg]
274	TV	172	328	331	75	55	90	32
274	TVV	204	328	315	65	55	90	33
274	DTV	244	328	355	65	55	125	38
366	TV	225	424	384	75	65	120	56
366	TVV	296	424	455	75	65	120	58
422	TV	257	470	430	90	80	135	80
422	TVV	335	470	508	90	80	135	83
487	TV	297	556	487	100	90	155	111
866	TV	493	978	682	160	150	265	570
866	TVV	641	978	830	160	150	265	595
1000	TV	547	1118	757	180	160	280	870
1000	TVV	686	1118	896	180	160	280	905
1150	TV	670	1295	880	180	180	320	1242
1150	TVV	883	1295	1093	180	180	320	1334

**Tabla 2.33 Acople TVV**



**Figura 2.27 Acople Voith TVV**

## Accesorios y Complementos

En la tabla 2.34 se muestran los diferentes accesorios de limpieza se selecciona para BT-2, BT-3, BT-4 tipo de tensor y otros accesorios.

<b>Limpiador Motriz</b>	PV1S30XX2411GRPC
<b>Limpiador de Cola</b>	33600-30
<b>Cubierta Metálica</b>	0.75 mm
<b>Revestimiento de Tambores</b>	6 mm (65 shore)
<b>Jalón de Cable</b>	SiD-UV1Z/LATCH (27 Lbs)
<b>Tensor de Husillo</b>	CP-515 (serie S-2000)
<b>Rodamiento del Tensor</b>	Dodge 22215 (184.61 kN)

**Tabla 2.34 Accesorios y Complementos de BT-2, BT-3, BT-4**

## Peso Total

Se utilizará la misma cubierta de espesor 0.75 mm galvanizada con un peso de 30 kg/m, también el bastidor es igual a la banda BT-1 pesando 200 kg/m, en la tabla 2.35 se muestran los pesos de las bandas.

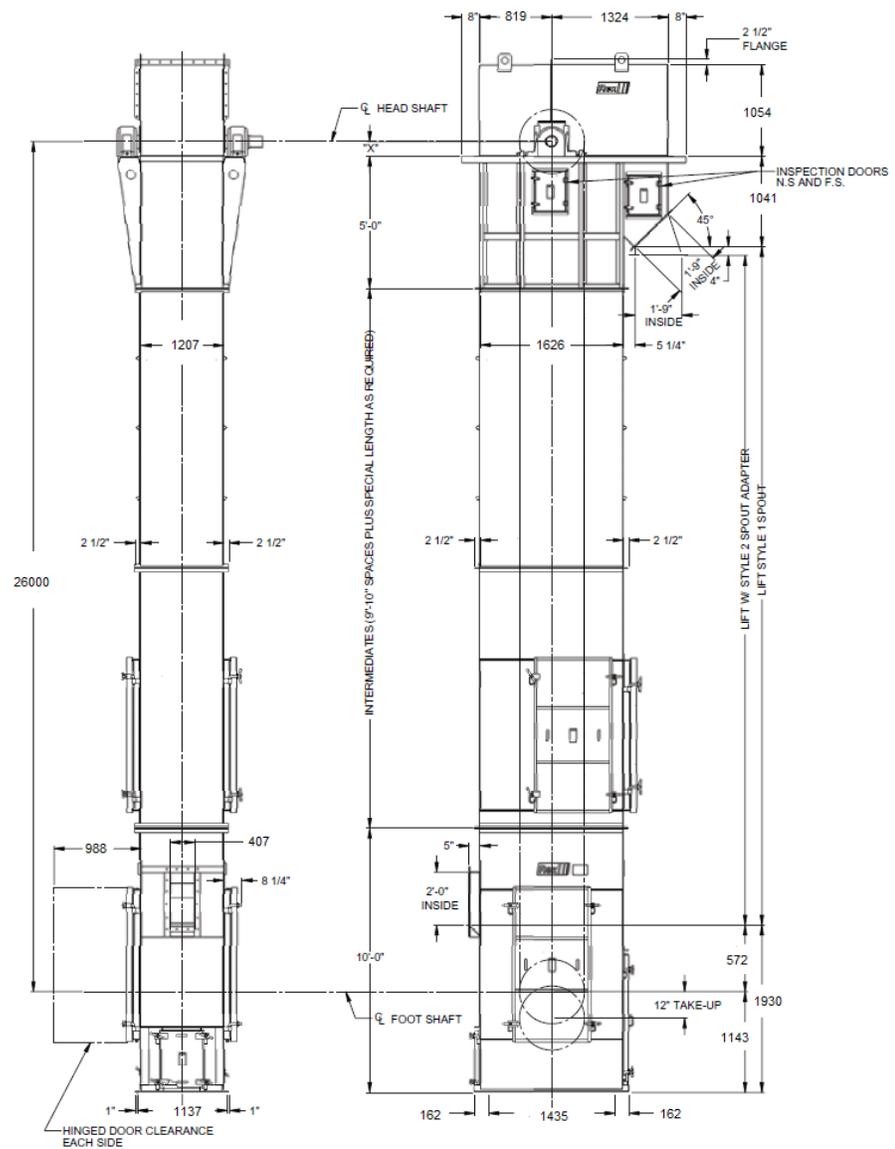
Equipo	BT-2 (N)	BT-3 (N)	BT-4 (N)
Rodillos Superiores	2851.8	2424	3702.3
Rodillos Inferiores	545.86	464	709.6
Faja	936.9	796.4	1217.9
Soporte de estaciones	3488.8	2965.5	4535.4
Cubierta	2940	2499	3822
Cercha	19600	16660	25480
Pasamanos	15144.9	12873.2	19688.4
Gratting (21/2"x30")	2249.1	1911.7	2923.8
Peso Total	<b>47757.36</b>	<b>40593.8</b>	<b>62079.4</b>

**Tabla 2.35 Pesos de las bandas BT-2, BT-3, BT-4**

#### 2.4. Diseño y selección del elevador de cangilones

Se tiene un elevador de cangilones tipo cadena que es el encargado de transportar el material de descarga de la banda BT-1 y BT-2 donde eleva la carga 26 metros para descargarla en las cribas clasificadoras que posteriormente ingresan al triturador.

Los elevadores de cangilones son los sistemas más utilizados para el transporte vertical de materiales a granel, secos, húmedos e incluso líquidos. Son diseñados con amplias opciones de altura, velocidad y detalles constructivos según el tipo de material que tienen que transportar, se montan en módulos para permitir definir de manera más eficaz la altura útil necesaria, como se puede apreciar en la figura 2.28.

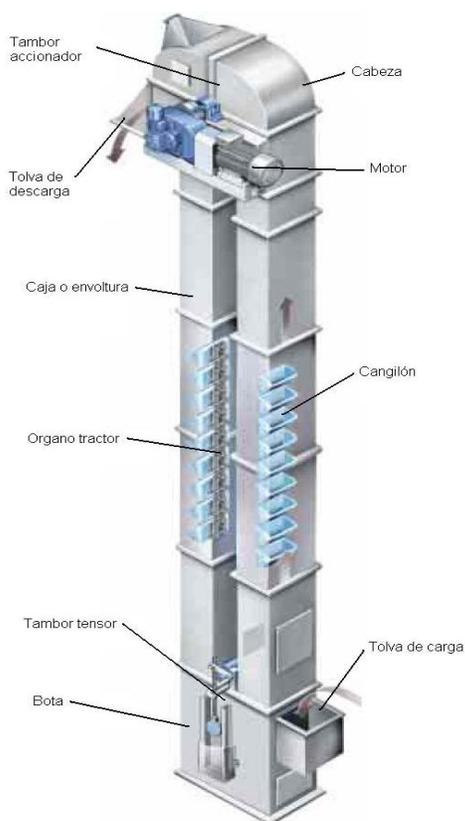


**Figura 2.28 Elevador de Cangilones**

La altura a la que pueden desplazar la carga varía, desde los 3 metros para pequeñas plantas clasificadoras de cereales, hasta los 70 metros correspondientes a las instalaciones de puertos y grandes plantas de

acopio. La elección del tipo de órgano de tracción entre cadena o banda, se condiciona por la característica del elevador y de la carga.

En la figura 2.29 se puede observar los componentes principales que está constituido un elevador de cangilones.



**Figura 2.29 Componentes principales de un elevador de Cangilones**

A continuación en la tabla 2.36 se tiene las características del material a transportar y las condiciones de operación.

<b>Capacidad mínima</b>	250 ton/h
<b>Elevación</b>	26 m
<b>Material</b>	Clinker, Yeso, Puzolana
<b>Densidad</b>	1300 kg/m <sup>3</sup>
<b>Granulometría</b>	0.075-100 mm
<b>Abrasividad</b>	Muy Abrasivo
<b>Ángulo de Reposo</b>	36°
<b>Ángulo de sobrecarga</b>	15°

**Tabla 2.36 Características del material para el diseño del Elevador de Cangilones EC-1.**

El diseño y selección del elevador de cangilones se lo realizará por medio del manual CONVEYOR BELT TECHNIQUE DESIGN AND CALCULATION de DUNLOP y catálogo REXNORD.

#### Selección del tipo de elevador

Debido a que este elevador debe resistir alta temperatura 120°C, una altura de elevación de 26 m, la alta capacidad y materiales pesados como piedra chancada, minerales, en general con material irregulares y gran diámetro, en el apéndice Z se puede apreciar que para material tipo de material cemento clinker se tiene elevador tipo cadena y el tipo de descarga puede ser centrífuga y por gravedad. <sup>[49]</sup>

### Selección de la velocidad del elevador

En el apéndice Z se encuentra que las velocidades recomendadas para cemento clinker polvoriento se encuentra en un rango entre 1,25 – 1,8 m/s por lo que se escoge un valor de 1,3 m/s, para así evitar la polución de material en el ambiente.

### Selección del factor de llenado

Es el coeficiente de llenado de cada cangilón que varía entre 0,65 a 0,75, en este caso para cemento clinker se ingresa en el apéndice Z y se tiene que el coeficiente es 0,75.

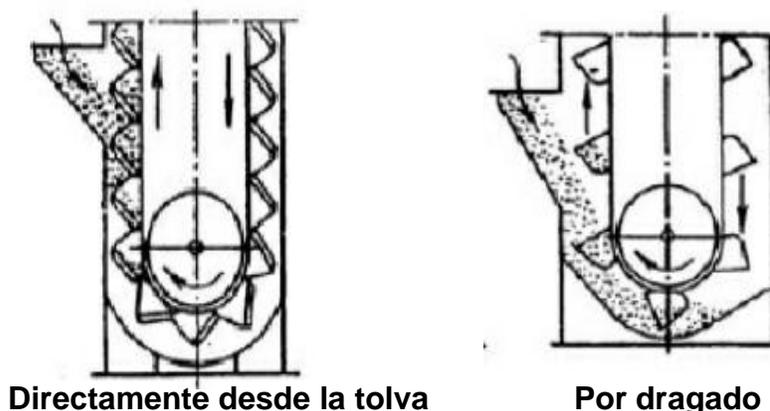
### Tipo de carga al elevador de cangilones

Existen dos formas de cargar los cangilones como se puede apreciar en la figura 2.30:

Directamente desde la tolva: Se usan para el transporte de materiales de pedazos grandes abrasivos. La velocidad de tracción necesaria para este tipo de carga está entre 1 – 2 m/s.

Por dragado: Se usan para el transporte de materiales que no muestran resistencia a la extracción, pulverulentos y de granulación fina se tiene un rango de velocidad de 2 – 4 m/s.

En este caso se escoge un tipo de carga directamente desde la tolva.



**Figura 2.30 Tipos de carga de los elevadores de cangilones**

#### Tipo de descarga del elevador de cangilones

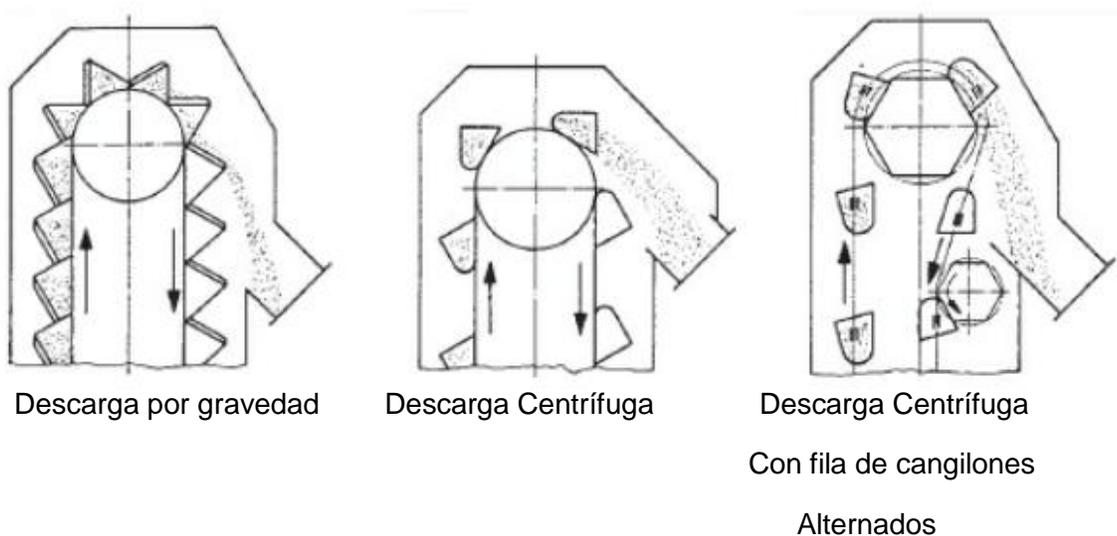
Se tiene dos tipos de descarga de material que se presentan a continuación (ver figura 2.31):

**Centrífuga:** Es el más empleado en la industria, se efectúa por fuerza centrífuga al momento de girar la correa o cadena sobre el tambor de mando, este tipo de descarga se efectúa cuando la velocidad está en un rango entre 1.05 a 4.2 m/s.

**Descarga por gravedad:** Los cangilones están instalados en forma continua, sin espaciamiento entre ellos y la descarga se efectúa por gravedad utilizando la parte inferior del cangilón precedente como tolva de

descarga. La carga se realiza directamente desde tolva, es ideal para velocidades bajas entre 0.42 y 1.05 m/s.

Debido a la velocidad seleccionada se tiene que el tipo de descarga es centrífugo.



**Figura 2.31 Tipos de Descarga para elevadores de cangilones <sup>[50]</sup>**

### Capacidad z

La capacidad que se tiene es de 170 ton/h de la banda BT-1, mientras que la banda BT-2 tiene una capacidad de 150 ton/h, las dos bandas alimentan al elevador, por lo que la capacidad del elevador de cangilones debe ser de 320 ton/h.

### Capacidad calculada

La capacidad calculada es la capacidad de carga de transporte del elevador de cangilones se la calcula con la ecuación 2.24:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} \quad \text{ec. 2.24}$$

Donde:

$Q_v$  = Es la capacidad calculada  $m^3/h$

$Q_m$  = Capacidad del elevador 320 ton/h

$\rho$  = Densidad 1,3 ton/ $m^3$

De la ecuación 2.24 se tiene:

$$Q_v = \frac{320}{1,3} = 246 \quad m^3/h$$

### Espaciamiento entre cangilones

Con una capacidad de 246  $m^3/h$  y una velocidad de 1.3 m/s, se ingresa al apéndice Z y se obtiene que el espaciamiento entre cangilones es de 355.6 mm se escoge un poco mayor de 406.4 mm equivalente a 2 pasos de 8 in.<sup>[51]</sup>

### Capacidad de cangilón

Por medio de la ecuación 2.25 se puede calcular la capacidad de llenado de cangilón:

$$V_B = \frac{Q_v * a}{3.6 * V * \varphi} \quad ec. 2.25$$

Donde:

$V_B$  = Capacidad de cada cangilón (Lts)

$V$  = Velocidad 1.3 m/s

$a$  = Espaciamiento entre cangilones 0.406 m

$\varphi$  = Grado de llenado 0.75

$Q_v$  = Capacidad calculada 254 m<sup>3</sup>/h

$$V_B = \frac{246 * 0.406}{3.6 * 1.3 * 0.75} = 28.5 \text{ Lts}$$

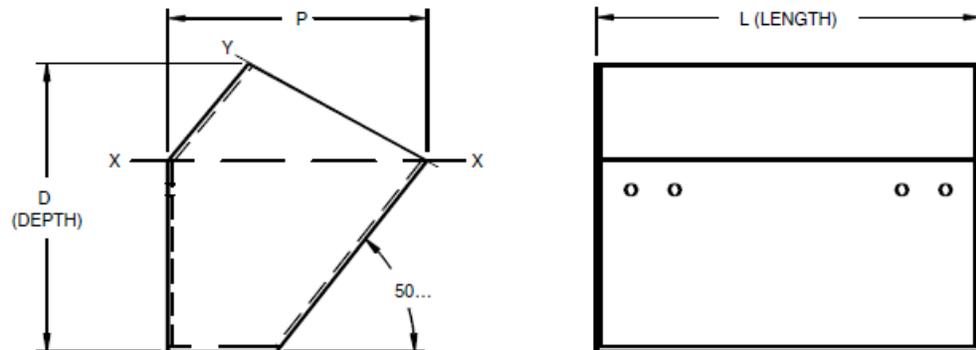
El peso de material por cangilón se tiene multiplicando la capacidad de cada cangilón por la densidad se tiene 37.1 kg.

### Selección del cangilón

Se tiene varios tipos de cangilones normalizados como los tipos AA, C, MF, AC, SC, se tiene que para grandes capacidades y el tipo de material se escoge el tipo AC típico para materiales abrasivos como el cemento clínter, en la tabla 2.37 para 1 ft<sup>3</sup> (28.5 lts) se selecciona para capacidad entre 1.072 y 1.474 ft<sup>3</sup>, en la figura 2.32 se muestran las dimensiones.

Dimensiones del Cangilón, pulgadas			Peso (lbs)		Capacidad ft <sup>3</sup>	
Longitud (L)	Proyección (P)	Profundidad (D)	Acero 3/16"	Acero 1/4"	Llenado en línea x-x	Llenado en línea x-y
12	8	8 1/2	18.25	24.3	0.231	0.303
14	8	8 1/2	20.3	27	0.271	0.356
16	8	8 1/2	22.48	29.98	0.311	0.408
18	10	10 1/2	31.15	38.95	0.488	0.691
20	10	10 1/2	33.68	42.1	0.542	0.768
24	10	10 1/2	39.67	52.69	0.651	0.921
27	12	12 1/2	53.84	71.46	1.072	1.474

**Tabla 2.37 Cangilones de acero Tipo AC soldados<sup>[52]</sup>**



**Figura 2.32 Esquema del Cangilón**

Se tiene un peso de cangilón de 71.46 lbs (32.48 kg) para chapa de acero de  $\frac{1}{4}$  de espesor.

Peso de material elevado por el cangilón

En la ecuación 2.26 se determina el peso de material elevado por cada cangilón por espaciamiento entre cangilones se tiene:

$$M = \frac{\rho * f}{a} \text{ ec. 2.26}$$

Donde:

M = Peso de material por cangilón kg/m

$\rho$  = Densidad 1300 kg/m<sup>3</sup>

a = Espaciamiento entre cangilón 0.406 m

f = Capacidad del cangilón 0.0304 m<sup>3</sup>

$$M = \frac{1300 * 0.0304}{0.406} = 97.21 \text{ kg/m}$$

### Peso del cangilón

El peso del cangilón se lo puede determinar en la tabla 2.49 que es de 32.48 kg y se lo divide para el espaciamiento entre cangilones de 0.406 m, se tiene el peso de cangilón por espaciamiento de 80 kg/m.

### Peso de la cadena

Se recomienda para los cálculos un peso de cadena sea de 5 lbs/ft (7.4 kg/m), para el cálculo preliminar de las fuerzas. <sup>[53]</sup>

### Factor de arrastre

Se tiene un factor de arrastre según el tipo de descarga, se tiene un factor de 10 para descargas centrífugas, 6 para descargas continuas, se escoge el 10. <sup>[53]</sup>

### Factor de velocidad

Se tiene que para una velocidad de 255 ft/min (1.3 m/s) para una rueda dentada con 12 dientes un factor de 1.3.

Tipo de Carga	Condiciones de Operación		Periodo de Operación Diario	
	Frecuencia de paradas bajo carga	% de carga adicional en algún tiempo	8 - 10 horas	24 horas
<b>Uniforme</b>	Menos que 5 /días	Menos que 5%	1	1.2
<b>Picos Moderados</b>	5/días a 2/ horas	5 - 20%	1.2	1.4
<b>Picos Altos</b>	2/horas a 10/horas	20% a 40%	1.5	1.8
		Condiciones de Operación	Factor de Servicio	
		Arriba de 200°F (93°C)	1	
		93°C a 177°C	1.1	
		177°C a 260°C	1.2	
		Sobre 260°C	-	

**Tabla 2.38 Factor de Servicio para EC-1<sup>[53]</sup>**

### Factor de servicio

Ya que este elevador debe ser diseñado para soportar altas temperaturas de hasta 120°C se tiene un factor de servicio entre rangos de operación de temperatura de 93°C a 177°C de 1.1 como se muestra en la tabla 2.38

Se tiene también un factor de operación de 8 a 10 horas con un tipo de carga uniforme con un factor de 1.0.

### Cálculo preliminar de fuerzas

Para el cálculo de fuerzas se asume una fuerza del Take up de 800 N recomendado por el catálogo REXNORD, luego se realiza el cálculo de la fuerza necesaria para el movimiento de la cadena cargada con la ecuación 2.27:

$$P_L = (W_{EC-1} + M_{EC-1})gR \quad ec.2.27$$

Donde:

$P_L$  = Fuerza para desplazar el material kN.

$W_{EC-1}$  = La sumatoria del peso del cangilón y cadena por espaciamento de cangilón 87.4 kg/m

$M_{EC-1}$  = Peso del material elevado 97.21 kg/m

$R$  = Distancia del elevador de cangilones de centro a centro 26 m.

$g$  = Gravedad 9.81 m/s<sup>2</sup>

$$P_L = (87.4 + 97.21)26 * 9.81 = 47.1kN$$

Ahora se calcula la fuerza de tracción producida por el dragado de material con la ecuación 2.28:

$$P_B = M * K * D * g \quad ec. 2.28$$

Donde:

$P_B$  = Fuerza de Tracción kN

M = Peso del material elevado 97.21 kg/m

D = Se asume una rueda de tracción de 24.25 in (622.3 mm)

K = Factor de arrastre, 10 para descargas centrífugas.

$$P_B = 97.21 * 10 * 0.6223 * 9.81 = 5.9 kN$$

Luego se calcula la tensión total que actúa en la cadena con la ecuación 2.29:

$$P_m = 0.5P_t + P_B + P_L \quad ec. 2.29$$

Donde:

$P_m$  = Tensión total de la cadena kN

$P_t$  = Tensión de contrapeso 0.8kN

$P_B$  = Fuerza al dragado del material 5.9 kN

$P_L$  = Fuerza de resistencia a la elevación 47.1 kN

$$P_m = 0.5 * 0.8 + 5.9 + 47.1 = 53.4 \text{ kN}$$

Ahora se calcula la carga de diseño de trabajo con la ecuación 2.30

$$DWL = F_t * F_v * P_m \quad \text{ec. 2.30}$$

Donde:

DWL = Carga de diseño kN

$F_t$  = Factor de operación 1.1

$F_v$  = Factor de velocidad 1.3

$$DWL = 1.1 * 1.3 * 53.4 = 76.4 \text{ kN}$$

Se tiene una carga de diseño de trabajo de 76.4 kN (17166 Lbs), se selecciona el tipo de cadena ER984 como se puede apreciar en el apéndice Z, que tiene una capacidad de carga de trabajo de 24000Lbs (106.8 kN) con peso de cadena de 33 Lbs/ft, y el peso de los sujetadores de cangilones es de 58 lbs/ft, se tiene un paso de 7 in, ahora se tiene un

espaciamiento entre cangilón de 0.356 m, es decir, 3 pasos de 7 in, también se tiene fuerza última de 40000 lbs (177.9 kN). A continuación se realiza el chequeo de las cargas:

Peso del Material elevado por cada cangilón de la ecuación 2.26:

$$M = \frac{\rho * f}{a} = \frac{1300 * 0.0418}{0.533} = 101.8 \text{ kg/m}$$

Peso del Cangilón por metro de cadena:

El peso del cangilón se lo puede determinar en la tabla 2.49 que es de 32.48 kg y se lo divide para el espaciamento entre cangilones de 0.533 m, se tiene el peso de cangilón por espaciamento de 60.9 kg/m.

Peso de la cadena y accesorios con la ecuación 2.27.1:

$$W = \frac{(\text{Numero de paso por espec.} - 1)(W_c) + (W_s)}{\text{Número de paso por espaciamento}} \text{ ec. 2.27.1}$$

Donde:

Número de paso por espaciamento es 2

$W_c$  = Peso de cadena 49.1 kg/m

$W_s$  = Peso de los sujetadores de cangilón 86.3 kg/m

$$W = \frac{(3 - 1)(49.1) + (86.3)}{3} = 61.5 \frac{kg}{m}$$

Fuerza para desplazar el material de la ecuación 2.27:

$$P_L = (122.4 + 101.8) * 9.81 * 26 = 57.2 \text{ kN}$$

Fuerza de Tracción por dragado de la ecuación 2.28, como se puede verificar que se tiene una velocidad máxima de 40 RPM, y una velocidad de 1.3 m/s, se tiene 622 mm de diámetro pero se selecciona uno mayor de 790 mm y se tiene:

$$P_B = 101.8 * 10 * 0.79 * 9.81 = 7.9 \text{ kN}$$

Fuerza necesaria en el contrapeso, REXNORD recomienda que es 0.3% de la fuerza última de tensión (177.9 kN), de la ecuación 2.31:

$$P_t = 0.003 * 2 * P_u \text{ ec. 2.31}$$

Donde:

$P_t$  = Tensión de contrapeso kN

$P_u$  = Fuerza última de tensión de la cadena 177.9 kN

$$P_t = 0.003 * 2 * 177.9 = 1.1 \text{ kN}$$

Ahora se calcula la tensión total de la cadena de la ecuación 2.29:

$$P_m = 0.5 * 1.1 + 7.9 + 57.2 = 65.7 \text{ kN}$$

Fuerza en el lado flojo de la cadena:

$$P_1 = 0.5 * P_t + WRg \quad \text{ec. 2.32}$$

Donde:

$P_1$  = Fuerza del lado flojo kN

$P_t$  = Tensión de contrapeso 1.1 kN

$W$  = Peso de la cadena, accesorios y el cangilón 158.9 kg/m

$$P_1 = 0.5 * 1.1 + \frac{122.4 * 26 * 9,81}{1000} = 31.8 \text{ kN}$$

Se tiene una carga de diseño de la ecuación 2.30:

$$DWL = 1.1 * 1.3 * 65.7 = 93.95 \text{ kN}$$

Se tiene una carga de trabajo de 93.95 kN, por lo que es menor que la carga de trabajo de la cadena seleccionada ER984, a continuación en la tabla 2.39 se encuentran las fuerzas que actúan en la cadena, y en la figura 2.39 se encuentra un esquema de las fuerzas sobre EC-1.

Fuerzas	kN
Fuerza para desplazar el material y partes móviles de la cadena	65.7
Fuerza en el lado flojo	31.8
Fuerza de dragado de material	8.9
Fuerza de contrapeso	1.1

**Tabla 2.39 Fuerzas en el elevador de cadena EC-1**

Capacidad máxima del elevador

Ahora se puede calcular la capacidad máxima que tiene el elevador con la ecuación 2.33:

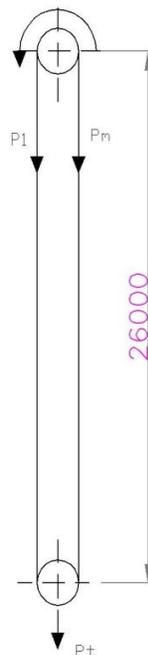
$$TPH = \frac{0.75(S_{ec-1})(M)}{33.3} \quad ec. 2.33$$

Donde:

TPH = Capacidad máxima en ton/h

$S_{EC-1}$  = Velocidad del elevador 255 ft/min (1.3 m/s)

M = Peso del material elevado por cada cangilón 101.8 kg/m (68.4 lbs/ft).



**Figura 2.33 Esquemas de Fuerzas en el Elevador EC-1**

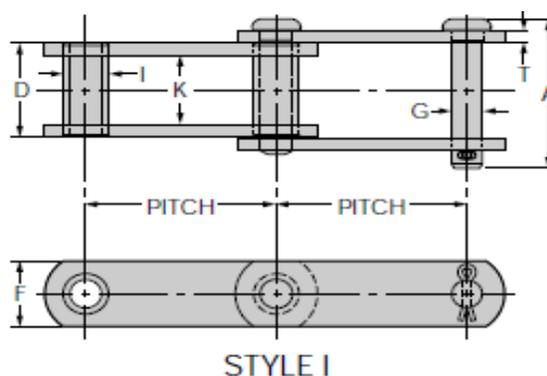
$$TPH = \frac{0.75(255)(80.23)}{33.3} = 393 \text{ TPH}$$

Se tiene una capacidad máxima de elevación de 393 TPH, que es un 27% más de la capacidad requerida de 320 TPH.

#### Características de la cadena seleccionada

La cadena seleccionada es la ER984 en la tabla 2.40 se encuentran las características técnicas y en la figura 2.34 se tiene un esquema del mismo.

Se tiene una longitud total de cadena de 55 m.



**Figura 2.34 Cadena tipo ER984 para EC-1**

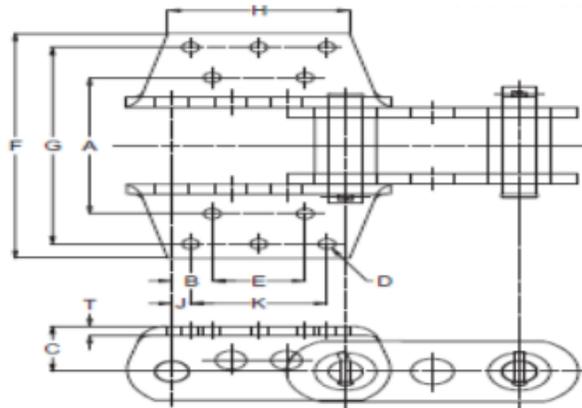
Estilo	Paso	Carga de Trabajo (kN)	RPM Máximo	Fuerza mínima (kN)	Peso kg/m	Pin y Chaveta (in)
I	7	106.8	40	177.9	49.1	A 7.35
barras laterales (in)	Barras Laterales (in)		Propiedades	Pins (in)		Rueda No.
K	T	F	TH	G	Propiedades	984
3.75	0.62	4		1.38	CIH	
Bujes (in)	D (longitud)	5				
	I (Diam. Ext.)	2.5				

**Tabla 2.40 Característica de la cadena ER984**

Los Bujes son carburizados, mientras que los pins o pasadores son selectivamente endurecidos por inducción, las juntas son selladas engrasadas en su interior.

### Selección de los sistemas de unión entre cangilón y cadena

Con el Tipo de Cadena se ingresa al apéndice Z, y se determinará que el tipo de sujetador es el K443<sup>[54]</sup>, en la figura 2.35 se encuentra un esquema de los sujetadores y sus dimensiones.



**Figura 2.35 Esquema de sujetadores K443 para EC-1**

### Cálculo de potencia

Ahora en la ecuación 2.34 se calcula la potencia necesaria para el movimiento del elevador:

$$HP = \frac{1.15(S_{EC-1})(M_{EC-1}DK + M_{EC-1}R)}{33000} \quad ec. 2.34$$

Donde:

$S_{EC-1}$  = Velocidad de la cadena 255 ft/min (1.3 m/s)

$M_{EC-1}$  = Peso del material elevado 101.8 kg/m (68.4 lbs/ft)

D = Diámetro de la rueda 790 mm (2.6 ft)

K = Factor de arrastre, 10 para descargas centrífugas.

R = distancia entre centros 26 m (85.3 ft)

$$HP = \frac{1.15(255)(68.4 * 2.6 * 10 + 68.4 * 85.3)}{33000} = 67.6 HP$$

### Capacidad en CFH

Ahora se puede calcular con la ecuación 2.35 la capacidad en pies cúbicos por hora (CFH), que servirá para la selección de componentes y dimensiones del elevador de cangilones:

$$CFH = \frac{TPH * 2000}{\rho} \quad ec. 2.35$$

Donde:

TPH = Se tiene 393 ton/h

$\rho$  = Densidad de 81.2 lbs/ft<sup>3</sup> (1300 kg/m<sup>3</sup>)

$$CFH = \frac{393 * 2000}{81.2} = 9700 \text{ ft}^3/h$$

### Distancia entre apoyo de las ruedas de tracción

En la tabla 2.41 se podrá verificar la distancia recomendada entre soportes de las ruedas de tracción para 9700 CFH que es de 760 mm para el tambor motriz y de cola.

CFH	A(mm)
2300 - 3500	610 – 762
470 - 6500	940
8100 - 9800	1054 – 1300
12300 – 14800	1360 – 1511
17300	1664
19800	1816

**Tabla 2.41 Distancia entre apoyos para EC-1<sup>[54]</sup>**

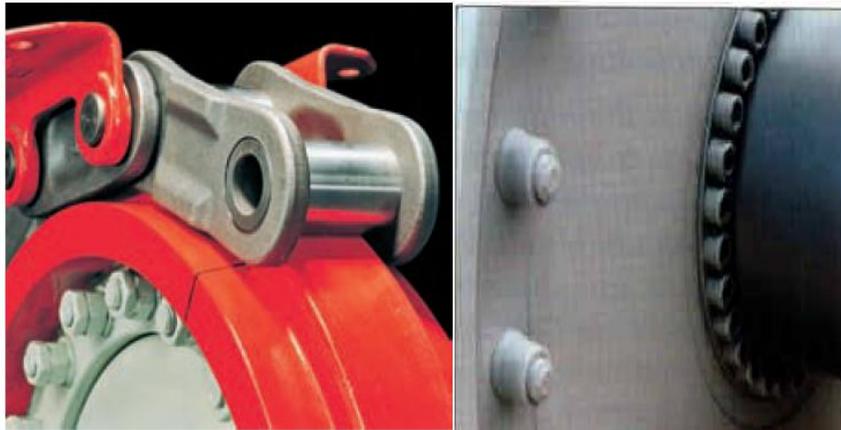
### Material del Eje

CEMA recomienda que el material del eje puede ser de acero AISI C1018 o C1045, se selecciona el C1045 que es el más comercial y tiene un esfuerzo de fluencia de 45000 PSI (310 MPa), esfuerzo máximo de 81900 PSI (565 MPa).

### Selección de la ruedas de tracción

Una rueda de tracción es una rueda motriz lisa (sin dientes) que transmite la fuerza motriz a la cadena por fricción. Los casquillos y mallas interior y exterior forman parte del sistema motriz.

La rueda de tracción está constituida por anillos segmentados de la rueda que son carburizados a profundidad y endurecidos por inducción a 60 RC. Las ruedas de tracción para el eje del cabezal se proporciona con mazas sólidas utilizando anillos de sujeción sin chaveta como estándar en los elevadores de alto rendimiento. Los anillos de sujeción sin chaveta aseguran una fijación de la rueda en el eje reduciendo las concentraciones de esfuerzo en el eje. En la figura 2.36 se observa su función y constitución.



**Figura 2.36 Rueda de Tracción**

Se tiene una velocidad de transporte de 1.3 m/s y una velocidad de giro máximo de la rueda de 40 RPM (4.19 rad/s), por lo que se tiene:

$$v = w * r \quad \text{ec. 2.35}$$

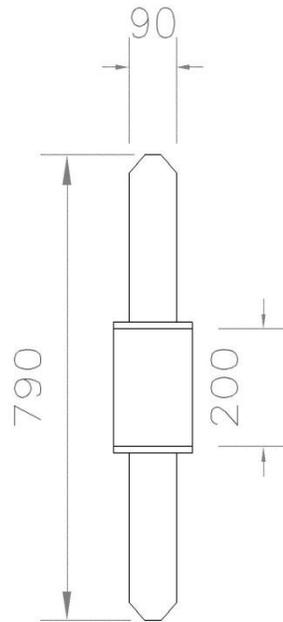
$$r = \frac{v}{w} = \frac{1.3}{4.19} = 0.310 \text{ m}$$

Por lo que se tiene un diámetro mínimo de la rueda de 620 mm (25 in), se selecciona uno mayor de 790 mm (30 in, diámetro primitivo) ahora se tiene una velocidad de giro de 32 RPM. Con el tipo de cadena seleccionado ER984 equivalente a la rueda número 984 se ingresa al apéndice Z y se obtiene un ancho de la rueda de 3.50 in (90 mm).

A continuación se calcula el torque de la rueda motriz con la potencia calculada de 67.6 HP, con la ecuación 2.36:

$$T = \frac{HP * 63000}{(RPM)} = \frac{67.6 * 63000}{32} = 133100 \text{ lbs} - \text{in} \text{ ec. 2.36}$$

Se tiene un torque de 133100 lbs-in, se selecciona el cubo de la rueda en el apéndice Z se tiene un cubo tipo P con sus dimensiones en la figura 2.37 se muestra un esquema de la rueda de tracción seleccionada.



**Figura 2.37 Rueda de Tracción Motriz**

La rueda de tracción motriz tiene un peso aproximado de 131.2 lbs (60 kg), determinada por la ecuación 2.37:

$$W_t = [0.22 * PD * 2 * PW] + W \text{ ec. 2.37}$$

Donde:

PD = Diámetro primitivo 30 in.

PW = Espesor de la rueda 3.5 in.

W = Peso del cubo 85 lbs (apéndice Z)

$$W_t = [0.22 * 30 * 2 * 3.5] + 85 = 131.2 \text{ lbs}$$

Para la polea de cola se tiene el mismo diámetro primitivo de 30 in (790 mm), con un espesor de 3.5 in (90 mm), en el apéndice Z se tiene el cálculo del diámetro del eje obteniendo un diámetro de 370 mm.

En la tabla 2.42 se encuentran las características de las ruedas de tracción seleccionadas.

<b>Rueda de Tracción</b>	<b>Motriz</b>	<b>Cola</b>
<b>Ancho (mm)</b>	90	90
<b>Diámetro (mm)</b>	790	790
<b>Distancia entre apoyos (mm)</b>	760	760
<b>Fuerza Resultante (kN)</b>	98.1	1.2
<b>Peso de la Rueda (kg)</b>	60	137*
<b>Velocidad (RPM)</b>	32	32
<b>Material del eje</b>	AISI C1045	AISI C1045
<b>Diámetro del eje (mm)</b>	200	470
<b>Capacidad de Carga del rodamiento (kN)</b>	379.2	245.62

**Tabla 2.42 Características de las ruedas de tracción de EC-1**

\*Peso dado por el fabricante

### Eficiencias mecánicas de reductores de velocidad

En el apéndice L se encuentran las eficiencias mecánicas de los reductores de velocidad según CEMA, se utilizará reductor de engranajes helicoidales con reducción doble con una eficiencia mecánica de 97%.

### Eficiencia del motor

La eficiencias de los motores eléctricos normalmente están entre un rango de 90 al 95%, se escoge 95%.

### Selección del motor

Se calculó una potencia de 67.6 HP, se tiene una eficiencia del motor de 95%, con la ecuación 2.3 dada anteriormente se calcula la potencia necesaria en la rueda de tracción motriz:

$$P_m = \frac{P}{n} = \frac{67.6}{0.95} = 71.2 \text{ HP}$$

Ahora se calcula las pérdidas por reductor de 3%, para reductores helicoidales de doble reducción dada por la ecuación 2.4:

$$Pot_r = 0.03 * 67.6 = 2.03 \text{ HP}$$

Se tiene una potencia total de 73.23 HP, por lo que se selecciona un motor de 75 HP de potencia, en la tabla 2.43 se tiene las características con frame según IEC 225M:

<b>Motor eléctrico ABB IEC 255M</b>		
<b>Tipo</b>	-	M2QA225M4B
<b>Velocidad</b>	RPM	1780
<b>Eficiencia</b>	%	95
<b>Factor de Servicio</b>	-	1,15
<b>Corriente nominal</b>	A	89.8
<b>Voltaje</b>	V	440
<b>Torque nominal</b>	Nm	338
<b>Momento de inercia</b>	Kgm2	0,62440
<b>Peso</b>	Kg	351
<b>Ruido</b>	dBA	78

**Tabla 2.43 Características del motor ABB IEC 255M para EC-1**

En el apéndice O se tiene las dimensiones del motor con frame según IEC 225M.

#### Selección de la caja reductora para EC-1

Debido a la potencia del motor muy alta se requiere otro tipo de reductor, en este caso se usará reductor marca FLENDER <sup>[55]</sup> para elevadores de cangilones, de la ecuación 2.13 se tiene:

$$i_N = \frac{n_1}{n_2} \text{ ec. 2.13}$$

Donde:

N1 = RPM de entrada del motor.

$N_2$  = RPM de salida del elevador de cangilones en la rueda motriz es de 32 RPM.

$$i_N = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1800}{32} = 56.25$$

Ahora se calcula la potencia nominal con la ecuación 2.38:

$$P_N = P_1 x f_1 x f_2 \text{ ec. 2.38}$$

Donde:

$P_N$  = La ecuación nominal 75 HP (55.97 kW)

$F_1$  = factor de Operación para un elevador de cangilones para trabajo de 10 horas se tiene un factor de 1.4 como se muestra en la tabla 2.44

Máquina	Periodo de Operación en horas		
	menor a 0.5	entre 0.5 y 10	mayor a 10
Elevador de Cangilones	-	1.4	1.5
Transporte por cabrestrante	1.4	1.6	1.6
Polipastos	-	1.5	1.8
Banda transportadora menor a 150 kW	1	1.2	1.3
Elevadores de carga	-	1.2	1.5
Banda Dosificadoras	-	1.5	
Escalera mecánica	1	1.2	1.4

Tabla 2.44 Factores de operación para selección de reductor de EC-<sub>1</sub><sup>[55]</sup>

F2 = Factor según el tipo de motor, en este caso se tiene un motor eléctrico por lo que se tiene un factor de 1.0 como se muestra en la tabla 2.45:

	<b>Factor f2</b>
<b>Motores Eléctricos, motores hidráulicos, turbinas</b>	1
<b>Motores de Pistones 4 - 6 cilindros, variación cíclica 1:100 a 1:200</b>	1.25
<b>Motores de Pistones 1 - 3 cilindros, variación cíclica de 1:100</b>	1.5

**Tabla 2.45 Factor según del tipo de motor para EC-1<sup>[55]</sup>**

$$P_N = 55.97 \times 1.4 \times 1.0 = 78.4 \text{ kW}$$

Con el radio de transmisión de 56.25, una potencia nominal de 78.4 kW, para velocidad del motor de 1800 RPM, para un modelo de reductor B3 se ingresa al apéndice Z, y se selecciona el tipo de unidad reductora 508, con una velocidad de salida de 32 RPM y un radio de transmisión de 56.

En la tabla 2.46 se encuentran las dimensiones y características del reductor incluyendo las dimensiones del acople EUPEX B140 entre reductor y motor eléctrico, también se tiene un Backstop incorporado.

Tipo de caja reductora	Dimensiones en mm				
	Entrada				
508	<b>d1</b>	<b>l1</b>	<b>l3</b>	<b>G1</b>	<b>G3</b>
	50 m6	110	90	737	757
	Ventilador				
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>B1</b>	<b>d6</b>	<b>G6</b>
	275	330	225	160	772
	Unidad Reductora				
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>c1</b>	<b>D5</b>
	962	295	35	30	28
	<b>E</b>	<b>e3</b>	<b>H</b>	<b>h</b>	<b>h5</b>
	431	160	610	280	430
	<b>m1</b>	<b>m3</b>	<b>n1</b>	<b>n2</b>	<b>n3</b>
	702	230	129	240	552
	<b>n4</b>	<b>s</b>	<b>Backstop</b>	<b>D8</b>	<b>G8</b>
	250	24		175	295
	N-EUPEX B140				
<b>Sx</b>	<b>NL</b>	<b>D2</b>	<b>A</b>	<b>D1</b>	
3	55	60	∅315	40	

**Tabla 2.46 Caja reductora modelo B3SH tipo 508 para EC-1<sup>[55]</sup>**

En la figura 2.38 se encuentra un esquema de la caja reductora tipo B3SH con número de parte 2LP2020-7AB00-0NA1, con un peso de 630 kg.

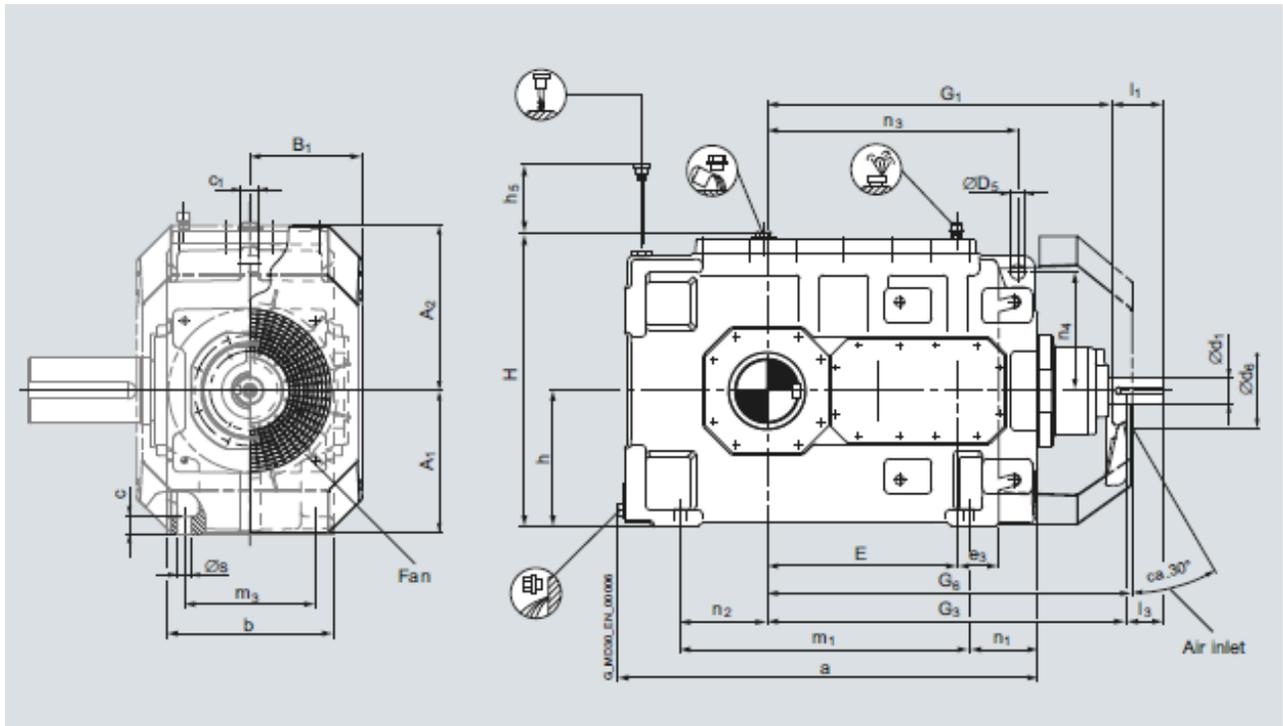


Figura 2.38 Esquema de la caja reductora B3SH para EC-1<sup>[55]</sup>

### Trayectoria del material

Como se determinó la trayectoria del material para las bandas transportadoras igualmente se lo determina para el elevador de cangilones con una velocidad de 1.3 m/s e intervalos de tiempo de 0.05

$$X = vt \text{ ec. 2.8}$$

$$Y = \frac{gt^2}{2} \text{ ec. 2.9}$$

$$X = 1.3 * 0.05 = 65 \text{ mm} \quad Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.05^2}{2} = 12.25 \text{ mm}$$

$$X = 1.3 * 0.1 = 130 \text{ mm} \qquad Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.1^2}{2} = 49 \text{ mm}$$

$$X = 1.3 * 0.15 = 195 \text{ mm} \qquad Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.15^2}{2} = 110.25 \text{ mm}$$

$$X = 1.3 * 0.2 = 260 \text{ mm} \qquad Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.2^2}{2} = 196 \text{ mm}$$

$$X = 1.3 * 0.25 = 325 \text{ mm} \qquad Y = \frac{gt^2}{2} = \frac{9.8 * 0.25^2}{2} = 306.25 \text{ mm}$$

Con la ecuación 2.39 se tiene la fuerza centrífuga:

$$F_c = \frac{m * V^2}{R_{c.g.}} \text{ ec. 2.39}$$

Donde:

$F_c$  = Fuerza centrífuga en N.

M = La masa del cangilón con la ecuación 2.39.1

$$m = \rho * f = 1300 * 0.0418 = 54.34 \text{ kg}$$

$R_{c.g.}$  = Radio hacia el centro de gravedad del cangilón con la ecuación

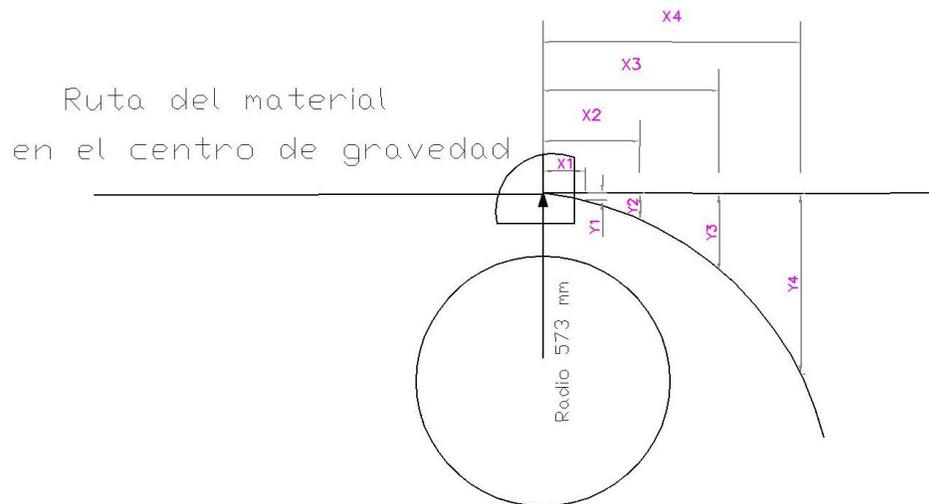
2.39.2 se tiene

$$R_{c.g.} = \text{Radio de la Rueda} + \text{Espesor de Cadena } F + \bar{x}$$

$$R_{c.g.} = 0.395 + 0.102 + 0.0762 = 0.573 \text{ m}$$

$$F_c = \frac{54.34 * 1.3^2}{0.573} = 160.3 N$$

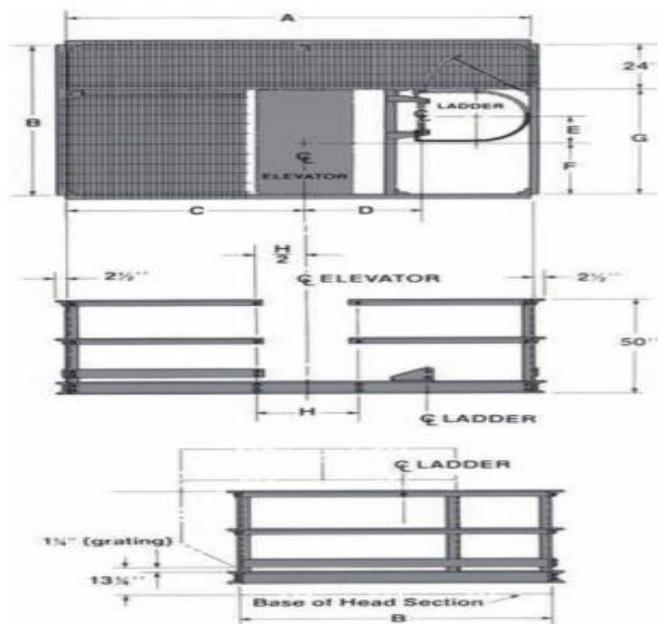
En la figura 2.39 se puede observar la trayectoria del material:



**Figura 2.39 Trayectoria del material en EC-1**

#### Peso estructural del elevador de cangilones EC-1

Se tienen 8 módulos de acero de ¼" de espesor con un peso de 620 kg, se tienen 110 cangilones de 32.5 kg, el peso de la cadena de 32.73 kg/m, peso de los sujetadores para 110 cangilones es de 86.3 kg, también se tiene la plataforma de mantenimiento que se encuentra en el cabezal motriz del elevador cumpliendo con la norma OSHA, tiene un peso de 5800 kg, en la figura 2.40 se muestra un esquema.



**Figura 2.40 Esquema de plataforma de mantenimiento**

A continuación en la tabla 2.47 se presenta el peso estructural total del elevador de cangilones EC-1:

Sección	Cantidad	Peso kg	Total
Módulos	620	8	4960
Cangilones	110	32.5	3575
Cadena	55 m	86.3kg/m	4746.5
Plataforma de Mtto.	1	5800	5800
Cabezal motriz	1	2381	2381
Bota	1	1997	1997
			<b>23459.5</b>

**Tabla 2.47 Peso Estructural del Elevador de Cangilones EC-1**

## 2.5. Selección de bandas dosificadoras

Banda dosificadora o alimentador de placas metálicas son unas placas unidas articuladamente que se deslizan arrastradas mediante un tambor de cabeza motriz y retornan por medio de otro tambor de cola, en este caso trabajan en fondo de cada tolva, admite regulación de velocidad en carga utilizando un variador de frecuencia. Puede trabajar con materiales desde 12 mm, tienen capacidades de hasta 2000 ton/h, velocidades de avance hasta 4.5 m/min. En la figura 2.41 se observa un esquema de la banda de placas metálicas.



**Figura 2.41 Alimentador de Placas metálicas**

En la tabla 2.7 se encuentra sus respectivas condiciones de operación y requerimientos, los transportadores deben tener una inclinación de  $16^\circ$ , en BD-1 se transportará puzolana con una densidad de  $800 \text{ kg/m}^3$  con una capacidad de 50 ton/h; para BD-2 transportará clínker a 70 ton/h con una densidad de  $1300 \text{ kg/m}^3$ ; para BD-3 se tiene yeso a 40 ton/h con una densidad de  $1120 \text{ kg/m}^3$ ; y en BD-4 se tiene caliza a 40 ton/h con una densidad de  $1200 \text{ kg/m}^3$ .



**Figura 2.42 Bandejas Estilo A**

Soporta temperatura desde la ambiental hasta  $300^\circ\text{C}$ , con ángulos de inclinación hasta  $20^\circ$ .

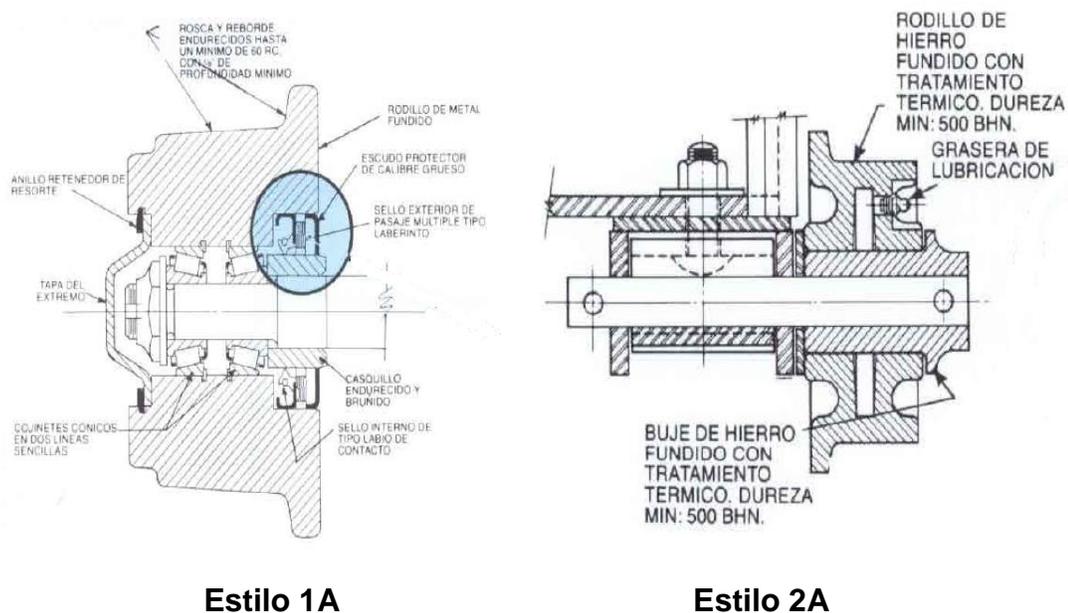
En la tabla 2.48 se selecciona el tipo de rodillos según su aplicación, para servicio mediano, caliente como máximo  $100^\circ\text{C}$ , abrasivo, se tiene la puzolana con tipo de rodillo 1A reengrasable para BD-1; para servicio mediano, temperatura ambiente  $25^\circ$ , abrasivo, para el clínker se tiene el tipo de rodillo 1A reengrasable; luego se tiene el yeso, servicio mediano,

medianamente abrasivo, temperatura ambiente, se escoge el rodillo 2A con sello metálico tipo laberinto; y la caliza medianamente abrasiva, temperatura ambiente, servicio mediano se selecciona el 2A con sello metálico tipo laberinto.

Tipo de Rodillo	Aplicación
2 y 2A	Conductores de caña de azúcar
	Transportadores de cal caliente
	Transportadores de piezas fundidas
	Transportadores de caliza, carbón y mineral
	Liviano
	Alimentadores para servicio mediano
	Desechos sólidos
1 y 1A	Transportadores de escoria caliente y cemento
	Transportadores de productos sinterizados calientes
	Transportadores de productos pellorizados calientes y salida de emergencia
	Servicio en ambientes calientes y abrasivos
	Alimentadores para servicio mediano para materiales abrasivos
	Cumple con los niveles requeridos de disminución de ruido
	Baja fricción- alta velocidad, requieren potencia mínima

**Tabla 2.48 Tipos de rodillos para Transportadores de placas metálicas**

En la figura 2.43 se puede observar las características de los rodillos.



**Figura 2.43 Tipos de Rodillos de Transportadores metálicos**

En la tabla 2.49 se tiene la velocidad máxima del transportador según el tipo de rodillo seleccionado.

VELOCIDAD MÁXIMA DE RODILLOS		
TIPO	2 Y 2A	0.3 m/s
TIPO	1 Y 1A	0.6 m/s

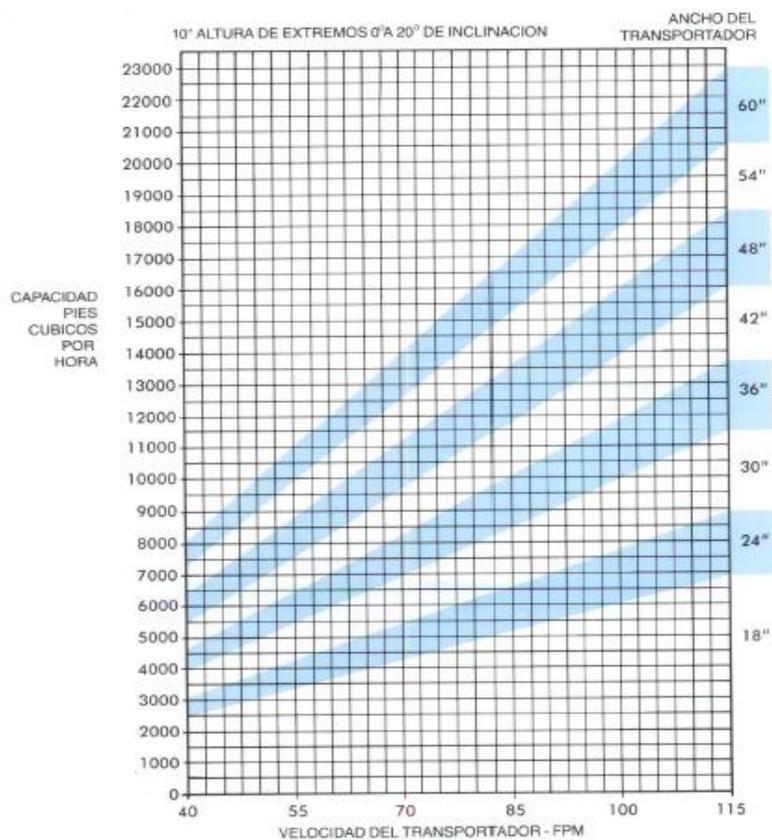
**Tabla 2.49 Velocidad máxima de rodillos**

Se escogen velocidades preliminares para los materiales, y se convierten los valores a  $\text{ft}^3/\text{h}$  dividiendo la capacidad de cada material para la

densidad, para la selección de la banda de placas metálicas en la figura 2.44, las velocidades y conversiones se encuentran en la tabla 2.50.

Banda	Material	m/s	ft3/h	FPM
BD-1	Puzolana	0.2	2207	40
BD-2	Clínker	0.2	1902	40
BD-3	Yeso	0.3	1261	59
BD-4	Caliza	0.3	1177	59

**Tabla 2.50 Velocidades y Capacidades para las bandas de placas metálicas**



**Figura 2.44 Selección del Ancho de Bandas Transportadoras metálicas**

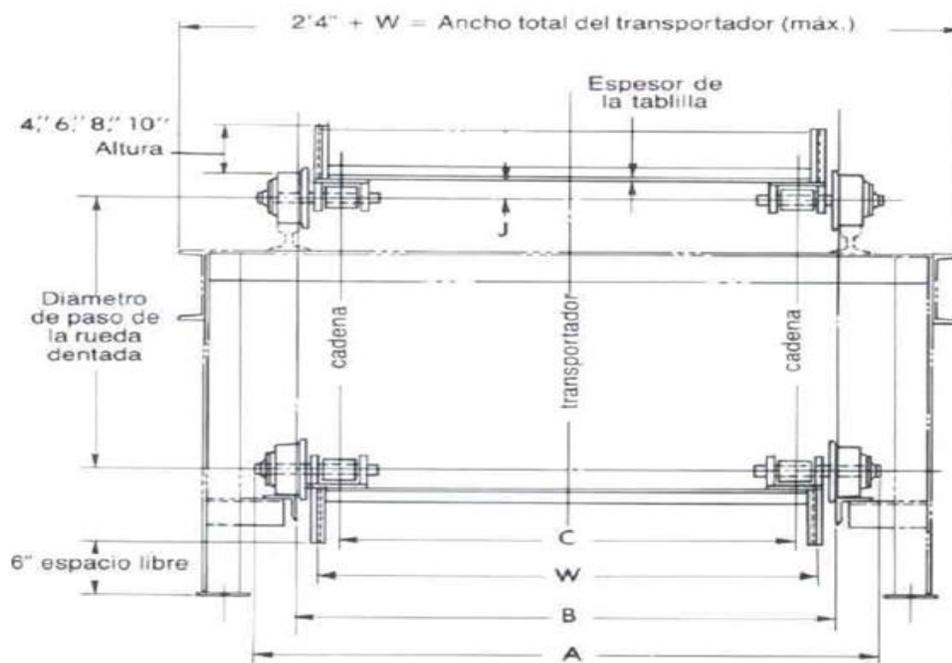
Las bandas de placas metálicas para la puzolana y el clinker tiene un ancho de banda de 18”(457 mm), a una velocidad de 52 FPM (0.26 m/s), las bandas de placas para el yeso y la caliza también tienen un ancho de 18” (457 mm), con una velocidad de 85 FPM (0.43 m/s). El siguiente paso es seleccionar el tipo de rueda dentada como se muestra en la tabla 2.51:

<b>No. De Dientes (Diámetro de paso pulg)</b>				
<b>Vel. Límites</b>	<b>PASO DE CADENA (pulg)</b>			
<b>FPM</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	
0 - 40	15T(28.86")	6T(18")	6T(24")	
41 -55			8T(23.52")	8T(31.36")
56 -70		10T(29.12")		10T(38.83")
71 - 85				
86 - 115				

**Tabla 2.51 Selección de Paso de cadena y Número de dientes**

Para bandas de placas metálicas estilo A se recomiendan pasos de 9 in o 12 in, se seleccionará pasos de 12 in para todas las bandas ya que resisten una mayor carga de trabajo, para las bandas BD-1 y BD-2 se tiene paso 12 in, 8 dientes en la rueda dentada, diámetro primitivo de la rueda 31.36 in (800 mm); para las bandas BD-3 y BD-4 se tiene paso 12 in, 10 dientes en la rueda dentada, diámetro primitivo de la rueda 38.83 in (986 mm).

En la figura 2.45 se muestra la sección transversal del transportador para un ancho  $W$  de 18" estilo de banda A.



**Figura 2.45 Sección transversal de los Transportadores de placas Metálicas**

### Selección de cadenas

Para la selección de las cadenas se lo realizará según el catálogo REXNORD <sup>[53]</sup>, con las condiciones de operación mencionadas anteriormente, generalmente se tienen distancias entre centros de 4 a 12 m, hay casos especiales cuando la distancia exceden los 12 m por lo que se consulta al fabricante, en esta situación las bandas de placas metálicas

BD-1 tiene 12 m, mientras que las bandas BD-2, BD-3 y BD-4 tienen 8 m de distancia.

Se usará la ecuación 2.40 para el cálculo de la fuerza máxima en cada cadena:

$$P_{mBD} = X \left( 2f_1 W_{BD} + f_2 M + \frac{h^2}{c} \right) + MY \quad ec. 2.40$$

Donde:

$P_{mBD}$  = Tensión máxima de la cadena kN

$X$  = Distancia entre centros m.

$f_1$  = Coeficiente de fricción de los rodillos de cadena sobre los rieles, 0.2

$W_{BD}$  = Peso de las partes en movimiento, el peso de las cadenas para la clase de rodillos 1A se tiene 5 lbs/ft (7.4 kg/m), para rodillos clase 2A se tiene 10lbs/ft (14.9 kg/m).

$$W = 0.0015 * M * X \quad ec. 2.41$$

$f_2$  = Factor de fricción entre el material y el acero, se verifica en la tabla 2.64.

$C$  = Constante de fricción lateral, se verifica en la tabla 2.52

M = Peso del material transportado por metro de banda, se lo determina con la ecuación 2.41

$$M = \frac{TPH \times 33.3}{S} \quad \text{ec. 2.42}$$

S = Velocidad de la banda en FPM.

Y = Distancia vertical ft.

h = Altura del borde lateral, 10".

Material	Factor de Fricción entre el acero (f2)	Factor de Fricción lateral C
aluminio	0.4	27
Cenizas, Carbón, Seco	0.5	36
cenizas, Carbón, Húmedo	0.6	55
Bagaso	0.4	200
Cemento Portland	0.65	12
Cemento Cínker	0.7	12
Carbón, Antracita	0.4	25
Carbón, Antracita de la mina	0.45	20
Carbón, Bituminoso	0.5	21
Coke, mezclado	0.55	42
granos	0.4	23
Grava, seco	0.45	12
Grava, extraída de la orilla	0.6	11
Caliza, trozos	0.5	28
Arena, seca	0.6	7
Puzolana	0.7	40
Trozos de madera	0.4	48
Yeso	0.6	28

**Tabla 2.52 Factor de fricción entre el acero y el material** <sup>[53]</sup>

Ahora se calcula el peso de material transportado por metro de banda con la ecuación 2.42:

$$M_{BD-1} = \frac{TPH \times 33.3}{S} = \frac{50 * 33.3}{52} = 32.02 \text{ lb/ft}$$

$$M_{BD-2} = \frac{TPH \times 33.3}{S} = \frac{70 * 33.3}{52} = 44.8 \text{ lb/ft}$$

$$M_{BD-3} = M_{BD-4} = \frac{TPH \times 33.3}{S} = \frac{40 * 33.3}{85} = 15.67 \text{ lb/ft}$$

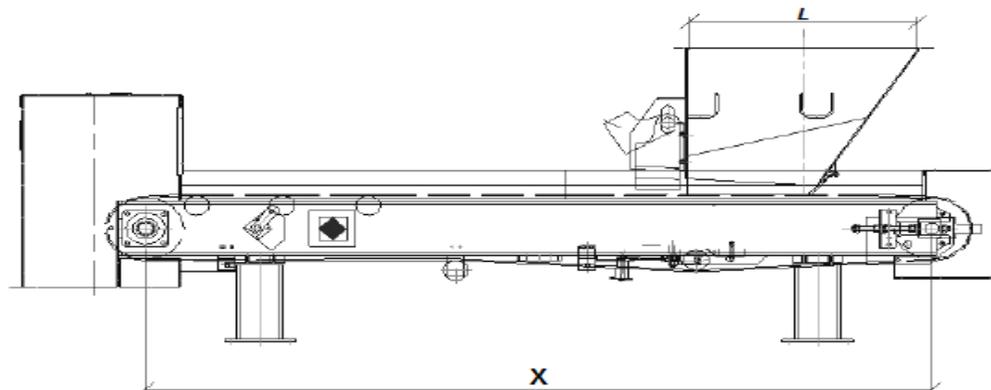
Ahora se procede al cálculo del peso de las partes móviles de las bandas con la ecuación 2.40:

$$W_{BD-1} = 0.0015 * 32.02 * 39.4 = 1.9 \text{ lb/ft}$$

$$W_{BD-2} = 0.0015 * 44.8 * 26.3 = 0.6 \text{ lb/ft}$$

$$W_{BD-3} = W_{BD-4} = 0.0015 * 15.67 * 26.3 = 0.6 \text{ lb/ft}$$

En la figura 2.46 se encuentra un esquema de la banda dosificadora, donde se puede observar la distancia X que es la proyección horizontal, por lo que la banda BD-1 tiene 11.5 m, mientras que BD-2, BD-3 y BD-4 tienen 7.7 m de proyección horizontal; la distancia Y para BD-1 tiene 3.5 m, mientras que para BD-2, BD-3 y BD-4 tienen 2.4 m de elevación.



**Figura 2.46 Esquema de bandas Transportadoras metálicas**

Ahora con los parámetros y cálculos realizados anteriormente se procede al cálculo de la tensión máxima de la ecuación 2.40. Luego se determina la carga de trabajo, donde se tiene que el factor de operación en la tabla 2.50 para temperaturas entre 93°C y 177°C se tiene 1.1, también el factor de velocidad para 10 dientes es de 1.1, mientras que para 8 dientes es de 1, de la ecuación 2.30, en la tabla 2.53:

Banda	Tensión Máxima Pm (Lbs)	Carga de Trabajo DWL (Lbs)
<b>BD-1</b>	1410.8	931.1
<b>BD-2</b>	1436	947.8
<b>BD-3</b>	560	406.6
<b>BD-4</b>	520.3	377.7

**Tabla 2.53 Carga de Trabajo de las bandas dosificadoras preliminar**

En el apéndice Z se selecciona la cadena tipo 1039 para todas las bandas y tiene una carga de trabajo de 4650 lbs., se procede a la verificación de

la cadena seleccionada, ya que tiene 4.3 lbs/ft (6.4 kg/m), por lo que se tiene un peso de sus partes móviles de 20 lbs/ft (30 kg/m), Ahora se tiene  $f_1$ , que se lo determina con la ecuación 2.43:

$$f_1 = 0.4 \left( \frac{d_a}{d_r} \right) \text{ ec. 2.43}$$

Donde:

$f_1$  = Factor de fricción de cadena

$d_a$  = Diámetro exterior del buje 1.75 in (ver apéndice Z)

$d_r$  = Diámetro exterior de rodillos 4 in (ver apéndice Z)

$$f_1 = 0.4 \left( \frac{1.75}{4} \right) = 0.175$$

Se vuelve a realizar a calcular la carga de trabajo de las bandas dosificadoras con los pesos reales de las cadenas en la tabla 2.54:

Banda	Tensión Máxima Pm (Lbs)	Carga de Trabajo DWL (Lbs)
BD-1	1571	1036.9
BD-2	1535	1013
BD-3	630	457.4
BD-4	590	428.3

**Tabla 2.54 Carga de Trabajo de las bandas dosificadoras final**

Como se puede apreciar todas las cargas de trabajo son menores a 4650 lbs., por lo que es satisfactoria la selección de la cadena tipo 1039. Ahora se puede observar en la tabla 2.55 las especificaciones y dimensiones según el número de cadena, también se puede observar estas dimensiones en la figura 2.51.

Ahora se procede al cálculo de la tensión del lado apretado  $P_1$  para las bandas de placas metálicas para posteriormente determinar la potencia necesaria requerida por los motores eléctricos. Con la ecuación 2.44 se calcula  $P_1$ :

$$P_1 = W(Y - f_1X) \quad \text{ec. 2.44}$$

De la ecuación 2.44 se tiene:

$$P_{1BD-1} = 20(11.5 - 0.175 * 37.7) = 98.1 \text{ lbs}(0.44 \text{ kN})$$

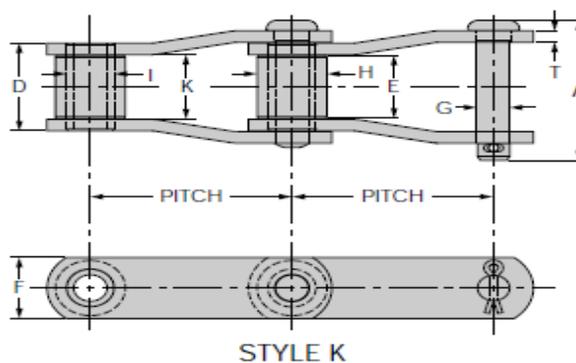
$$P_{1BD-3} = P_{1BD-2} = P_{1BD-4} = 20(7.9 - 0.175 * 25.3) = 69.5 \text{ lbs}(0.3 \text{ kN})$$

Cadena Rex No. Y paso promedio	Carga de trabajo permitida por tramo (Lbs)	Carga bruta permitida en el transportador, lbs/ft				A - (Extremos)	Tamaño del eje cuadrado corto (in)	Diámetro del rodillo (in)	A	C	J
		Estilo de Rodillo				W - Ancho nominal más (in)			Ancho nominal W más (in)	Ancho nominal W menos (in)	Distancia interior (in)
		No. 2/2A(in)		No. 1/1A (in)							
		EL	EOL	EL	EOL						
1039-M14 9.000	4,650	640	320	-	-	5 11/16	9/16	4	1 13/16	2 3/16	1
R2342-M14 9.000	9,000	1160	580	960	480	8 3/16	3/4	5	2 1/2	3 3/8	1 1/4
RR2397- M14 12.000	9,200	1460	730	1100	550	8 1/5	7/8	5	2 1/2	3 3/16	1 1/2
R1706-M14 12.000	14,000	1920	960	1420	710	8 5/8	1	5	2 13/16	4 3/16	1 5/8
R2614-M14 12.000	17,500	3420	1710	3200	1600	10	1 1/4	6	3 5/16	4 1/8	2 1/8
2648-M14 12.000	29,600	3180	1590	3200	1600	9 7/8	1 1/4	6	3 1/4	5 3/4	2 1/2

Tabla 2.55 Especificaciones y Dimensiones según el número de cadena <sup>[53]</sup>

### Características de las cadenas

Como se determinó anteriormente el tipo de cadena seleccionado es el 1039 que se puede observar sus dimensiones y especificaciones en el apéndice Z, los pasantes y rodillos son carburizados, máxima velocidad de las ruedas de dentadas es de 22 RPM, en la figura 2.47 se muestra un esquema de la cadena seleccionada estilo K.

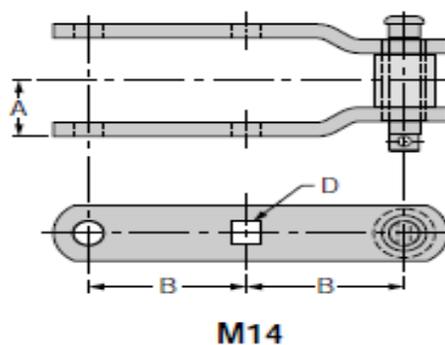


**Figura 2.47 Esquema de cadena tipo K para las bandas de placas metálicas <sup>[53]</sup>**

### Selección del sistema de sujeción

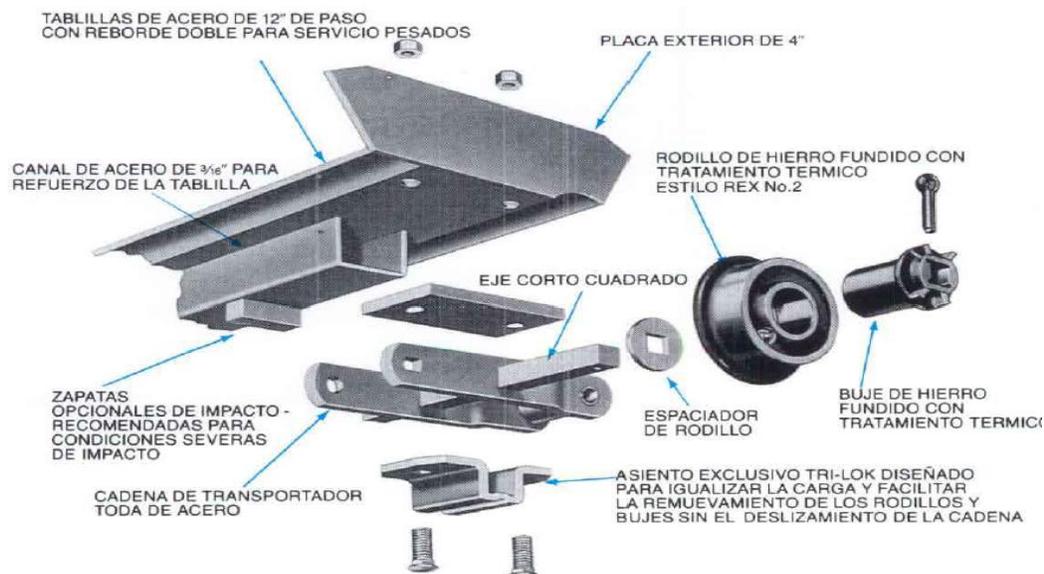
Con el tipo de cadena 1039 se ingresa al apéndice Z y se selecciona el M14 también se observa las características del tramo de cadena cuya función es unir los rodillos a un eje cuadrado, mientras que en la parte superior se acopla a la tablilla, en la figura 2.48 se muestra un esquema

del tramo de cadena sujetador M14 y en el apéndice Z se muestran las dimensiones.



**Figura 2.48 Sistema de Sujeción M14 para bandas de placas metálicas**

A continuación en la figura 2.49 se demuestra el ensamble entre la sujeción M14, los rodillos y las placas metálicas.



**Figura 2.49 Esquema del ensamble del transportador de placas metálicas**

### Espesor de las ruedas dentadas

Como se determinó anteriormente para BD-1 y BD-2 se tiene una rueda dentada de 31.36 in (800 mm), mientras que para BD-3 y BD-4 se tiene 38.83 in (986 mm), con el número de cadena RR2397 se ingresa al apéndice Z y se verifica que las ruedas dentadas tienen un espesor de 1.5 in (38.1 mm), con la ecuación 2.12 se verifica la velocidad de rotación de las ruedas dentadas.

$$\omega_{BD-1} = \omega_{BD-2} = \frac{V_t * 60}{2\pi * r_t} = \frac{0.3 * 60}{2\pi * 0.4} = 7 \text{ RPM}$$

$$\omega_{BD-3} = \omega_{BD-4} = \frac{V_t * 60}{2\pi * r_t} = \frac{0.4 * 60}{2\pi * 0.5} = 8 \text{ RPM}$$

### Cálculo de potencia

Una vez calculadas las fuerzas necesarias ( $P_m$  y  $P_1$ ), se procede a realizar el cálculo de la potencia con la ecuación 2.45:

$$Pot = \frac{1.15(S)(P_m - P_1)}{33000} \quad ec. 2.45$$

Donde:

Pot = Potencia de la banda de placas metálicas en HP.

S = Velocidad de la banda en ft/min.

$P_m$  = Fuerza de la tensión máxima en Lbs.

$P_1$  = Fuerza del lado flojo en Lbs.

### Eficiencias mecánicas de reductores de velocidad

En el apéndice L se encuentran las eficiencias mecánicas de los reductores de velocidad, se utilizará reductor de engranajes helicoidales de doble reducción con una eficiencia mecánica de 94%.

### Eficiencia del motor

La eficiencias de los motores eléctricos normalmente están entre un rango de 75% a 85%, se selecciona una eficiencia de 85%.

### Selección del motor

Con los datos anteriores se puede seleccionar el motor, con ayuda de las ecuaciones 2.3 y 2.4 que se definen a continuación:

Potencia del eje motriz:

$$P_m = \frac{P}{n} \text{ ec. 2.3}$$

Pérdidas por reductor es de 6%, con la ecuación 2.4:

$$Pot_r = 0,06(P) \text{ ec. 2.4}$$

A continuación, en la tabla 2.56 se muestran los resultados:

Banda	Potencia de las Placas (Hp)	Pérdidas por Reductor (Hp)	Potencia en el eje del Motor (Hp)
BD-1	3.5	0.21	4.4
BD-2	3.5	0.21	4.4
BD-3	2.2	0.13	3.1
BD-4	2.1	0.13	3.1

**Tabla 2.56 Potencia de las bandas dosificadoras**

En la tabla 2.57 se encuentran las características del motor y en el apéndice O se encuentran las dimensiones del motor según IEC 72-1 según el Frame, para cada una de las bandas.

Banda	Potencia en el motor HP	Corriente Nominal (A)	Torque nominal Nm	Inercia kgm <sup>2</sup>	Peso kg	Tipo	Frame según IEC
BD-1	5	7.2	20.4	0.01306	45	M2QA112M4A	112M
BD-2	5	7.2	20.4	0.01306	45	M2QA112M4A	112M
BD-3	4	7.2	16.8	0.00862	36	M2QA100L4B	100L
BD-4	4	7.2	16.8	0.00862	36	M2QA100L4B	100L

**Tabla 2.57 Motores de Bandas de placas metálicas**

### Selección de reductor

Se seleccionará una caja reductora marca REXNORD <sup>[40]</sup> que debe reducir los RPM del motor que es de 1800 RPM a la velocidad de las bandas BD-1 y BD-2 de 7 RPM, mientras que para las bandas BD-3 y BD-4 tienen 8 RPM.

Para seleccionar el reductor apropiado se debe calcular el radio de transmisión:

$$i_N = \frac{n_1}{n_2} \text{ ec. 2.13}$$

Donde:

N1 = RPM de entrada del motor.

N2 = RPM de salida requerido de la banda transportadora.

$$i_{NBD-1} = i_{NBD-2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1800}{7} = 257.1$$

$$i_{NBD-3} = i_{NBD-4} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1800}{8} = 225$$

Con la velocidad de salida de 7 RPM se ingresa al apéndice V, para un motor de 5 hp se tiene el modelo 09UWBQ2A71250A\_C con número de parte 4761037, con una velocidad de salida de 7 RPM para BD-1 y BD-2; se tiene el modelo 09UWBQ2A71212A\_C con número de parte 4761031 con una velocidad de salida de 7.9 RPM, para las bandas BD-3 y BD-4.

En la tabla 2.58 se tiene el resumen de las bandas de placas metálicas seleccionadas, con sus respectivos pesos:

T

<b>a</b> Banda <b>b</b>	Cadena Rex No. Y Paso Promedio	Rueda Dentada	Tipo de Rodillo	Motor HP	Tipo de Reductor	Peso Total (Kg)
<b>BD-1</b> <b>l</b>	1039-M14 9.000	8T (800mm)	1A	5	09UWBQ2A71250A_C	31043
<b>BD-2</b> <b>a</b>	1039-M14 9.000	8T (800mm)	1A	5	09UWBQ2A71250A_C	20980
<b>BD-3</b>	1039-M14 9.000	10T (986mm)	2A	4	09UWBQ2A71212A_C	20980
<b>BD-4</b>	1039-M14 9.000	10T (986mm)	2A	4	09UWBQ2A71212A_C	20980

**Tabla 2.58 Características de Bandas de Placas Metálicas**

## 2.6. Selección de criba

Cribas Vibratorias o Zarandas es una bandeja que lleva adosado un dispositivo vibrante (mecánico o electromagnético), que provoca el avance de las partículas mediante saltos. La velocidad de avance del material va de 0 a 24 m/min. Puede trabajar no solo en horizontal, sino con una inclinación de  $\pm 12^\circ$ . Se pueden utilizar para una gama muy amplia de tamaños de materiales (300 mm a menor de  $100\mu\text{m}$ ), tiene capacidades de hasta 3000 ton/h. En el proceso de estratificación las partículas gruesas

suben a la parte superior de la capa del material y las partículas pequeñas buscan su camino hacia la parte inferior de la capa a través de los espacios creados entre las partículas gruesas. La función de las cribas vibratorias consiste en la separación de materiales en fracciones de tamaños, evitando la contaminación excesiva de una fracción con partículas de otra fracción. En la figura 2.50 se puede observar la máquina vibratoria.

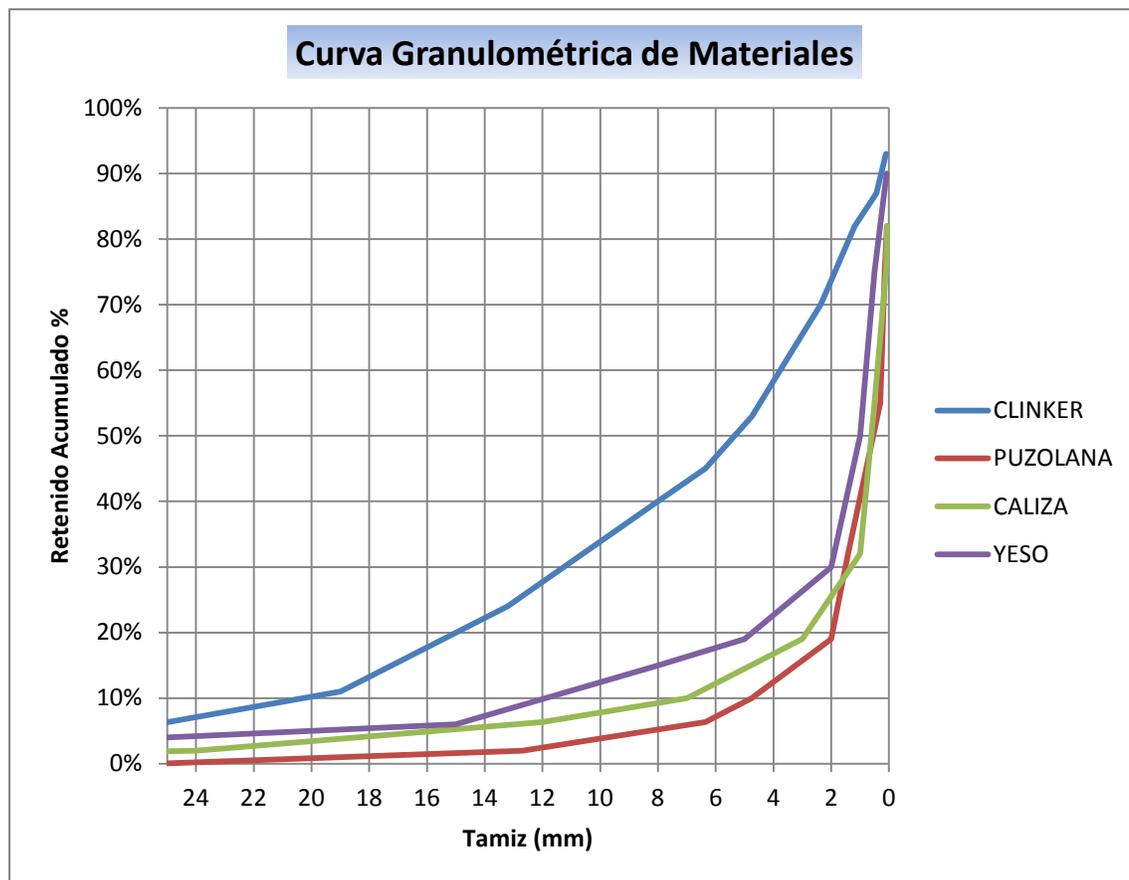


**Figura 2.50 Criba Vibratoria.**

Se seleccionará d la criba CV-1, la cual debe tener 320 ton/h de capacidad, tendrá dos mallas, la primera retendrá el material mayor a 80 mm, la segunda retendrá 80 – 6 mm, y la del fondo pasarán partículas de 4 mm dirigida hacia la tolva de alimentación SL2.

### Análisis granulométrico

En el departamento de calidad de la Industria de Cemento se realiza la clasificación granulométrica, que es la gradación de los materiales sedimentarios, para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna, en la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial, luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de los tamices y que en suma debe corresponder al peso del total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (conservación de la masa). Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. En la figura 2.51 se tiene la curva granulométrica que se alimenta a las cribas.



**Figura 2.51 Curva Granulométrica de Materiales**

Como se puede observar en la gráfica 2.51, el clinker tiene una mayor capacidad de retención, es decir, que el clinker se acumula o queda sobre el tamiz en mayor cantidad que los otros materiales, también se tiene una gran variedad de tamaños finos y gruesos. En la tabla 2.59 se encuentra los tamaños de granos de cada material.

Material	Tamaño Mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Clínker	0.1	25.4
Puzolana	0.044	100
Caliza	0.074	50
Yeso	0.063	25

**Tabla 2.59 Tamaño de Grano para selección de Cribas**

### Selección de tamices

Una vez determinado el tamaño de grano de los materiales máximo y mínimo, se procede a la selección de Tamices según la norma ASTM E-11/87, los Tamices deben dejar pasar granos mayores a 80 mm, dimensiones entre 80 y 6 mm y mientras que en el fondo de la criba solo pasaran los granos de tamaño menor o igual a 4 mm que posteriormente ingresarán al silo SL2. En la tabla 2.60 se encuentran los tamices seleccionados del apéndice AA.

Granulometría	Tamiz ASTM	Tamaño Real (mm)	Diámetro del Alambre (mm)
4 - 0	<b>Fondo</b>		
6 - 4	No. 5	4	1.37
8 - 6	No. 3 1/2	5.9	1.68
80 - 8	0.265"	7.05	1.87
100 - 80	3"	80	6.8
100	4"	100	6.3

**Tabla 2.60 Selección de Tamiz para la Criba<sup>[56]</sup>**

En la criba se tendrán dos bandejas la primera tendrá un tamiz de 3" ASTM, mientras que la segunda bandeja tendrá un tamiz No. 5 ASTM.

Dimensionamiento: cálculo del área de cribado

Se selecciona el tamaño de la criba basándose en el área de cribado y anchura de la criba. La anchura de la criba, por su parte, se calcula para proporcionar el espesor de la capa de material sobre la criba compatible con la malla usada.

El área de cribado se calcula con la ecuación 2.46:

$$A_{CV} = \frac{Q_u * S}{Q_{espec}} \quad ec. 2.46$$

Donde:

$A_{CV}$  = Área de Cribado, m<sup>2</sup>

$Q_u$  = Cantidad de partículas subdimensionadas en la alimentación, t/h

$S$  = Factor que puede asumirse entre 1 y 1.4, siendo una función del conocimiento y confianza que se tenga de los datos disponibles, se selecciona 1.4

$Q_{espec}$  = Capacidad específica determinada por la ecuación 2.46.1

$$Q_{espec} = A * B * C * D * E * F * G * H * I * J * K * L \quad ec.2.46.1$$

Donde:

A = Capacidad básica para la separación requerida en toneladas  $t/hm^2$ ,  
 dado por la figura 2.52.

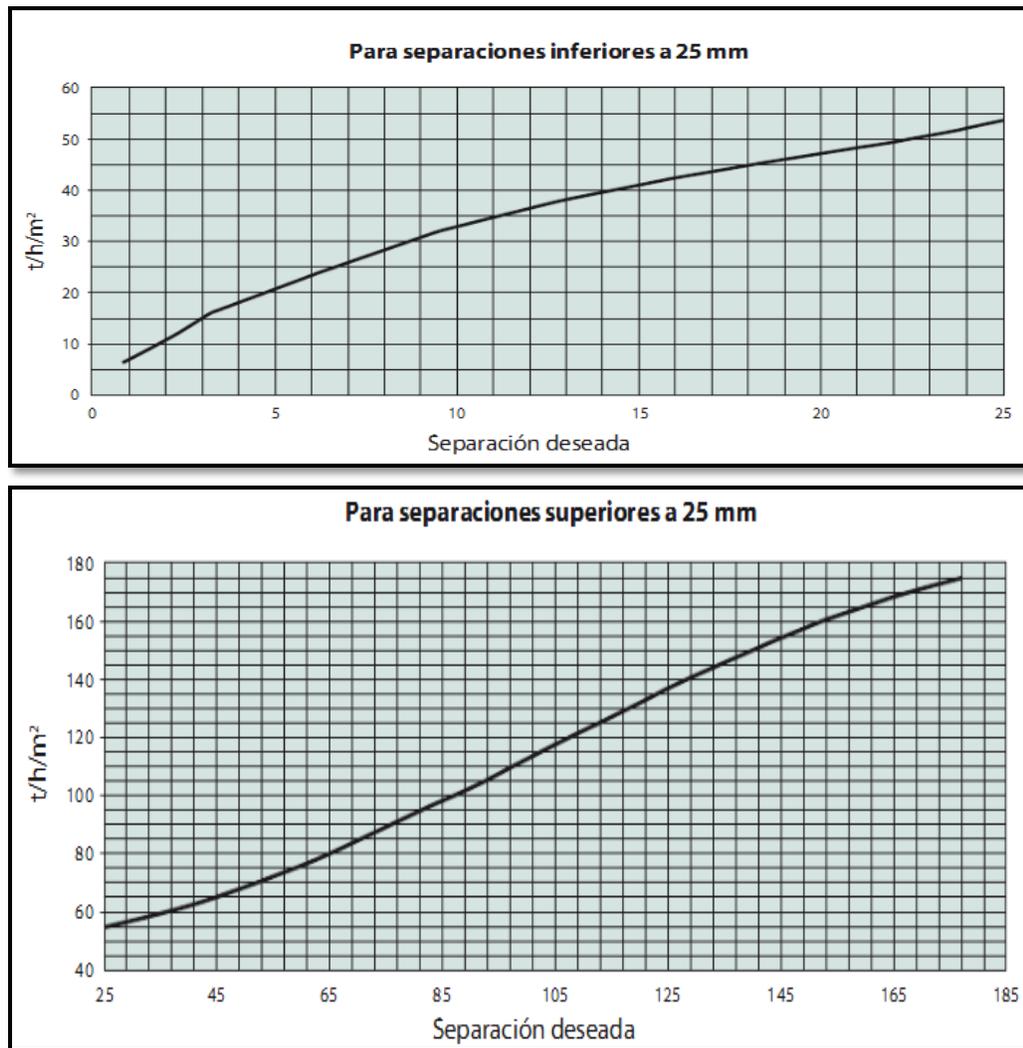
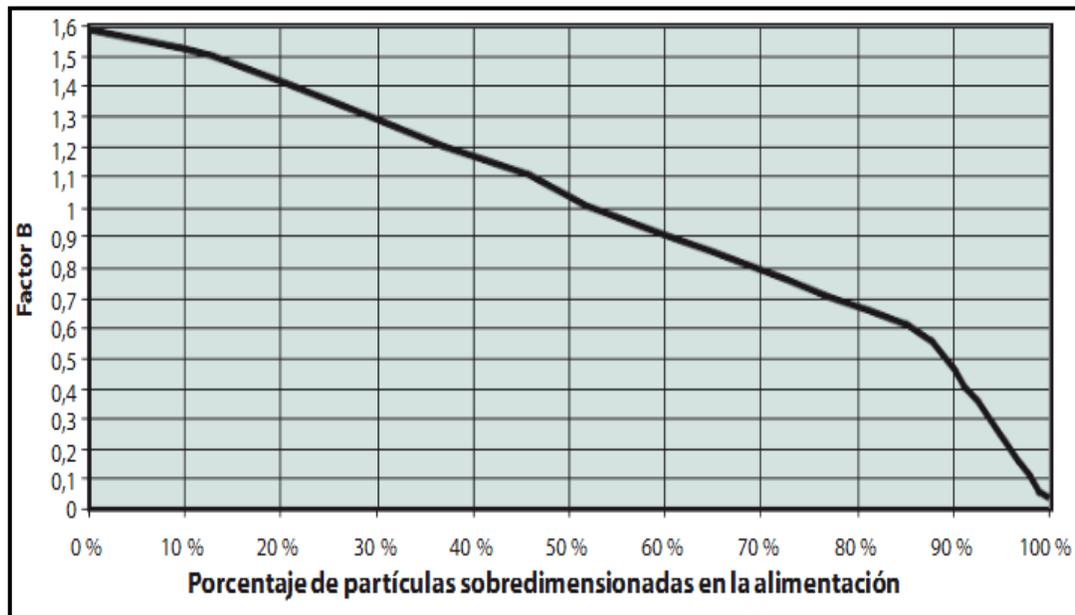


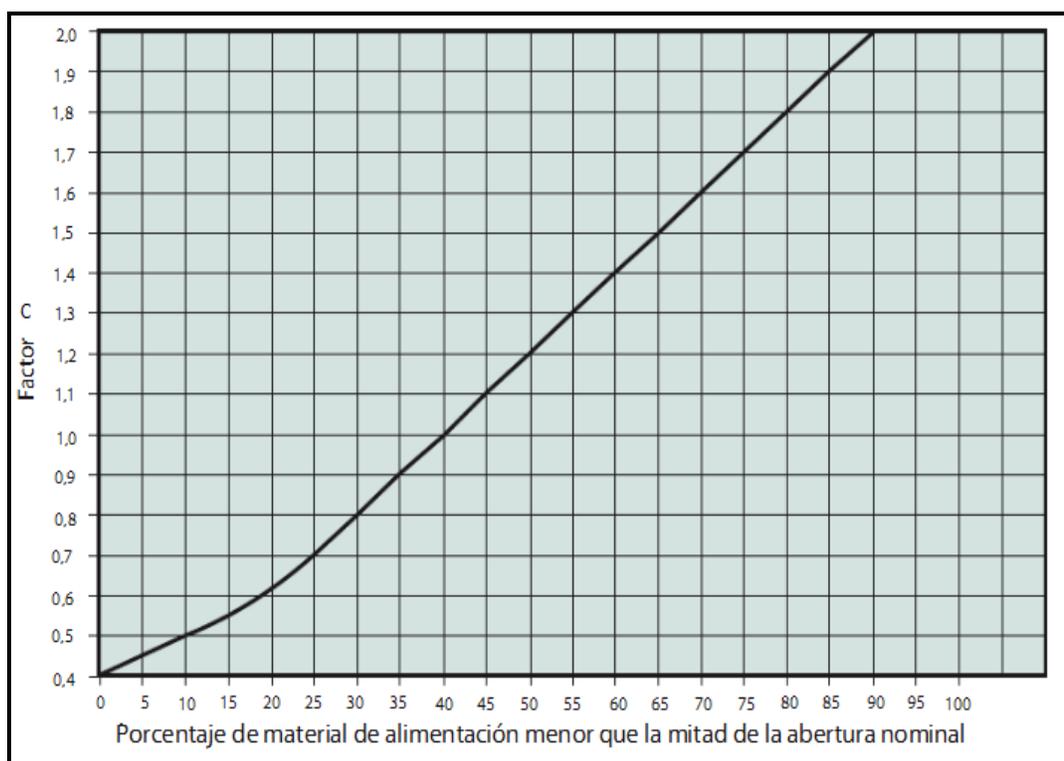
Figura 2.52 Capacidad básica para la separación de materiales<sup>[57]</sup>

B = Factor del porcentaje de material retenido, dado por la figura 2.53



**Figura 2.53 Factor del porcentaje de material retenido<sup>[57]</sup>**

C = Factor relacionado con el porcentaje en la alimentación, de material con tamaño de separación requerido, dado en la figura 2.54



**Figura 2.54 Factor C relacionado con el porcentaje en la alimentación**

D = Posición del Piso, dado en la tabla 2.61

Posición del piso	1	2	3	4	5
D	1	0.9	0.8	0.7	0.6

**Tabla 2.61 Factor de Posición del Piso**<sup>[57]</sup>

E = Factor de Cribado en Húmedo, dado en la tabla 2.62

Separación (mm)	1 - 6	6 -12	12 - 25	26 - 40	41 - 50	51 - 75	+75
E	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1

**Tabla 2.62 Factor de Cribado en Húmedo**<sup>[57]</sup>

F = Factor del peso del material, dado en la tabla 2.63

Densidad t/m <sup>3</sup>	1.35	2.7	5.4
F	0.5	1	2

**Tabla 2.63 Factor del peso del material<sup>[57]</sup>**

G = Área abierta de la superficie de cribado, dado por la ecuación 2.46.2

$$G = \frac{\text{Área realmente abierta (\%)}}{50\%} \text{ ec. 2.46.2}$$

I = Forma de las partículas, dado por la tabla 2.64

Forma	Redondeada	Cúbica	lajosa
I	1.2	1	0.9

**Tabla 2.64 Factor de forma de las partículas<sup>[57]</sup>**

J = Eficiencia, para una eficiencia de 90% se tiene el factor de 1.

K = Tipo de criba, dado por la tabla 2.65

	Horizontal		Inclinación Variable			
Piso	Recto	Recto	Inclinación Variable	Inclinación triple	Inclinación doble	Inclinación doble
Vibración	Linear	Elíptica Constante	Linear	Elíptica variable	Linear	Elíptica variable
K	0.9	1.1	1.3	1.4	1.1	1.3

**Tabla 2.65 Factor por el tipo de criba<sup>[57]</sup>**

L = Factor de Humedad, dado en la tabla 2.66

Humedad (%)	-3	3 - 5	6 - 8
L	1	0.85	0.7

**Tabla 2.66 Factor de Humedad<sup>[57]</sup>**

Se procede al dimensionamiento de las cribas teniendo en cuenta la granulometría de los materiales dado en la figura 2.57, en la tabla 2.67 se presenta las condiciones más críticas:

<b>Alimentación</b>	320 t/h
<b>Granulometría crítica</b>	clínker
<b>Densidad</b>	1.3 t/m <sup>3</sup>
<b>Tamaño máximo de alimentación</b>	100 mm
<b>Contenido de humedad</b>	4%
<b>Forma de partícula</b>	Redonda y Fibroso
<b>Proceso de cribado</b>	Seco

**Tabla 2.67 Condiciones críticas del Sistema**

Se tiene 2 pisos, donde los productos clasificados son: mayor a 80 mm, entre 80 y 6 mm, menores a 4 mm.

En la tabla 2.68 se tiene que el 95% del material pasante en el primer piso. El porcentaje de material que pasa a través del segundo piso (80 mm) está relacionada con la carga del piso y es de  $47/94 \times 100 = 50\%$ .

	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Pasante %</b>	<b>Relación de Carga %</b>	<b>Qu, Ton/h</b>	<b>Abertura Libre %, menor que nominal*</b>
<b>1er Piso</b>	80	94	-	300	27
<b>2do Piso</b>	4	47	50	150	57

**Tabla 2.68 Características del Material en los pisos**

\*Según ASTM E11/87

**1<sup>er</sup> Piso**

$$S=1$$

$$Q_{espec} = A * B * C * D * E * F * G * H * I * J * K * L$$

$$A = 90 \text{ t/hm}^2 \text{ (Figura 2.58 para 80 mm)}$$

$$B = 1.4 \text{ (Figura 2.59 para 20 \% de acumulado)}$$

$$C = 0.73 \text{ (27\%, en la figura 2.60 de material inferior a la mitad del tamaño de separación)}$$

$$D = 1 \text{ (primer piso)}$$

$$E = 1 \text{ (Cribado en seco)}$$

$$F = 1 \text{ (1.3 t/m}^3\text{)}$$

$$G = \frac{73}{50} = 1.46$$

$$I = 0.9 \text{ (alargada)}$$

$$L = 1 \text{ (abertura cuadrada)}$$

$$J = 1 \text{ (Eficiencia del 90\%)}$$

$$K = 1.3 \text{ (Inclinación variable, movimiento de vibración linear)}$$

$L = 0.85$  (4% humedad)

$$Q_{espec} = 90 * 1.4 * 0.73 * 1 * 1 * 1.46 * 1 * 1 * 0.9 * 1.3 * 0.85 = 133.6 \text{ t/h}$$

$$A_{cv} = \frac{300 * 1.4}{133.6} = 3.14 \text{ m}^2$$

## **2<sup>do</sup> Piso**

$S=1$

$$Q_{espec} = A * B * C * D * E * F * G * H * I * J * K * L$$

$A = 18 \text{ t/hm}^2$  (Figura 2.58 para 4mm)

$B = 1.15$  (Figura 2.59 para 41.2% de acumulado)

$C = 1.38$  (57%, en la figura 2.60 de material inferior a la mitad del tamaño de separación)

$D = 0.9$  (2do piso)

$E = 1$  (Cribado en seco)

$F = 1$  ( $1.3 \text{ t/m}^3$ )

$$G = \frac{43}{50} = 0.86$$

$I = 0.9$  (alargada)

L = 1 (abertura cuadrada)

J = 1 (Eficiencia del 90%)

K = 1.3 (Inclinación variable, movimiento de vibración linear)

L = 0.85 (4% humedad)

$$Q_{espec} = 18 * 1.15 * 1.38 * 1 * 1 * 1 * 0.86 * 1 * 1 * 0.9 * 1.3 * 0.85 = 27 \frac{t}{h}$$

$$A_{cv} = \frac{150 * 1.4}{27} = 7.78 m^2$$

### Selección de criba

Se tiene un área de 10.92 m<sup>2</sup>, para todas las condiciones mencionadas se selecciona las cribas MF tipo banana, en la tabla 2.69, se selecciona la MF 2461-2 con un área activa de 13.8 m<sup>2</sup>.

Tipo	WxL	Bandejas	Potencia (kW)	ML Excitadores	Peso kg	Capacidad (TPH) Max.
MF 1861-1	1.8x6.1	1	30	2	10800	1900
MF 1861-2	1.8x6.1	2	30	2	15500	1900
MF 2461-1	2.4x6.1	1	30	2	13850	2500
MF 2461-2	2.4x6.1	2	55	2	20000	2500
MF 3061-1	3.0x6.1	1	30	2	17800	3200
MF 3061-2	3.0x6.1	2	55	2	24650	3200
MF 3073-1	3.0x7.3	1	55	2	19350	3200
MF 3073-2	3.0x7.3	2	55	2	27850	3200

**Tabla 2.69 Selección de criba CV-1**

### Espesor de la capa

El espesor de la capa que se produce en cada bandeja se calcula con la ecuación 2.47:

$$d = \frac{Q_{descarga} * 1000}{\rho_s * B * v * 3600} \quad ec. 2.47$$

Donde:

$Q_{descarga}$  = Capacidad transportada de descarga en cada bandeja t/h.

$V$  = Velocidad de traslado del material 0.6 m/s (para cribas tipo MF)

$B$  = anchura de la criba 2.45 m

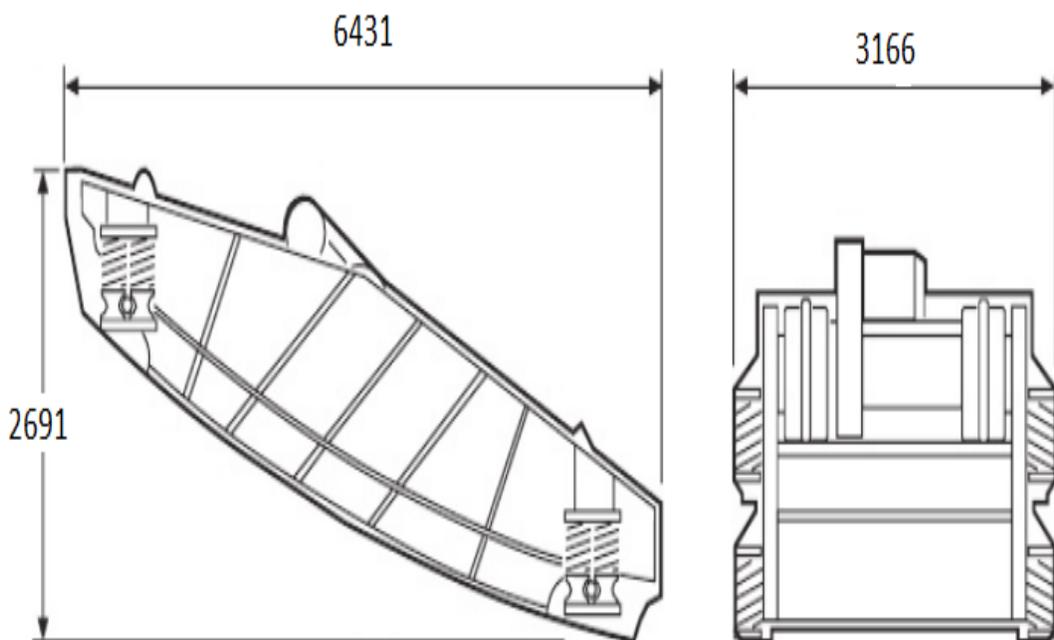
$\rho_s = 1.3 \text{ t/m}^3$

$$d1 = \frac{20 * 1000}{1.3 * 2.45 * 0.6 * 3600} = 3 \text{ mm}$$

$$d2 = \frac{150 * 1000}{1.3 * 2.45 * 0.6 * 3600} = 22 \text{ mm}$$

Como se puede observar se forma una capa de 3 mm para el primer piso con una capacidad de descarga de 20 t/h con retención de 6 %, en el segundo piso se forma una capa de 23 mm con una capacidad de descarga 150 t/h con retención de 50%. En la figura 2.55 se tiene un

esquema de la criba seleccionada. Se verifica que en la malla 2 esté entre un valor de 35 y 10 mm para que no disminuya la eficiencia de cribado.



**Figura 2.55 Esquema de la criba CV-1**

Entre los fabricantes de cribas o zarandas, se tiene MOGENSEN, W.S.TYLER (HAVER), METSO, entre otros. El plano mecánico de CV-1 es SIPRE-ME01-CV1-06.

## **2.7. Selección de alimentador vibratorio para criba**

Es recomendable acoplar un repartidor vibratorio antes del clasificador, para materiales de gran tamaño, equipados con secciones de barras para preclasificación, con capacidades de 25 a 1500 t/h.

Se tiene una capacidad de alimentación de 320 t/h, y el tamaño de grano de alimentación debe ser hasta 100 mm.

Tipo	WxL (m)	Vibrador	Capacidad (t/h)	Tamaño máximo de alimentación (mm)	Peso (Kg)
TK10-15-2V	1.0x1.5	Motor eléctrico desbalanceado	250	250	965
TK11-20-2V	1.1x2.0	Motor eléctrico desbalanceado	500	700	1930
TK11-27-3V	1.1x2.7	Motor eléctrico desbalanceado	500	700	1940
TK13-20-3V	1.3x2.0	Motor eléctrico desbalanceado	350	250	1350
TK16-20-3V	1.6x2.0	Motor eléctrico desbalanceado	500	250	2400

**Tabla 2.70 Selección del Alimentador Vibrante<sup>[57]</sup>**

En la tabla 2.70 se selecciona el tipo TK13-20-3V con una capacidad de 350 t/h, con un tamaño máximo de alimentación de 250 mm.

En la figura 2.56 se muestra un esquema del precibador.



**Figura 2.56 Esquema del Alimentador Vibratorio**

## 2.8. Selección del triturador

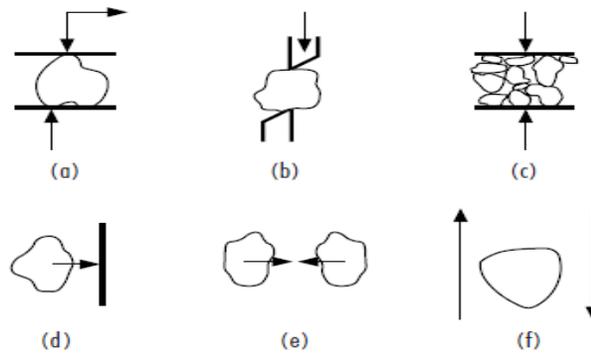
Se alimenta el material dosificado (64% clinker, 25% puzolana, 7% caliza, 4% yeso), todos los agregados ingresan a la trituradora y serán pre-triturados juntos hasta obtener un tamaño de grano de 4 mm.

### **Fuerzas Utilizadas en la Reducción de Tamaño**

Se pueden distinguir tres tipos de fuerzas, entre los tipos de fuerzas para la trituración que predominan en las máquinas son:

- Fuerzas de Compresión: se utilizan para la trituración grosera de productos duros.
- Fuerzas de Impacto: Estallido por fuerzas de tracción aplicadas a alta velocidad.
- Fuerzas de Cizalla o Frotamiento: Abrasión por esfuerzo cortante superficial.

En la figura 2.57 se muestra las diferentes formas de triturar un material con las fuerzas mencionadas.



**Figura 2.57 a) Trituración entre dos superficies b) Cizallamiento c) Compresión entre dos superficies d) Impacto entre material y superficie e) Impacto entre sólidos f) Acción de Corte entre el medio circundante.<sup>[57]</sup>**

### **Clasificación de Plantas Trituradoras**

Trituradoras Primarias: Fragmentan trozos grandes hasta un producto de 8 a 6 in, entre estas máquinas se tiene:

- Trituradoras de Mandíbulas
- Trituradoras Giratorias
- Trituradoras de Impacto

Trituradoras Secundarias: Fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3 a 2 in, entre estas máquinas se tiene:

- Trituradoras Giratorias
- Trituradoras Cónicas
- Trituradoras de Impacto

- Trituradoras de Rodillo

Trituradoras Terciarias: Fragmentan el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{8}$  in, entre estas máquinas se tiene:

- Trituradoras Cónicas

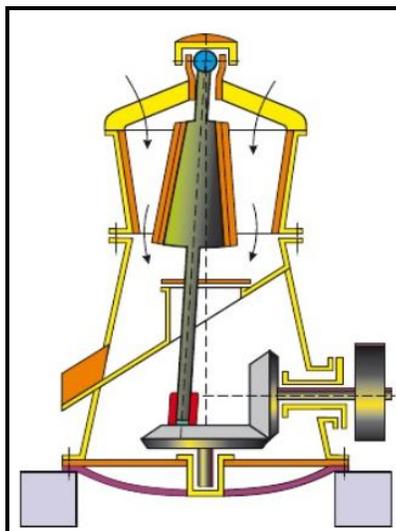
- Molino de barras

- Molino de bolas

El material a triturar ingresa con un tamaño máximo de 80 mm (3 in), por lo que se puede decir que las máquinas a utilizar pueden ser las giratorias, cónicas, impacto o de rodillo. Ahora se procederá a analizar cada máquina para elegir la apropiada.

### Trituradoras Giratorias

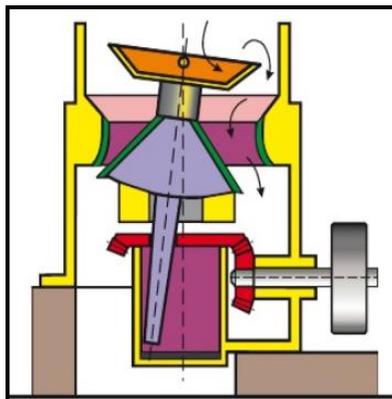
Se usan en la primera etapa de trituración. Las giratorias secundarias se usan normalmente en la segunda etapa de trituración, pero, en algunos casos, pueden usarse en la primera etapa desde que el tamaño del material permita su entrada en la abertura de alimentación. La trituradora giratoria tiene una cámara de trituración diseñada para aceptar material de alimentación de tamaño relativamente grande en relación con el diámetro del manto. Para roca dura, resistente y abrasiva. (Ver figura 2.58)



**Figura 2.58 Trituradora Giratoria**

### Trituradora de cono

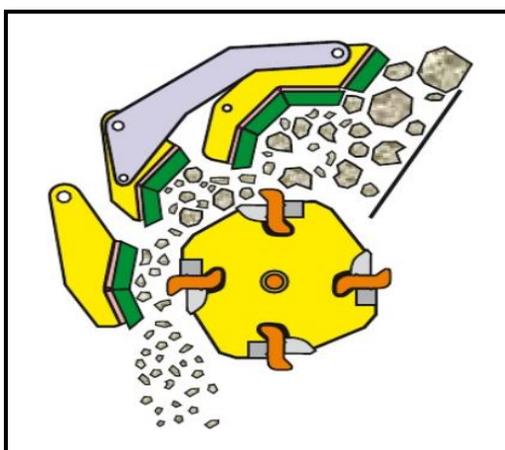
Esta trituradora se usa para trituración de tamaños intermedios y finos y/o para obtener un producto con buen formato cúbico. El material de alimentación ha sido tratado en trituradoras primarias en etapas anteriores. El factor determinante para el desempeño de una trituradora de cono secundaria es el perfil de la cámara o cavidad de trituración. (Ver figura 2.59).



**Figura 2.59 Trituradora de Cono**

Trituradora de impacto de eje horizontal (HSI)

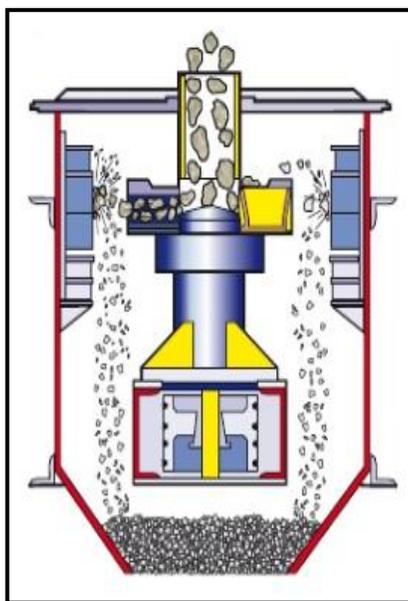
El material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos/barras fijados al rotor como se puede ver en la figura 2.60. Las partículas resultantes son posteriormente re-trituradas dentro de la trituradora al chocar contra las piezas de la trituradora y entre sí mismas, produciendo un producto más fino y con mejor formato.<sup>[57]</sup>



**Figura 2.60 Trituradora de impacto de eje horizontal**

### Trituradora de impacto de eje vertical (VSI)

Se consideran bombas de piedra ya que operan como una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del rotor, donde es acelerado hasta una alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor. La trituración ocurre mientras el material choca a alta velocidad contra los forros de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca como se muestra en la figura 2.61.

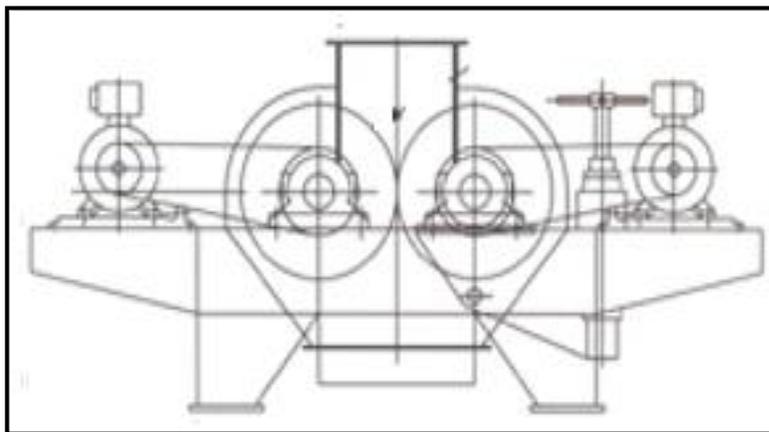


**Figura 2.61 Trituradora de Impacto de eje vertical**

### Trituradora de rodillo

Consiste en dos rodillos horizontales que giran en direcciones opuestas. El eje de una de ellas está sujeto a un sistema de resortes que permite la

ampliación de la abertura de descarga en caso de ingreso de partículas duras, como se muestra en la figura 2.62. La superficie de ambos rodillos está cubierta por forros cilíndricos de acero de manganeso, la superficie puede ser lisa para trituración fina y corrugada o dentada para trituración gruesa. Estas trituradoras no deben alimentarse con tamaños superiores  $1/20$  del diámetro del cilindro.



**Figura 2.62 Trituradora de rodillo**

### Índice de abrasividad

La abrasividad es debida fundamentalmente al contenido de sílice que es el principal causante del desgaste, el sílice se encuentra en el clínker a un porcentaje de 22% al agregarle  $\text{SiO}_2$  (Dióxido de silicio), mientras que la

puzolana tiene 61% de  $\text{SiO}_2$ . Según el índice de abrasividad,  $A_i$ , medido experimentalmente se clasifica en la tabla 2.71:

	<b><math>A_i</math></b>
<b>Poco Abrasivas</b>	<0.05
<b>Abrasivas</b>	0.05 - 0.5
<b>Muy Abrasivas</b>	0.5 - 1
<b>Extremadamente Abrasivas</b>	>1

**Tabla 2.71 Medición de Abrasividad** <sup>[58]</sup>

El clinker tiene un índice de abrasión de 0.0713 ( $A_i$ ) y la puzolana de 0.1187 ( $A_i$ ) como se muestra en la tabla 2.72:

<b>Material</b>	<b>Índice (<math>A_i</math>)</b>
Dolomita	0.0160
Coke	0.3095
Puzolana	0.1187
caliza	0.0256
Cemento clínker	0.0713
Magnesita	0.0783
Sulfuro Pesado	0.1284
Magnetita	0.2217
Grava	0.2879
Granito	0.3880

**Tabla 2.72 Índice de abrasividad** <sup>[58]</sup>

Trituradoras según su capacidad y abrasividad

Tipo principal de Trituradora	Etapa Típica del Proceso	Tamaño de alimentación máxima (mm)	Producto Final Máxima (mm)	Capacidades Típicas (t/h). Máx	Abrasividad Ai
Trituradora giratoria (grande)	Primaria	1500	200-300	1200	< 0.9
Trituradora de mandíbulas	Primaria	1400	200-300	1600	<0.9
Trituradora giratoria de cono	Primaria/ Secundaria	1300	200-300	1800	0.5 - 0.05
Trituradora de rodillos	Primaria	600	0-50	400	<0.9
Trituradora de rodillos	Terciaria	60	4-30	200	0.05 - 0.9
Trituradora giratoria de cono	secundaria	450	60-80	1200	0.05 - 0.9
Trituradora giratoria de cono	Terciaria	300	0-30	1000	0.05 - 0.9
Trituradora de Eje Vertical	Terciaria/ Secundaria	40	0-30	600	0.05 - 0.9
Trituradora de Eje Horizontal	Primaria/ Secundaria/ Teciaria	1500	0-30	1200	<0.9

**Tabla 2.73 Capacidades, Tamaño de Alimentación y Producto de Trituradoras<sup>[55]</sup>**

En la tabla 2.73 se presentan los tipos de trituradores según su resistencia a la abrasividad, el tamaño máximo de que es permitido y el tamaño del producto.

Se requiere una trituradora con una capacidad de 150 t/h, ya que de la segunda bandeja de la criba pasa aproximadamente 150 t/h de material a

ser triturado, con un tamaño de alimentación de 80 mm requiriendo un producto de 4 mm y debe soportar un índice de abrasividad mayor a 0.1187. Entre los trituradores de la tabla 2.82 que cumplen con estas características son la trituradora tipo cono, de rodillos y de eje vertical.

### Tasa de reducción

Todas las trituradoras tienen una tasa de reducción limitada, lo que significa que la reducción de tamaño se hace por etapas. El número de etapas depende del tamaño de alimentación y del producto requerido con la ecuación 2.48:

$$R_{TR} = \frac{T_a}{T_p} \text{ ec. 2.48}$$

Donde:

$R_{TR}$  = Es la tasa de reducción

$T_a$  = Tamaño de partícula de alimentación, 80 mm

$T_p$  = Tamaño de partícula del producto, 4 mm

$$R_{TR} = \frac{80}{4} = 20$$

En la tabla 2.74 se encuentran los radios de reducción permitidos para las diferentes trituradoras. Ésta debe ser de una sola etapa, es decir, se usará una sola trituradora para el proceso de pre-molienda hasta obtener un tamaño de grano de 4 mm. Las Trituradoras de Cono presentan una tasa de reducción de 6:1, significa que al alimentar el material a la trituradora habrá una reducción hasta 12 mm máximo, por lo que tendría que pasar por otra trituradora en serie hasta obtener los 4 mm, lo mismo ocurre con las trituradoras de rodillos.

Tipo de Trituradora	Relación de Reducción
<b>Mandíbulas</b>	
<b>Doble Efecto</b>	
Blake	4:1 - 9:1
Simple efecto	4:1 - 9:1
<b>Giratorias</b>	
Ciclo completo	3:1 - 10:1
<b>Cono</b>	
Estándar	4:1 - 6:1
Cabeza corta	2:1 - 5:1
<b>Rodillo</b>	
Rodillo simple	Máx 7:1
Rodillo doble	Máx 3:1
<b>Impacto</b>	
Vertical (VSI)	2:1 – 5:1
Rotor Simple (HSI)	15:1 - 20:1
Rotor doble(HSI)	25:1
Molino de Martillos	20:1

**Tabla 2.74 Relación de Reducción de los Trituradores** <sup>[59]</sup>

Se tiene también el molino de martillos pero es usualmente utilizado para trituración primaria con tamaños de granos de 1500 mm, la molienda no es tan fina en comparación con los otros equipos, debido a que los martillos giran a gran velocidad el molino está sujeto a vibraciones sino se balancean adecuadamente las cargas.

Los molinos adecuados para este proceso serían el molino de Impacto Horizontal (HSI) y el molino de Impacto Vertical (VSI) en circuito cerrado, es decir, que se tendrá una tasa de reducción de 5:1 para VSI pasando dos veces por el triturador, mientras que para HSI pasaría el producto directamente al molino de bolas con una reducción de 25:1.

Por lo que la trituradora HSI es la más adecuada para este proceso con una tasa de reducción de 20:1.

#### Ley de bond

Todas las operaciones de reducción de tamaño, tanto en trituración como en molienda se determinan sin duda por las características de alimentación de los minerales que circula hacia el circuito. La ley de Bond define que el trabajo consumido es proporcional a la nueva longitud de fisura producida por la rotura de las partículas. Esta ley depende del "índice de Bond" que se define como el número de kW/h por tonelada necesarios para reducir un

material de dimensión infinita (teóricamente) a un tamaño  $d_{80}$  de  $100\mu\text{m}$ . Este índice nos indica la capacidad de los materiales de ser fragmentados y se obtiene a través de ensayos sobre muestras, en la tabla 2.75 se verifica el índice de trabajo de los materiales que entran al triturador, se observa que se requiere más trabajo para triturar el clínker por lo que se selecciona este índice de 13.45.

Material	Índice de Trabajo $W_i$ kWh/sht
Bauxita	8.78
Clínker	13.45
Arcilla	6.3
Carbón	13
Yeso	6.73
Caliza	12.74
Pizarra	15.87
Puzolana	11.9

**Tabla 2.75 Índice de Trabajo de Bond** <sup>[57]</sup>

En la tabla 2.76 se verifica que 13.45 (14.83 kWh/tm) de índice de trabajo que lo clasifica como material duro.

DESCRIPCIÓN	Límite $W_i$ (kWh/tm)
<b>Muy Blando</b>	7.26
<b>Blando</b>	7.26 - 10.89
<b>Medio</b>	10.89 - 14.51
<b>Duro</b>	14.51 - 18.14
<b>Muy Duro</b>	18.14 - 21.77
<b>Extremadamente Duro</b>	21.77

**Tabla 2.76 Descripción del mineral según su Índice de Trabajo <sup>[60]</sup>**

Con la ecuación 2.49 se verifica la energía necesaria para triturar el material de 80 mm a 4 mm.

$$W_{TR} = 11.1 * w_i * C_a * \left( \frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right) \quad ec. 2.49$$

Donde:

$W_{TR}$  = Trabajo consumido en la operación, kWh/t

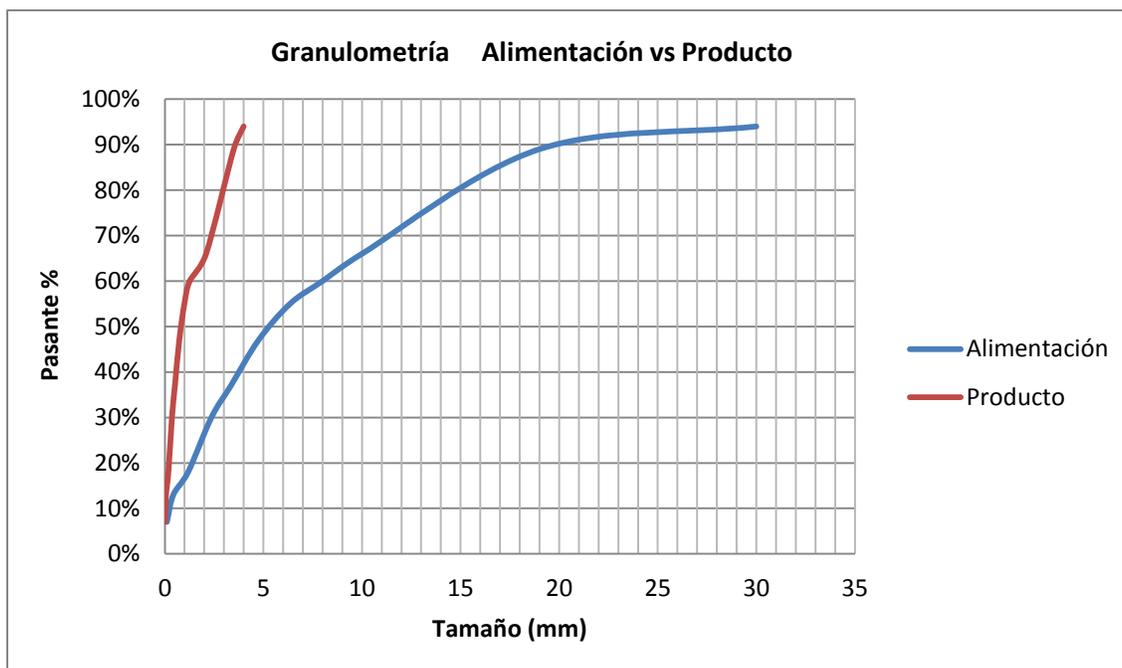
$w_i$  = Índice de Bond 13.45 kwh/t

$P$  = Tamaño del producto de grano 80% pasante, 3000  $\mu\text{m}$  (ver figura 2.63)

$F$  = Tamaño de la alimentación de grano 80% pasante, 15000  $\mu\text{m}$  (ver figura 2.63)

$C_a$  = Capacidad de Alimentación, 150 t/h

$$W_{TR} = 11 * 13.45 * 150 * \left( \frac{1}{\sqrt{3000}} - \frac{1}{\sqrt{15000}} \right) = 224 \text{ kW}$$



**Figura 2.63 Granulometría de la Alimentación y el producto (Clinker)**  
[61]

### Selección de la trituradora

En la tabla 2.77 para una capacidad de 150 t/h saliendo de la segunda bandeja de la criba, tamaño de grano máximo que se alimenta en la trituradora de 80 mm, y potencia de 224 kW se tiene el modelo APSM-1015.

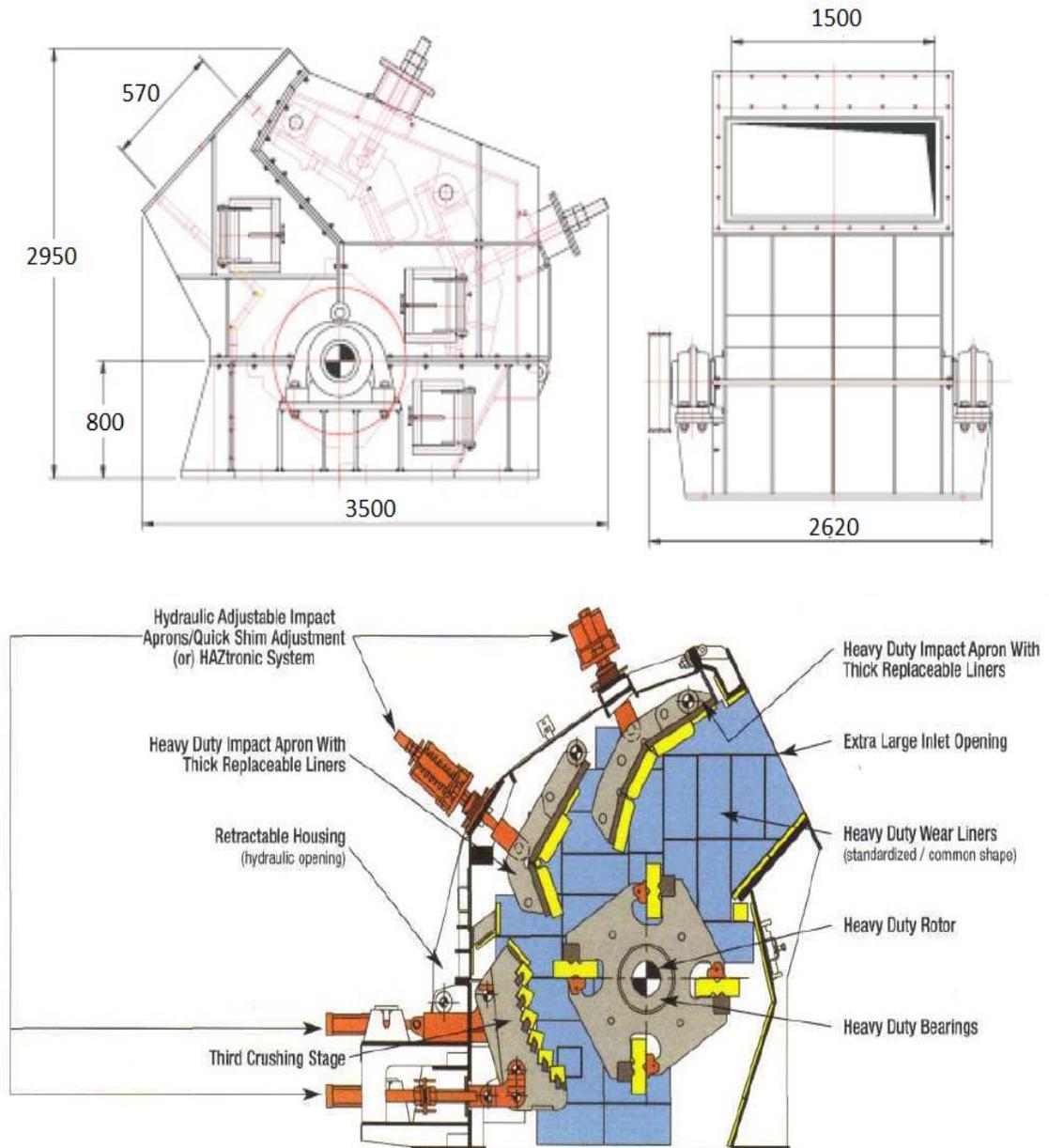
Modelo	Capacidad (Ton/h)	Potencia* (kW)	Entrada (HxW)	Alimentación máximo (mm)	Tamaño del Rotor (DxW)	Peso (Kg)
APSM-0806	35	45	390x690	150	760x670	4520
APSM-0810	80	90	390x1020	150	800x1000	5230
APSM-0813	120	132	390x1360	150	800x1340	6270
APSM-1006	65	75	570x690	150	1000x670	4930
APSM-1010	110	112-150	570x1020	200	1000x1000	7450
APSM-1013	150	150-190	570x1360	200	1000x1340	8840
APSM-1015	180	250	570x1500	200	1000x1500	9770
APSM-1020	230	250	570x2020	200	1000x2000	12400
APSM-1310	140	150	865x1020	250	1300x1000	13740
APSM-1313	230	250	865x1360	250	1300x1340	17450
APSM-1315	270	300	865x1520	250	1300x1500	18300
APSM-1320	360-500	375-525	865x2030	250	1300x2010	23950
APSM-1322	450	525	865x2270	250	1300x2250	25800
APSM-1430	720-900	750-900	970x3020	300	1300x2250	44700

**Tabla 2.77 Selección de Trituradora HSI <sup>[61]</sup>**

#### Dimensiones de la trituradora

En la tabla 2.85 se tienen las dimensiones de la entrada del triturador de 570x1500 mm, el tamaño del rotor de 1000x1500mm, tiene un peso de

9770 Kg, se alimenta hasta tamaños máximos de 200 mm. En la figura 2.64 se tienen las dimensiones del triturador.



**Figura 2.64 Dimensiones del Triturador APSM-1015**

## 2.9. Diseño de silos de almacenamiento

Los silos son tipologías estructurales construidas con el propósito de almacenar material granular o polvoriento, u otra sustancia líquida, y forman parte de operaciones de plantas industriales en las cuales son utilizados como almacenamiento de granos y productos de la manufactura. Existen varios criterios para clasificar los silos; según su geometría, se pueden establecer silos de planta rectangular o cuadrada y silos circulares. A su vez pueden ser aislados o formar conjuntos conectados, los cuales se denominan silos multicelulares.

Estas unidades de almacenamiento pueden ser construidos de acero ó concreto reforzado y la descarga de material puede ser a través de la fuerza de gravedad o con la ayuda de algún medio mecánico.

### Condiciones Generales

En el diseño de una tolva hay que considerar lo siguiente:

- Propiedades de resistencia y fluidez del material
- Geometría de la tolva para definir la capacidad deseada, el patrón de flujo que permita características aceptables de flujo que asegure que la descarga sea confiable y predecible.

- Determinar las cargas que actúan en la tolva debidas al material almacenado, cargas térmicas, etc.
- Diseño y detalle de la estructura de la tolva.

### **Diseño de la Tolva para Puzolana**

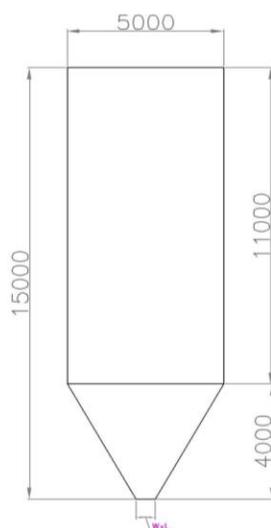
La primera tolva de alimentación es la tolva de Puzolana (SL-1) que tiene una capacidad de 200 Toneladas para 20 t/h de carga para régimen de carga de 10 horas, por lo tanto tiene 250 m<sup>3</sup> de capacidad. La altura de la parte cilíndrica está regulada por la siguiente ecuación <sup>[62]</sup>:

$$2r_{cil} \leq h_{cil} \leq 16r_{cil} \quad ec. 2.50$$

$$2(2.5m) \leq h_{cil} \leq 16(2.5m)$$

$$5m \leq h_{cil} \leq 40 m$$

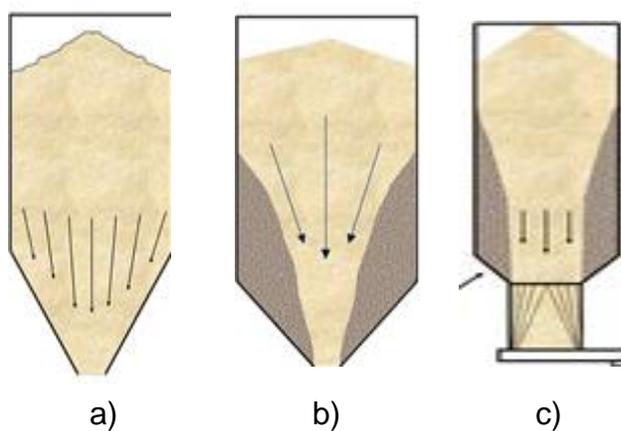
El silo tendrá una altura de 11 m en la parte cilíndrica, por lo que cumple la norma. El diseño de forma de la tolva se basa en requerimientos de la empresa para poder almacenar y descarga en un tiempo determinado. En la figura 2.65 se muestra un esquema del silo.



**Figura 2.65 Tolva de Puzolana**

### **Características del Flujo de Materiales**

En la figura 2.66 muestra los tipos de flujos del sólido que se pueden presentar en la tolva estos son: el Flujo de masa, Flujo de Embudo y el Flujo expandido (combinación de los dos anteriores).



**Figura 2.66 a) Flujo másico, b) Flujo de Embudo c) Flujo Expandido**

El flujo másico en silos se da cuando todo el material este en movimiento durante la descarga. Este tipo de flujo se caracteriza por ser uniforme y confiable; la densidad de alimentación es independiente de la carga de sólidos en el cilindro, no existen regiones estancadas de material eliminando así la posibilidad de apelmazamiento o contaminación; la separación por tamaño de los componentes del material almacenado es minimizada; y por último, el tiempo de residencia es uniforme permitiendo la de-aireación efectiva de los materiales finos.

El Flujo tipo embudo presentan un patrón donde solo parte del material se mueve durante la descarga y el resto del material permanece estancado. Este tipo de patrón de flujo conocido como flujo embudo es aceptable si el sólido a granel es suficientemente grueso, no presenta tendencia de apelmazamiento, presenta libre fluidez (no es cohesivo) y la separación de sus componentes (segregación) no es importante.

El flujo expandido es una combinación de flujo másico y flujo embudo, el cual se logra cuando una tolva de flujo másico es instalada debajo de una tolva de flujo embudo. Este tipo de arreglo se diseña para prevenir la formación de canales. Una de las principales ventajas de este patrón de flujo es el ahorro de espacio.

Tolvas de flujo de masa	Tolvas de Flujo de Embudo
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga</li> <li>*El flujo es uniforme</li> <li>*La densidad del flujo es constante</li> <li>*Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente</li> <li>*No quedan productos en zonas muertas donde pudieran degradarse</li> <li>*Mayor altura de la tolva</li> <li>* Uso efectivo de la totalidad de la tolva</li> <li>*Lo primero que entra, lo primero que sale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Las partículas se segregan y permanecen segregadas</li> <li>*La primera porción que entra es la última en salir</li> <li>*Pueden haber puntos muertos hasta que se realiza la limpieza completa del sistema</li> <li>*Los productos tienden a formar puentes o arcos y luego a que se formen agujeros durante la descarga</li> <li>*El flujo es errático</li> <li>*La densidad puede variar</li> <li>*Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente</li> <li>*Baja altura de la tolva</li> <li>*Reducción de la capacidad efectiva de almacenamiento</li> </ul>

**Tabla 2.78 Características de Flujo en la Tolva** <sup>[63]</sup>

Las características antes mencionadas en la tabla 2.78, se tiene que 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° a 0° para que se cumpla el flujo de masa.

#### Forma de tolva

Se tiene una forma cilíndrica de 11 m, una parte cónica de 4 m que termina con una sección rectangular como se muestra en la figura 2.67:



**Figura 2.67 Forma de la Tolva de Puzolana**

### **Propiedades de la Puzolana**

Se requiere determinar las propiedades del material y el medio en el que actúa, como son: ángulo de reposo, coeficiente de fricción interna y coeficiente de fricción de pared.

#### Ángulo de reposo

El ángulo de talud de la puzolana con tamaño de grano mayor a 80 mm es de 40° cuando se encuentra almacenado.

### Coefficiente de fricción interna

El coeficiente de fricción interna ( $\delta$ ), es la rugosidad que existe del material consigo mismo. En la tabla 2.87 se muestra los coeficientes de fricción de los compuestos que conforman el cemento. Para la puzolana se tiene  $\delta = 50.5^\circ$ .

### Coefficiente de Fricción de Pared

El coeficiente de fricción de pared ( $\mu$ ), es la expresión de oposición al deslizamiento entre el material y las paredes del silo; este coeficiente se lo expresa como un ángulo de pared de fricción,  $\phi_w = \arctan(\mu)$ , y sus valores se muestra en la tabla 2.79. Para la puzolana se tiene  $28.3^\circ$ .

Material	Ángulo de rozamiento interno ( $\delta$ )	Ángulo de Fricción de Pared ( $\phi_w$ )	Gravedad Específica KN/m <sup>3</sup>
Clínker	42° - 52°	29.3° - 31.8°	12.75
Cemento	52° - 42°	35° - 35°	12.75
Caliza	45° - 80°	28.8° - 30°	11.77
Yeso	45° - 62°	20.8° - 25.6	10.9
Puzolana	46° - 55°	26.6° - 30°	7.9

**Tabla 2.79 Ángulos internos y de pared de materiales** <sup>[64][65]</sup>

### **Ángulo y Diámetro Crítico de Salida del Cono.**

Se determina el mínimo tamaño que debe tener la sección de salida para que no ocurra trabamiento del material. La norma indica que el diámetro de salida de la tolva no debe tener menos de 10 a 12 veces el diámetro del sólido descargado; en este caso se tiene 80 mm, entonces el diámetro mínimo está entre 800 y 960 mm. Aunque este resultado no debe usarse para el diseño de la misma ya que existen otros parámetros en consideración

### Factor de flujo

Las fuerzas que actúan sobre el material almacenado tienden a compactarlo, y los esfuerzos cortantes en el material hacen que éste fluya. Se demostró que para un elemento en cualquier posición dentro de un silo de flujo masivo, la fracción de los esfuerzos compactadores respecto a los cortantes tiene un valor constante denominado factor de flujo determinado por la ecuación 2.51:

$$\text{factor de flujo, } ff = \frac{\text{Esfuerzo de compactacion}}{\text{Esfuerzos cortantes}} = \frac{\sigma_1}{AS} \text{ ec. 2.51}$$

El factor de flujo  $ff$  se lo obtiene en la figura 2.68 donde se ingresa con el ángulo de fricción de pared  $28.3^\circ$  y el coeficiente de fricción interna de

50.5. Se obtiene un factor de flujo de 1.28 y un semi-ángulo mínimo de  $22^\circ$  ( $\theta$ ) que deberá tener el cono para que exista flujo, se selecciona uno mayor de  $24^\circ$ .

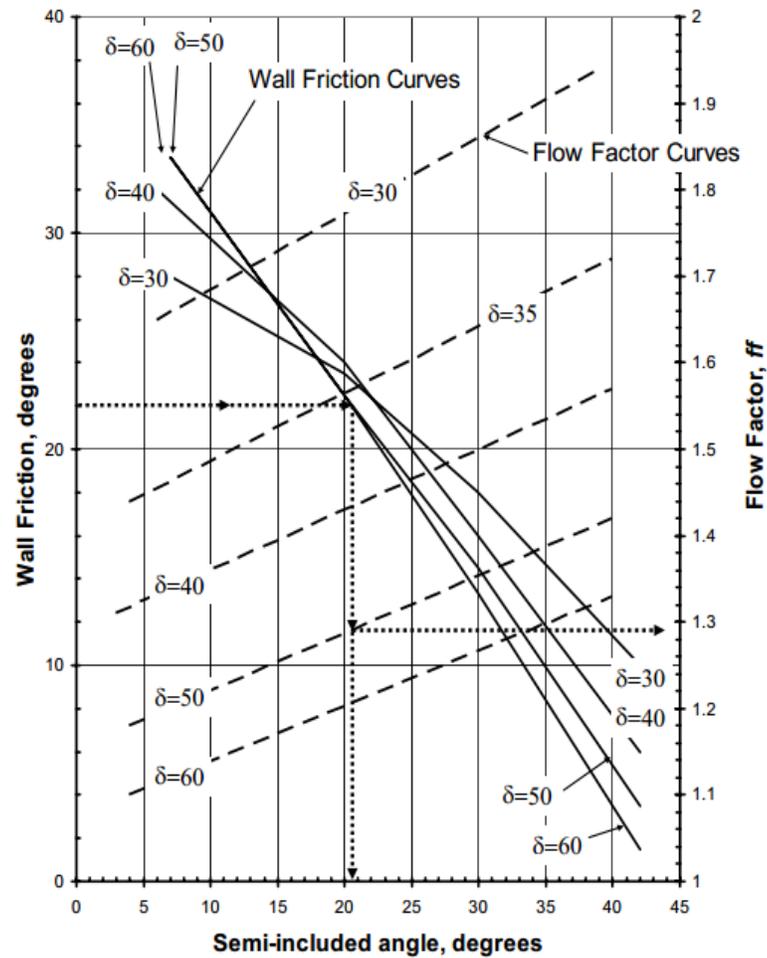


Figura 2.68 Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida cónica<sup>[66]</sup>

En la Figura 2.69 se ingresa con el semi-ángulo del cono de  $24^\circ$  ( $\theta$ ) y el ángulo de pared de  $28.3^\circ$  ( $\phi_w$ ), con la intersección entre estos dos ángulos se obtiene que el flujo en esta tolva es tipo Embudo. Como no hay flujo en las paredes de la tolva en el modelo de flujo en un embudo, se considera que las presiones de diseño actúan normalmente sobre las paredes de la tolva y son las mismas que ocurren durante la etapa inicial de llenado.

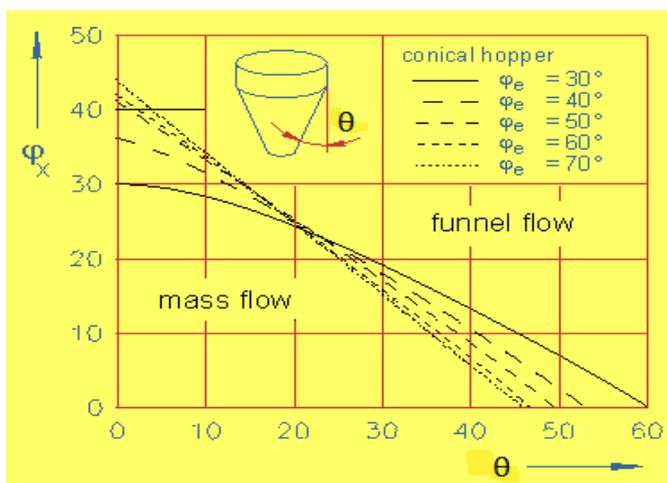


Figura 2.69 Tipo de Flujo en la parte cónica <sup>[67]</sup>

En la transmisión efectiva donde el canal de flujo golpea la pared, existe un rápido incremento en la presión de la pared debido a la convergencia que el material experimenta. Dentro del mismo canal de flujo, es razonable asumir que la presión va a variar como si esta fuera una tolva con flujo de masa, siendo el ángulo de la tolva reemplazado por el ángulo del canal de

flujo, y el valor de la fricción de la pared reemplazado por la fricción interna de las partículas deslizándose unas sobre otras. En la parte cónica el esfuerzo radial del material, disminuye a medida que el diámetro del cono disminuye con la altura, de manera que el material podría compactarse y formar un arco y el material se estancará si el esfuerzo radial no podría vencer el esfuerzo de compactación. El esfuerzo de compactación  $\sigma_1$  se relaciona con el esfuerzo de fluencia del material  $f_c$  a través de la siguiente relación:

$$f_c = E \left[ \left( \frac{\sigma_1}{F} + 1 \right)^{1/q} + 1 \right] \quad \text{ec. 2.52}$$

En la tabla 2.80 se encuentran las propiedades cohesivas de los materiales para obtener de la ecuación 2.52 la función de flujo.

Material	E (kPa)	F (kPa)	q
Caliza	0.33	0.04	1.8
	0.4	0.04	1.95
yeso	0.38	0.10	1.6
	0.41	0.08	1.72
Clínker	0.5	0.10	1.9
	0.41	0.05	2.06
Cemento	0.5	0.1	1.8
	0.35	0.05	2.06
Puzolana	0.35	0.1	1.82
	0.25	0.08	1.96

**Tabla 2.80 Factores de los materiales para la función de flujo [68]**

De la ecuación 2.52 o ecuación de Warren-Spring se tiene la función de flujo:

$$f_c = 0.35 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.09} + 1 \right)^{1/1.96} + 1 \right]$$

Para que exista flujo, el esfuerzo de fluencia debe ser mayor que el esfuerzo de compactación, cuando estos dos esfuerzos se igualan, el flujo se detiene, es decir:

$$\frac{\sigma_1}{ff} = 0.35 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.09} + 1 \right)^{1/1.96} + 1 \right]$$

$$\frac{\sigma_1}{1.28} = 0.35 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.09} + 1 \right)^{1/1.96} + 1 \right]$$

Despejando  $\sigma_1$  de la relación anterior se tiene:

$$\sigma_1 = 3,301 \text{ kPa}$$

El valor anterior indica el mínimo esfuerzo de compactación, para obtener el mínimo esfuerzo vertical se reemplaza este resultado en la ecuación 2.51:

$$\sigma_y = \frac{3,301}{1.28} = 2579 \text{ kPa}$$

Este esfuerzo es el mínimo que tiene que vencer el material para que fluya sin atascamientos ni arqueos.

El diámetro inferior del cono está limitado por el diámetro crítico, este define el mínimo diámetro de salida del cono, para que el material salga de la tolva sin atascamientos. Está definido por la ecuación 2.53:

$$d = H(\theta) \frac{\sigma_y}{\rho * g} \text{ ec. 2.53}$$

Donde:

$d$  = Diámetro crítico del cono (m).

$H(\theta)$  = Ángulo mínimo de inclinación de la tolva definido por la ecuación 2.53.1

$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta_{min}}{60} \text{ ec. 2.53.1}$$

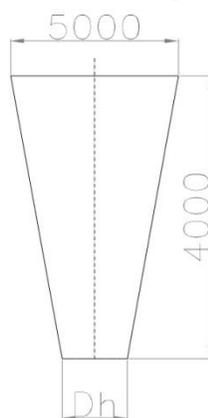
$\theta_{min}$  = Angulo mínimo de inclinación 24°.

$\rho$  = Densidad de la puzolana 800 kg/m<sup>3</sup>

$$d = \left(2 + \frac{24}{60}\right) \frac{2579}{800 * 9.81} = 0.789 \text{ m}$$

### Dimensiones de la Parte Inferior del Cono

El diámetro mayor, el semi-ángulo y el diámetro crítico de salida son las condiciones que se necesitan para diseñar la salida del cono en forma rectangular. En la figura 2.70 se tiene la geometría del cono.



**Figura 2.70 Geometría de Salida**

Del diámetro crítico se selecciona uno mayor de 850 mm, este sería el diámetro  $d$  para la salida del material, este diámetro se convertirá en el diámetro hidráulico para poder obtener las dimensiones del canal con la ecuación 2.54:

$$D_h = \frac{4 * Area}{Perímetro} = \frac{2 * WL}{W + L} \quad ec. 2.54$$

Para una longitud de carga de la banda dosificadora de 1500 mm (L) por lo que se reemplaza en la ecuación 2.54

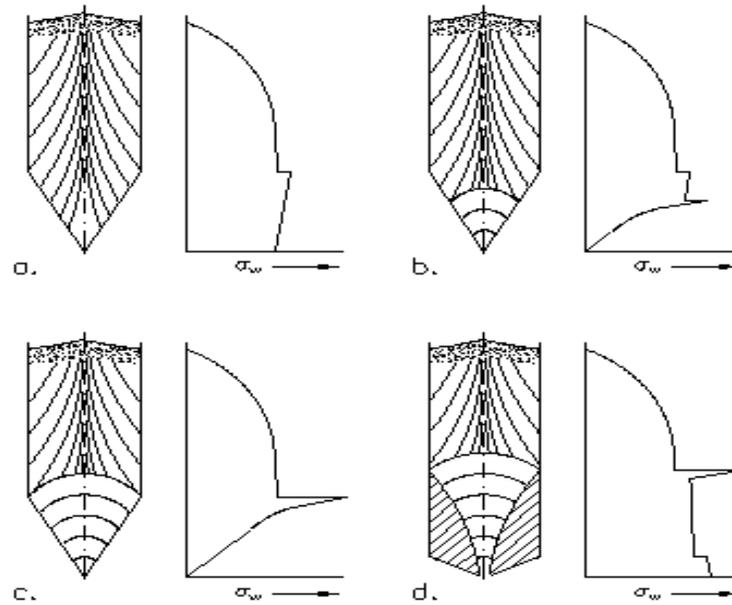
$$\frac{2 * W * 1.5}{W + 1.5} = 0.850$$

Se tiene un  $W$  de 590 mm, entonces se tiene una ranura de dimensiones 1500mmx600mm.

### **Análisis de Esfuerzo en la Tolva de Puzolana**

Los sólidos en reposo almacenados en un recipiente, transmiten esfuerzos cortantes a las paredes del recipiente, es por ello que parte del peso es soportado por las paredes del recipiente debido a la fricción con las paredes, por lo que la presión no varía linealmente con la altura.

En la tolva actúan principalmente dos tipos de estados de esfuerzos, el estado activo de esfuerzos y el estado pasivo de esfuerzos, el estado activo de esfuerzos se presenta en el proceso de llenado de la tolva, el esfuerzo principal actúa hacia abajo a lo largo del eje vertical de la tolva, y diverge en las cercanías a las paredes de la tolva como se muestra en la figura 2.71 a y c. El estado pasivo de esfuerzos actúa en el vaciado de la tolva. En una tolva de flujo de masa todo el material se desplaza y las condiciones de esfuerzo cambian. El material es comprimido horizontalmente, mientras se reduce el esfuerzo vertical debido al flujo, por lo que los esfuerzos que actúan en la dirección horizontal se vuelven mayores como se muestra en la figura 2.71 b y d.



**Figura 2.71 a) y c) Estado Activo b) y d) Estado Pasivo**

### **Esfuerzos en la Parte Cilíndrica**

Para la parte cilíndrica los esfuerzos ejercidos por el material son las siguientes ecuaciones, donde la ecuación 2.55 es la presión vertical en la parte cilíndrica de la tolva:

$$P_v = \frac{\rho * g * D}{4 * \mu * \gamma_F} \left( 1 - e^{-4\mu\gamma_F z / D} \right) \quad \text{ec. 2.55}$$

La presión normal está determinada por la ecuación 2.56:

$$P_h = \gamma_F P_v \quad \text{ec. 2.56}$$

El esfuerzo normal de las paredes determinadas por la ecuación 2.57:

$$\tau_w = \mu P_h \quad \text{ec. 2.57}$$

Coefficiente de fricción entre las paredes y el material dado por la ecuación 2.58:

$$\mu = \tan \phi_w \quad \text{ec. 2.58}$$

La constante  $\gamma_F$  determinada por la ecuación 2.59:

$$\gamma_F = 1.2(1 - \sin(\delta)) \quad \text{ec. 2.59}$$

Donde:

$P_v$  = Presión vertical del material sobre la tolva

$P_h$  = Presión normal a las paredes del cilindro

$\tau_w$  = Esfuerzo cortante sobre las paredes

$\rho$  = Densidad del material

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\gamma_F$  = Constante de Janssen.

$\phi_w$  = Ángulo de fricción entre material y paredes

$\mu$  = Coeficiente de fricción entre el material y la pared.

Z = Coordenada vertical medida desde la parte alta del cilindro.

D = Diámetro del cilindro

$\delta$  = Ángulo de fricción interna.

Se reemplazan los valores correspondientes y se encuentran los tres tipos de esfuerzos que se ejercen en función de la altura, siendo el máximo esfuerzo a 11 m de profundidad medido desde la parte superior.

Constante de Janssen:

$$\gamma_F = 1.2(1 - \sin 50.5) = 0.274$$

Ahora se calcula la presión vertical:

$$P_v = \frac{800 * 9.81 * 5}{4 * 0.538 * 0.274} \left(1 - e^{-4 * 0.538 * 0.274 * z / 5}\right)$$

$$P_v = 66548.2(1 - e^{-0.118 * z})$$

$$P_v = 48361.31 \text{ Pa}$$

El esfuerzo normal que ejerce el material sobre las paredes de la parte cilíndrica es:

$$P_h = 0.274 * 48361.31 = 13251 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante que ejerce el material en la parte cilíndrica es:

$$\tau_w = 0.538 * 13251 = 7129.04 \text{ Pa}$$

### Esfuerzo en la Parte Cónica

Los esfuerzos que actúan sobre las paredes se muestran en la figura 2.72:

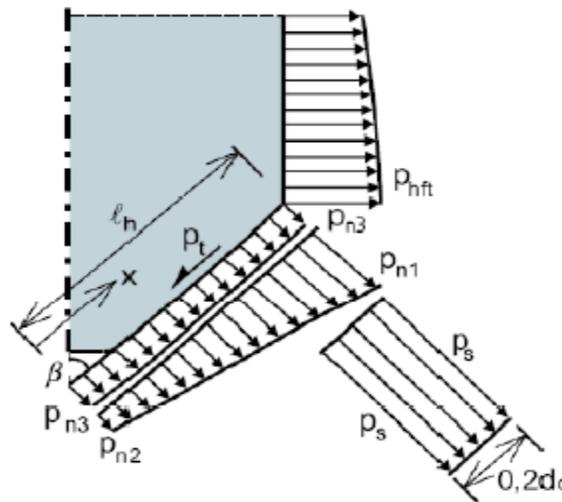


Figura 2.72 Esfuerzos en la parte Cónica <sup>[64]</sup>

La presión vertical que el material ejerce sobre la parte inclinada de la tolva está dada por:

$$\sigma_{yc} = \rho * g * \left[ \frac{h-z}{n_i} + \left( \frac{Pv}{\rho * g} - \frac{h}{n_i} \right) \left( 1 - \frac{z}{h} \right)^{n_i+1} \right] \text{ ec. 2.60}$$

La constante  $n_i$  determinado por:

$$n_i = 2 \left( 1 + \frac{\tan \phi_w}{\tan \theta} \right) - 3 \quad \text{ec. 2.60.1}$$

Donde:

$\sigma_{y_{max}}$  = Presión vertical ejercida por el material sobre la tolva.

$\rho$  = Densidad del material

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\phi_w$  = Ángulo de fricción entre material y paredes

$H$  = Altura de la tolva

$Z$  = Coordenada vertical medida desde la parte alta de la sección inclinada.

$P_v$  = Presión vertical del material sobre la tolva

$\theta$  = Angulo de inclinación de la tolva con respecto al eje vertical.

Ahora se calcula la constante  $n_i$ :

$$n_i = 2 \left( 1 + \frac{\tan 28.3}{\tan 24} \right) - 3 = 1.42$$

Entonces se tiene que la presión vertical en la parte del cono:

$$\sigma_{yc} = 800 * 9.81 * \left[ \frac{4-z}{1.42} + \left( \frac{48361.31}{800 * 9.81} - \frac{4}{1.42} \right) \left( 1 - \frac{z}{4} \right)^{1.42+1} \right]$$

$$\sigma_{yc} = 7848 * \left[ \frac{4-z}{1.42} + (3.34) \left( 1 - \frac{z}{4} \right)^{2.42} \right]$$

El EUROCÓDIGO UNE-ENV-1991-4 recomienda utilizar las siguientes ecuaciones para el cálculo de los esfuerzos normales:

$$P_n = P_{n3} + P_{n2} + (P_{n1} - P_{n2}) \frac{x}{l_h} \quad \text{ec. 2.61}$$

$$P_{n1} = P_v (C_b \cos^2 \alpha + \text{sen}^2 \alpha) \quad \text{ec. 2.62}$$

$$P_{n2} = C_b P_v \cos^2 \alpha \quad \text{ec. 2.63}$$

$$P_{n3} = 3 \frac{D * \rho * g * \gamma_F}{4\sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha \quad \text{ec. 2.64}$$

Donde:

$P_v$  = Presión vertical del material sobre la tolva

$\rho$  = Densidad del material

$g$  = Aceleración de la gravedad.

$\gamma_F$  = Constante de Janssen.

$\mu$  = Coeficiente de fricción entre el material y la pared.

$D$  = Diámetro del cilindro

$\alpha$  = Ángulo de la tolva con respecto a la horizontal

$C_b$  = Coeficiente de mayoración sobre el fondo.

$$P_{n1} = 48361.31(1.2\cos^2 66 + \operatorname{sen}^2 66) = 49961.44 \text{ Pa}$$

$$P_{n2} = 1.2 * 48361.31 * \cos^2 66 = 9600.77 \text{ Pa}$$

$$P_{n3} = 3 \frac{5 * 800 * 9.81 * 0.274}{4\sqrt{0.538}} \operatorname{sen}^2 66 = 9175.08 \text{ Pa}$$

Entonces se tiene que el esfuerzo en la parte superior del cono:

$$P_{no} = P_{n3} + P_{n1} = 9175.08 + 49961.44 = 59136.52 \text{ Pa}$$

Luego se calcula el esfuerzo en la parte inferior del cono:

$$P_{nu} = P_{n3} + P_{n2} = 9175.08 + 9600.77 = 18775.85 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante que actúa en la parte superior de la tolva:

$$P_{tno} = P_{no} * \mu = 59136.52 * 0.538 = 31815.45 \text{ Pa}$$

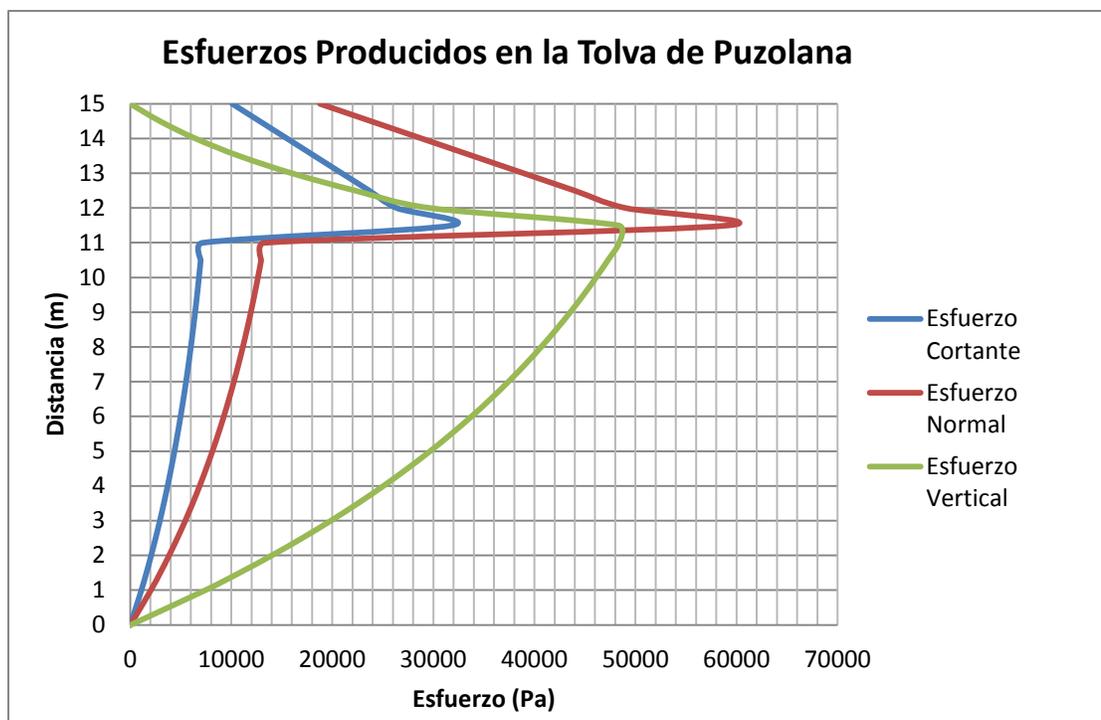
El esfuerzo cortante que actúa en la parte inferior de la tolva:

$$P_{tnu} = P_{nu} * \mu = 18775.85 * 0.538 = 10101.41 \text{ Pa}$$

Debido el efecto embudo que se produce no hay esfuerzos adicionales debido a la canalización que se forma en el silo, el esfuerzo mayor se produce en la parte cilíndrica del silo, por lo que la norma recomienda que el espesor de la chapa de toda la parte cilíndrica debe ser el mayor espesor determinado por el esfuerzo máximo. El código Indio IS: 9178Part III, asume que el esfuerzo máximo o pico se encuentra a una distancia del diámetro del silo tomado desde la parte inferior del cono.

La norma DIN 1055-6-2005-03 no clasifica a la puzolana como material explosivo por lo que no hay esfuerzos adicionales debido a explosiones.

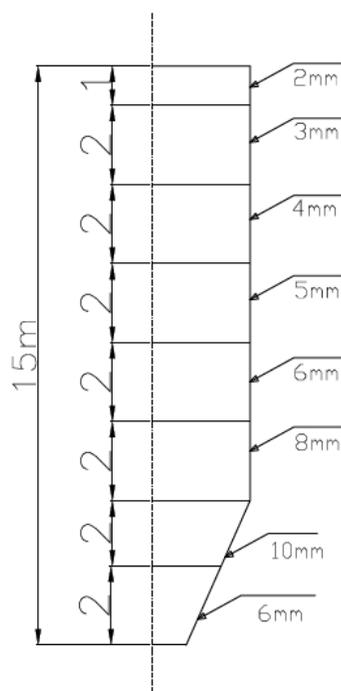
A continuación en la figura 2.73 se muestra la distribución de esfuerzos en la tolva, debido a que no se sabe donde estará el esfuerzo pico, se asume que se encuentra a una distancia de 5m desde la parte inferior del cono.



**Figura 2.73 Distribución de esfuerzos en la tolva de Puzolana**

### Espesores de Pared

En las paredes de la tolva, actúan esfuerzos normales y cortantes, por lo que para determinar los espesores se hace uso del método de elementos finitos (FEM), a través del software INVENTOR 2011<sup>[67]</sup>, cuyos resultados se muestran en la figura 2.74. En el apéndice BB se muestran los resultados.



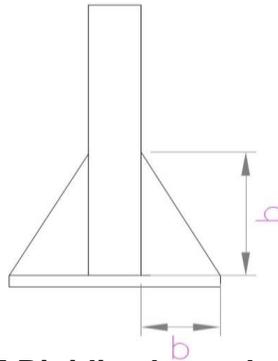
**Figura 2.74 Espesores en la tolva de Puzolana**

Las columnas de la tolva también fueron simuladas en INVENTOR, las columnas tienen perfiles circulares de  $\varnothing 275$  mm, espesor de 15 mm, longitud de 6300 mm, soportando un peso de 577.13 kN, los resultados nos da que el esfuerzo máximo es de -35.6 MPa, con un desplazamiento por pandeo de 2.45 mm. También se tienen placas de 630x630 mm con un espesor de 15 mm para las columnas.

### **Elementos Rigidizadores**

En las columnas se tienen cartelas de 165x165 mm (ver figura 2.75), la norma indica que el espesor de los rigidizadores está determinado por la ecuación 2.65:

$$e \geq \frac{b}{30} \text{ ec. 2.65}$$



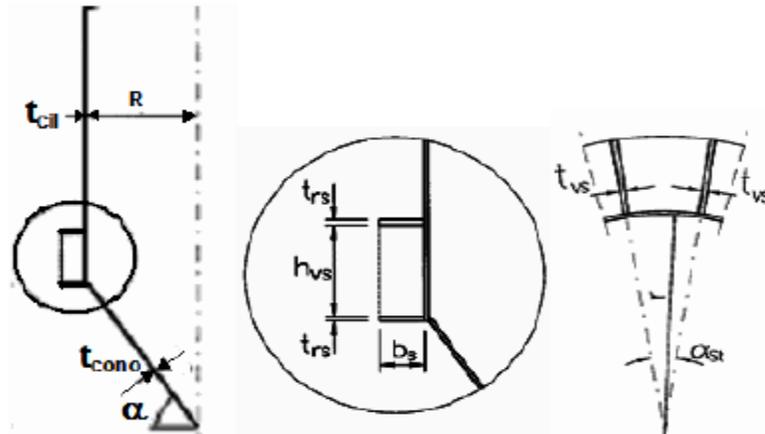
**Figura 2.75 Rigidizadores de columnas**

$$e \geq \frac{165}{30} = 6 \text{ mm}$$

Se tienen seis cartelas de 165x165 mm para cada columna con un espesor de 15 mm.

Las normas a continuación para los rigidizadores de la tolva, tanto para la parte cilíndrica y cónicas son correlaciones formuladas por HERZIG <sup>[69]</sup> y SCHROTH <sup>[62]</sup>.

En la figura 2.76 se presentan un esquema de los espesores de los anillos y platinas rigidizadores para el cilindro.



**Figura 2.76 Espesores de anillos y platinas del Cilindro**

Para el espesor del anillo rigidizador correspondiente a la parte cilíndrica del cambio de sección  $t_{RS}$ , se tiene:

$$2t_{cilindro} \leq t_{rs} \leq 8t_{cilindro} \quad \text{ec. 2.66}$$

$$2(12) \leq t_{rs} \leq 8(12)$$

$$24 \text{ mm} \leq t_{rs} \leq 96 \text{ mm}$$

$$t_{rs} = 30 \text{ mm}$$

El ancho del anillo rigidizador en la parte cilíndrica  $b_s$ , está dado por:

$$15t_{cilindro} \leq b_s \leq 50t_{cilindro} \quad \text{ec. 2.67}$$

$$15(12) \leq b_s \leq 50(12)$$

$$180 \text{ mm} \leq b_s \leq 600 \text{ mm}$$

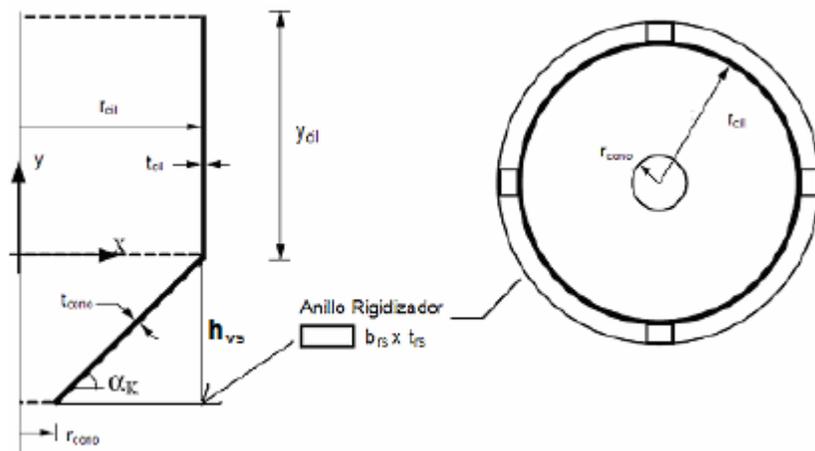
$$b_s = 300 \text{ mm}$$

La altura del soporte de los elementos rigidizadores del cilindro  $h_{vs}$ , está dado por:

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{r_{cil} b_s * t_{rs}}{t_{cil} t_{cil}}} \quad \text{ec. 2.68}$$

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{2500 \cdot 300 * 30}{12 \cdot 12}} = 1200 \text{ mm}$$

Luego se analizan los elementos rigidizadores de la parte cónica, en la figura 2.77 se muestran los elementos del anillo rigidizador:



**Figura 2.77 Anillo rigidizador del cono**

El ancho del anillo rigidizador  $b_{rs}$  está dado por:

$$15t_{cono} \leq b_{rs} \leq 50t_{cono} \quad ec.2.67$$

$$15(15) \leq t_{rs} \leq 50(15)$$

$$225 \text{ mm} \leq t_{rs} \leq 750 \text{ mm}$$

$$t_{rs} = 375 \text{ mm}$$

El espesor del anillo rigidizador  $t_{rs}$  está dado por:

$$2t_{cono} \leq t_{rs} \leq 8t_{cono} \quad ec.2.67$$

$$2(15) \leq t_{rs} \leq 8(15)$$

$$30 \text{ mm} \leq t_{rs} \leq 120 \text{ mm}$$

$$t_{rs} = 40 \text{ mm}$$

### **Válvula Guía**

El ping Gate se diseñará para soportar el cabezal de presión del material; 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 número aproximado de pines que irán en la ranura.

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

$$P_{y=15m} = \rho * g * h \quad ec. 2.68$$

$$P_{y=15m} = 800 * 9.81 * 15 = 117720 Pa$$

Carga distribuida por Pin:

$$w_{pingate} = \frac{P_{cono} * A_{cono}}{L_{pingate} * \#_{pingate}} = \frac{117720 * 1.5 * 0.6}{0.6 * 19} = 9293.68 N/m \quad ec. 2.69$$

El momento máximo ocurre en la mitad del pin, se tiene que:

$$M = \frac{w_{pingate} L_{pingate}^2}{8} \quad ec. 2.70$$

$$M = \frac{9293.68 * 0.6^2}{8} = 418.2 Nm$$

El material del Pin Gate es acero AISI 4140 con una resistencia a la fluencia  $S=4250 \times 10^6$  Pa, con un factor de seguridad de  $N=2$ , se tiene el diámetro del Pin Gate.

$$D_{pingate} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{max} * N}{\pi * S}} \quad ec. 2.71$$

$$D_{pingate} = \sqrt[3]{\frac{32 * 418.2 * 2}{\pi * 425 * 10^6}} = 0.0272 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

### Diseño de Tapa

La tapa tiene un diámetro de 5 m, con un espesor de 6 mm y debajo de ella se encuentran cuatro vigas W, las cuales ayudan a rigidizar la tapa para evitar el pandeo. Las cargas que actúan sobre la tapa es la carga muerta por el peso de la tapa y el peso de las personas como carga viva.

Se verifica el peso de la tapa en el programa INVENTOR, tiene 925 kg, por lo que tiene un peso de 9,1 kN, ahora se convierte el peso en carga distribuida:

$$w_{tapa} = \frac{W_{tapa}}{D_{tapa}} = \frac{9100}{5} = 1820 \text{ N/m} \quad \text{ec. 2.72}$$

La carga viva de las personas es de 50 kg/m<sup>2</sup>, por lo que se obtiene el peso por metro de la viga para obtener la carga distribuida:

$$w_{persona} = \frac{50 * A_{tapa} * g}{D_{tapa}} \quad \text{ec. 2.73}$$

$$w_{persona} = \frac{50 * 19.6 * 9.81}{5} = 1926 \text{ N/m}$$

Por medio del manual AISC <sup>[71]</sup>, se puede determinar la carga de diseño:

$$w_u = 1.2w_{tapa} + 1.6w_{persona} \text{ ec. 2.74}$$

$$w_u = 1.2(1820) + 1.6(1926) = 5266 \text{ N/m}$$

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

$$M_{max} = \frac{w_u * L^2}{12} \text{ ec. 2.75}$$

$$M_{max} = \frac{5266 * 5^2}{12} = 10970.8 \text{ Nm}$$

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

$$M_{max} \leq \phi_b F_y Z_x \text{ ec. 2.76}$$

Donde  $\phi_b = 0.9$  que es el factor de resistencia a la fluencia,  $F_y$  es la resistencia última a la fluencia y  $Z_x$  es el modulo Plástico que depende de la geometría del material. Se obtiene que  $Z_x$ :

$$Z_x \geq \frac{M_{max}}{\phi_b F_y} = \frac{10970.8}{0.9 * 200 \times 10^6} = 6.1 \times 10^{-5} m^3 = 3.72 \text{ in}^3$$

Siendo el perfil W6x9 el más económico con  $5.6 \text{ in}^3$ .

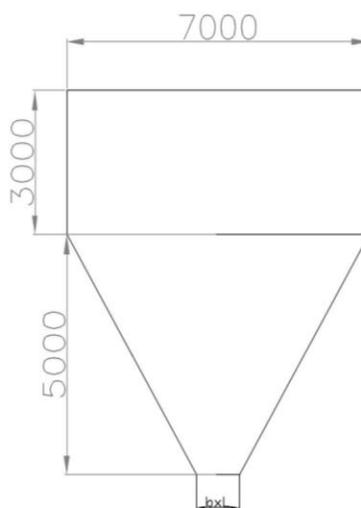
### Diseño de Tolva de Clinker

Se requiere una tolva cuadrada (TLE-1) para una capacidad de 230 m<sup>3</sup>, ya que tiene una capacidad de carga de 30 t/h para un régimen de carga de 10 horas.

$$V_{tolva} = \frac{30 \times 10}{1.3} = 230 \text{ m}^3$$

#### Forma de tolva

Se tiene una forma cuadrada de 7m x 7m con una profundidad de 3m, el cono tipo cuña es de tipo rectangular con una profundidad de 5m, en la figura 2.78 se muestra un esquema:



**Figura 2.78 Tolva de Clíinker**

### Ángulo de reposo

El ángulo de talud del clínker es de  $42^\circ$  cuando se encuentra almacenado.

### Coeficiente de fricción interna

El coeficiente de fricción interna ( $\delta$ ), es la rugosidad que existe del material consigo mismo. En la tabla 2.87 se muestra los coeficientes de fricción de los compuestos que conforman el cemento. Para el clínker se tiene  $\delta = 47^\circ$ .

### Coeficiente de fricción de pared

El coeficiente de fricción de pared ( $\mu$ ),  $\phi_w = \arctan(\mu)$ , y sus valores se muestra en la tabla 2.87. Para el clínker se tiene  $30.6^\circ$ .

## **Ángulo y Diámetro Crítico de Salida de la Cuña**

### Factor de flujo

El factor de flujo  $ff$  se lo obtiene en la figura 2.79 donde se ingresa con el ángulo de fricción de pared  $30.6^\circ$  y el coeficiente de fricción interna de  $47^\circ$ . Se obtiene un factor de flujo de 1.18 y un semi-ángulo mínimo de  $20^\circ$  ( $\theta$ ) que deberá tener el cono para que exista flujo.

En la Figura 2.80 se ingresa con el semi-ángulo del cono de  $20^\circ$  ( $\theta$ ) y el ángulo de pared de  $30.6^\circ$  ( $\phi_w$ ), con la intersección entre estos dos ángulos se obtiene que el flujo en esta tolva es tipo másico.

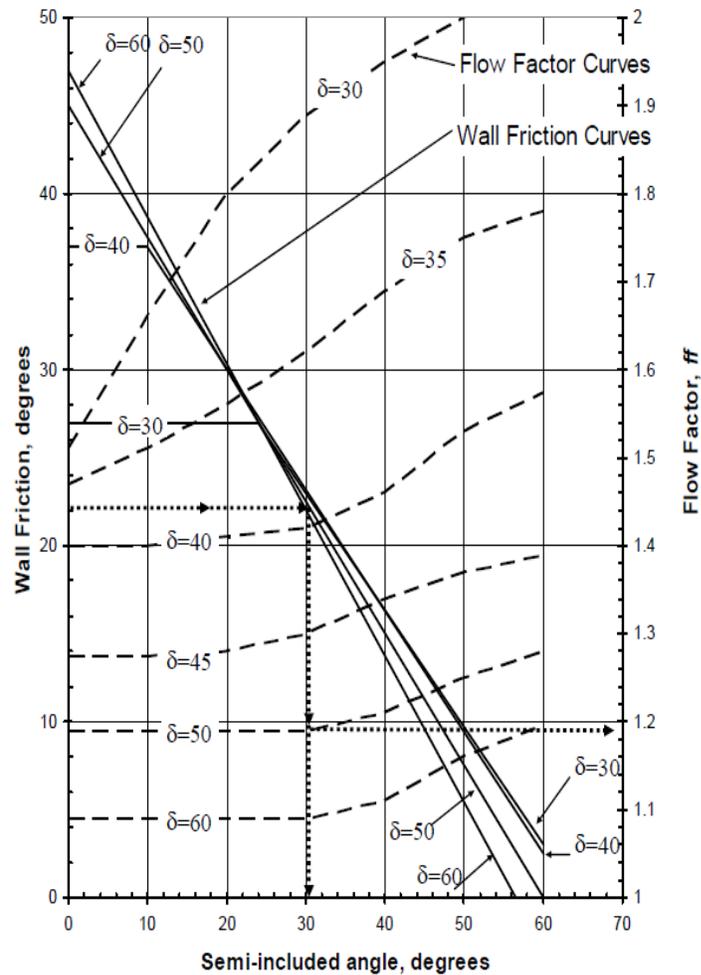


Figura 2.79 Factor de Flujo y Semi-ángulo para una tolva con salida de ranura<sup>[66]</sup>

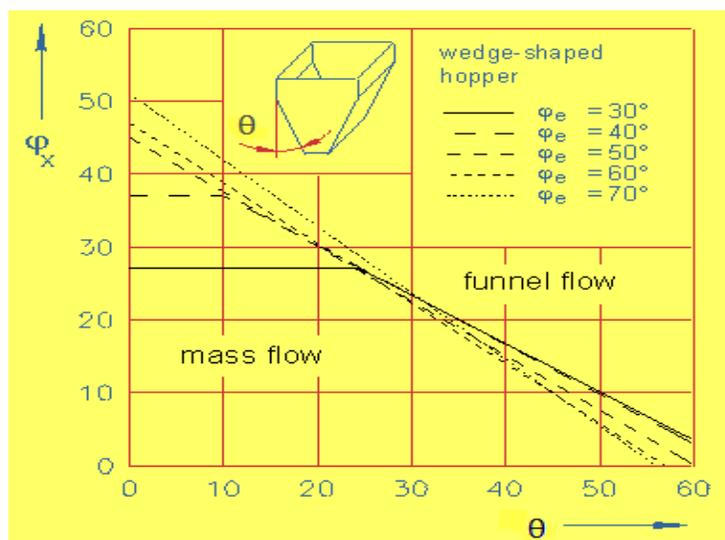


Figura 2.80 Tipo de Flujo en la parte de Cuña <sup>[67]</sup>

En la tabla 2.88 se encuentran las propiedades cohesivas de los materiales para obtener de la ecuación 2.52 la función de flujo.

$$f_c = 0.41 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.075} + 1 \right)^{1/2.06} + 1 \right]$$

Para que exista flujo, el esfuerzo de fluencia debe ser mayor que el esfuerzo de compactación, cuando estos dos esfuerzos se igualan, el flujo se detiene, es decir:

$$\frac{\sigma_1}{ff} = 0.41 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.075} + 1 \right)^{1/2.06} + 1 \right]$$

$$\frac{\sigma_1}{1.18} = 0.41 \left[ \left( \frac{\sigma_1}{0.075} + 1 \right)^{1/2.06} + 1 \right]$$

Despejando  $\sigma_1$  de la relación anterior se tiene:

$$\sigma_1 = 3,845 \text{ kPa}$$

El valor anterior indica el mínimo esfuerzo de compactación, para obtener el mínimo esfuerzo vertical se reemplaza este resultado en la ecuación 2.51:

$$\sigma_y = \frac{3,845}{1.18} = 3,259 \text{ kPa}$$

El diámetro inferior del cono está limitado por el diámetro crítico, este define el mínimo diámetro de salida del cono, para que el material salga de la tolva sin atascamientos. Está definido por la ecuación 2.53:

$$d = H(\theta) \frac{\sigma_y}{\rho * g} \text{ ec. 2.53}$$

Donde:

d = Diámetro crítico del cono (m).

$H(\theta)$  = Ángulo mínimo de inclinación de la tolva definido por la ecuación 2.53.1

$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta_{min}}{180} \text{ ec. 2.53.2}$$

$\theta_{min}$  = Angulo mínimo de inclinación 20°.

$\rho$  = Densidad del clinker 1300 kg/m<sup>3</sup>

$$d = \left(2 + \frac{20}{180}\right) \frac{3259}{1300 * 9.81} = 0.540 \text{ m}$$

### **Dimensiones de la Parte Inferior de la Cuña**

Del diámetro crítico se selecciona uno mayor de 750 mm, este sería el diámetro d para la salida del material, este diámetro se convertirá en el diámetro hidráulico para poder obtener las dimensiones del canal con la ecuación 2.54:

$$D_h = \frac{4 * Area}{Perímetro} = \frac{2 * WL}{W + L} \quad ec. 2.54$$

Para una longitud de carga de la banda dosificadora de 1500 mm (L) por lo que se reemplaza en la ecuación 2.54

$$\frac{2 * W * 1.5}{W + 1.5} = 0.750$$

Se tiene un W de 500 mm, entonces se tiene una ranura de dimensiones 1500mmx500mm.

### Esfuerzos en la Parte Cúbica

Para la parte cúbica los esfuerzos ejercidos por el material son las siguientes ecuaciones, donde la ecuación 2.55 es la presión vertical en la parte cúbica de la tolva:

$$P_v = \frac{\rho * g * D_b}{4 * \mu * \gamma_F} \left( 1 - e^{-4\mu\gamma_F z / D_b} \right) \quad ec. 2.55$$

La presión normal está determinada por la ecuación 2.56:

$$P_h = \gamma_F P_v \quad ec. 2.56$$

El esfuerzo normal de las paredes determinadas por la ecuación 2.57:

$$\tau_w = \mu P_h \quad ec. 2.57$$

Coeficiente de fricción entre las paredes y el material dado por la ecuación 2.58:

$$\mu = \tan\phi_w \quad ec. 2.58$$

La constante  $\gamma_F$  determinada por la ecuación 2.59:

$$\gamma_F = 1.2(1 - \sin(\delta)) \quad ec. 2.59$$

Constante de Janssen:

$$\gamma_F = 1.2(1 - \sin 47) = 0.322$$

Ahora se calcula la presión vertical:

$$P_v = \frac{1300 * 9.81 * 7}{4 * 0.591 * 0.322} \left(1 - e^{-4 * 0.591 * 0.322 * z / 7}\right)$$

$$P_v = 117,275.44(1 - e^{-0.109 * z})$$

$$P_v = 32710.1 \text{ Pa}$$

Según la norma DIN 1055-6 se recomienda multiplicar este valor de 1.4 para secciones no circulares debido a los incrementos de presión en el llenado.

$$P_v = 32710.1 * 1.4 = 45794.14 \text{ Pa}$$

El esfuerzo normal que ejerce el material sobre las paredes de la parte cilíndrica es:

$$P_h = 0.322 * 45794.14 = 14745.71 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante que ejerce el material en la parte cilíndrica es:

$$\tau_w = 0.591 * 14745.71 = 8714.72 \text{ Pa}$$

### Esfuerzo en la Cuña

Los esfuerzos que actúan sobre las paredes se muestran en la figura 2.76

La presión vertical que el material ejerce sobre la parte inclinada de la tolva está dada por:

$$\sigma_{yc} = \rho * g * \left[ \frac{h - z}{n_i} + \left( \frac{Pv}{\rho * g} - \frac{h}{n_i} \right) \left( 1 - \frac{z}{h} \right)^{n_i+1} \right] \quad ec. 2.60$$

La constante  $n_i$  determinado por:

$$n_i = 2 \left( 1 + \frac{\tan \phi_w}{\tan \theta} \right) - 3 \quad ec. 2.60.1$$

$$n_i = 2 \left( 1 + \frac{\tan 30.6^\circ}{\tan 24^\circ} \right) - 3 = 1.66$$

El esfuerzo vertical en la parte inclinada de la tolva en función de la altura es:

$$\sigma_{yc} = 1300 * 9.81 * \left[ \frac{5 - z}{1.66} + \left( \frac{45794.14}{1300 * 9.81} - \frac{5}{1.66} \right) \left( 1 - \frac{z}{5} \right)^{2.66} \right]$$

$$\sigma_{yc} = 12753 * \left[ \frac{5 - z}{1.66} + (0.579) \left( 1 - \frac{z}{5} \right)^{2.66} \right]$$

Para el cálculo de los esfuerzos normales se lo realiza con las ecuaciones nombradas anteriormente (2.61 – 2.64), se tiene:

$$P_{n1} = 45794.14(1.2\cos^2 70 + \operatorname{sen}^2 70) = 46865.52 \text{ Pa}$$

$$P_{n2} = 1.2 * 45794.14 * \cos^2 70 = 6428.28 \text{ Pa}$$

$$P_{n3} = 3 \frac{7 * 1300 * 9.81 * 0.322}{4\sqrt{0.591}} \operatorname{sen}^2 70 = 24763.12 \text{ Pa}$$

Entonces se tiene que el esfuerzo en la parte superior de la cuña:

$$P_{no} = P_{n3} + P_{n1} = 24763.12 + 46865.52 = 71628.64 \text{ Pa}$$

Luego se calcula el esfuerzo en la parte inferior de la cuña:

$$P_{nu} = P_{n3} + P_{n2} = 24763.12 + 6428.28 = 31191.4 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante que actúa en la parte superior de la tolva:

$$P_{tno} = P_{no} * \mu = 71628.64 * 0.591 = 42332.53 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante que actúa en la parte inferior de la tolva:

$$P_{tnu} = P_{nu} * \mu = 31191.4 * 0.591 = 18434.12 \text{ Pa}$$

Debido al cambio de sección, se produce un esfuerzo normal adicional  $P_s$  (ver figura 2.76), que actúa adicional al esfuerzo normal en la parte inclinada superior.

La norma DIN 1055-6 establece que este esfuerzo que se agrega al esfuerzo normal, es el menor de los esfuerzos  $P_{s1}$  y  $P_{s2}$  presentados a continuación:

$$P_{s1} = \rho * g * h \text{ ec.2.77}$$

$$P_{s1} = 1300 * 9.81 * 3 = 38259 \text{ Pa}$$

$$P_{s2} = \rho * g * D_c \text{ ec.2.78}$$

$$P_{s2} = 1300 * 9.81 * 7 = 89271 \text{ Pa}$$

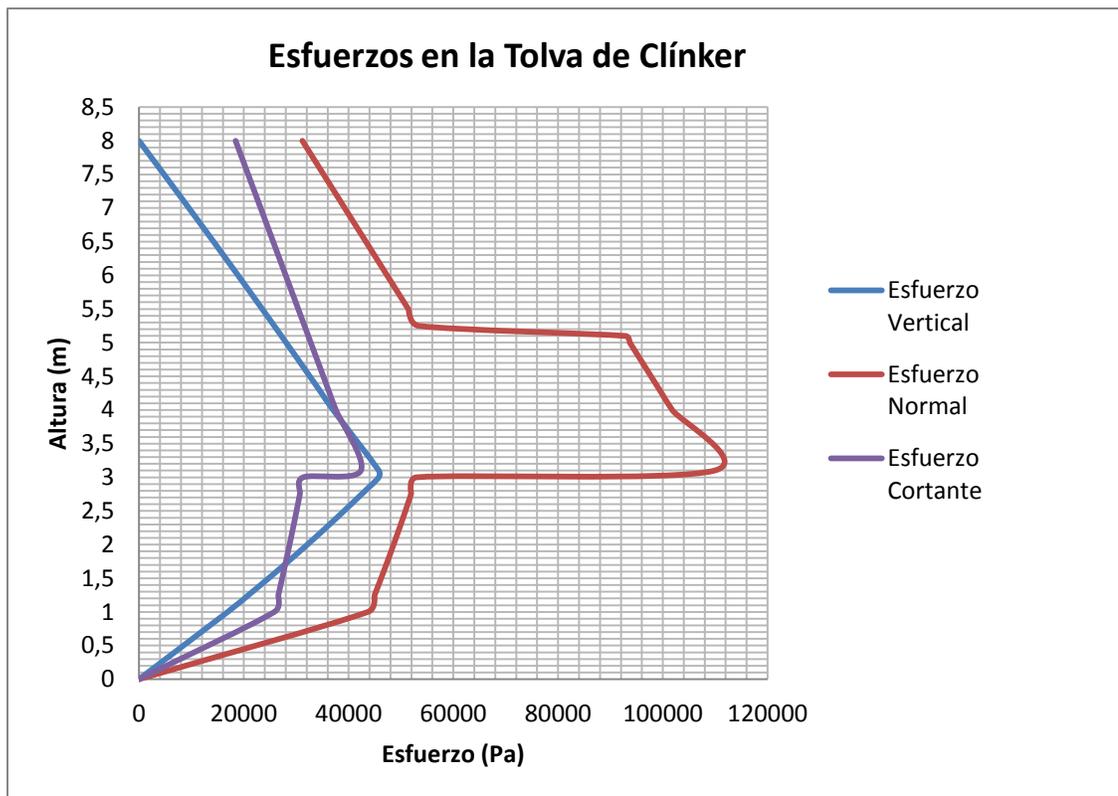
El esfuerzo  $P_{s1}$  es el esfuerzo menor de los dos anteriores. La norma establece que este esfuerzo es agregado al esfuerzo normal un tramo  $b_s$  como se muestra en la figura 2.76

$$b_s = 0.3D_c \text{ ec.2.79}$$

$$b_s = 0.3 * 7 = 2.1 \text{ m}$$

La norma DIN 1055-6-2005-03 no clasifica al clínker como material explosivo por lo que no hay esfuerzos adicionales debido a explosiones.

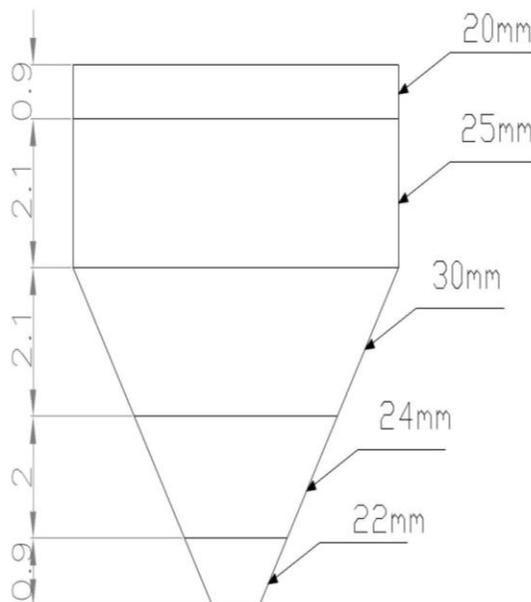
A continuación en la figura 2.81 se muestra la distribución de esfuerzos en la tolva.



**Figura 2.81 Distribución de esfuerzos en la tolva de Clínter**

### **Espesores de Pared**

En las paredes de la tolva, actúan esfuerzos normales y cortantes, por lo que para determinar los espesores se hace uso del método de elementos finitos (FEM), a través del software INVENTOR 2011<sup>[70]</sup>, cuyos resultados se muestran en la figura 2.88. En el apéndice BB se muestran los resultados.



**Figura 2.82 Espesores en la tolva de Clíinker**

Las columnas de la tolva también fueron simuladas en INVENTOR, las columnas tienen perfiles rectangulares de 300x200 mm, espesor de 15 mm, longitud de 7300 mm, soportando un peso de 838.3 kN, los resultados fueron con un esfuerzo máximo de -57.48 MPa, con un desplazamiento por pandeo de 2 mm. También se tiene una placa de 700x600 mm con un espesor de 15 mm.

## Elementos Rigidizadores

En las columnas se tiene cartelas de 100x100 mm (ver figura 2.81), la norma indica que el espesor de los rigidizadores está determinado por la ecuación 2.65:

$$e \geq \frac{100}{30} = 3.3 \text{ mm}$$

Se tiene cuatro cartelas de 100x100 mm para cada columna con un espesor de 15 mm.

Las normas a continuación para los rigidizadores de la tolva, tanto para la parte cilíndrica y cónicas son correlaciones formuladas por HERZIG <sup>[69]</sup> y SCHROTH <sup>[68]</sup>.

En la figura 2.82 se presenta un esquema de los espesores de los anillos y platinas rigidizadores para el cilindro.

Para el espesor del anillo rigidizador correspondiente a la parte cúbica del cambio de sección  $t_{RS}$ , se tiene:

$$2t_{cubo} \leq t_{rs} \leq 8t_{cubo} \text{ ec. 2.66}$$

$$2(25) \leq t_{rs} \leq 8(25)$$

$$50 \text{ mm} \leq t_{rs} \leq 200 \text{ mm}$$

$$t_{rs} = 50 \text{ mm}$$

El ancho del anillo rigidizador en la parte cúbica  $b_s$ , está dado por:

$$15t_{cubo} \leq b_s \leq 50t_{cubo} \text{ ec. 2.67}$$

$$15(25) \leq b_s \leq 50(25)$$

$$375\text{mm} \leq b_s \leq 1250 \text{ mm}$$

$$b_s = 400 \text{ mm}$$

La altura del soporte de los elementos rigidizadores de la parte cúbica  $h_{vs}$ , está dado por:

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{r_c}{t_{cubo}} \frac{b_s * t_{rs}}{t_{cubo}}} \text{ ec. 2.68}$$

$$h_{vs} = 0.11 \sqrt{\frac{3500}{25} \frac{400 * 50}{25}} = 1041 \text{ mm}$$

Los silos no circulares tienden a ser estructuras fuertemente rigidizadas, debido a que las cargas del material en el silo se aplican directamente a las chapas de las paredes, y se transmiten a los rigidizadores. Se recomienda colocar rigidizadores tanto en dirección horizontal y vertical,

con una distancia de separación  $h_{vs}$  menor a 1041, se tiene una distancia de 1000 mm tanto vertical y horizontal.

Luego se analizan los elementos rigidizadores de la cuña, en la figura 2.83 se muestran los elementos del anillo rigidizador:

El ancho del anillo rigidizador  $b_{rs}$  está dado por:

$$15t_{cuña} \leq b_{rs} \leq 50t_{cuña} \quad ec.2.67$$

$$15(30) \leq b_{rs} \leq 50(30)$$

$$450mm \leq b_{rs} \leq 1500 mm$$

$$b_{rs} = 500 mm$$

El espesor del anillo rigidizador  $t_{rs}$  está dado por:

$$2t_{cuña} \leq t_{rs} \leq 8t_{cuña} \quad ec.2.67$$

$$2(30) \leq t_{rs} \leq 8(30)$$

$$60 mm \leq t_{rs} \leq 240 mm$$

$$t_{rs} = 70 mm$$

### Válvula Guía

El ping Gate se diseñará para soportar el cabezal de presión del material; 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 número aproximado de pines que irán en la ranura.

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

$$P_{y=15m} = \rho * g * h \quad \text{ec. 2.68}$$

$$P_{y=15m} = 1300 * 9.81 * 8 = 102024 \text{ Pa}$$

Carga distribuida por Pin:

$$w_{pingate} = \frac{P_{cuña} * A_{cuña}}{L_{pingate} * \#_{pingate}} = \frac{102024 * 1.5 * 0.5}{0.5 * 30} = 5101.2 \text{ N/m} \quad \text{ec. 2.69}$$

El momento máximo ocurre en la mitad del pin, se tiene que:

$$M = \frac{w_{pingate} L_{pingate}^2}{8} \quad \text{ec. 2.70}$$

$$M = \frac{5101.2 * 0.5^2}{8} = 159.4 \text{ Nm}$$

El material del Pin Gate es acero AISI 4140 con una resistencia a la fluencia  $S=4250 \times 10^6$  Pa, con un factor de seguridad de  $N=2$ , se tiene el diámetro del Pin Gate.

$$D_{pingate} = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{max} * N}{\pi * S}} \quad ec. 2.71$$

$$D_{pingate} = \sqrt[3]{\frac{32 * 159.4 * 2}{\pi * 425 \times 10^6}} = 0.020 \text{ m} = 20 \text{ mm}$$

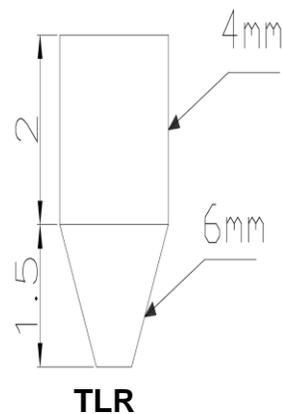
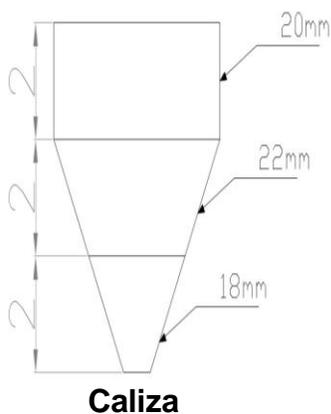
### **Diseño de Tolva de Yeso, Caliza, Pulmón y TLR.**

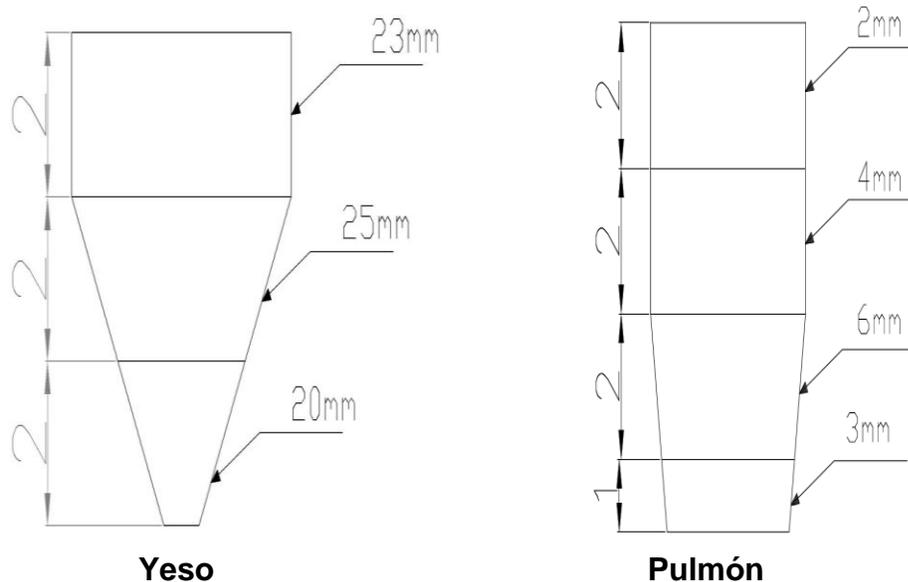
Para el diseño de las tolvas de yeso, caliza, pulmón y TLR se utilizan los mismos criterios antes mencionados, según la forma de la tolva, en la tabla 2.81 se presenta un resumen del diseño de las tolvas. En el apéndice BB se muestran las presiones que actúan en cada tolva.

Mientras que en la figura 2.83 se presentan los espesores de las tolvas según la norma DIN 1055-6-2005-03, la cual también no clasifica a ninguno de los materiales mencionados como explosivo, por lo que no hay esfuerzos adicionales debido a explosiones. Para aumentar la vida útil de las tolvas se deben construir con chapas antidesgaste como Hardox 450 o dilidur 400 V.

Tolva	Yeso (TLE-2)	Caliza (TLE-3)	Pulmón (SL2)	TLR
Capacidad	90 m <sup>3</sup>	92 m <sup>3</sup>	77 m <sup>3</sup>	12 m <sup>3</sup>
Forma	Cuadrada	Cuadrada	Cilíndrica	Cilíndrica
Dimensiones	5x5 m	5x5 m	4 m	2 m
Profundidad	6 m	6 m	7 m	3.5 m
Factor de Flujo	1.16	1.08	1.2	1.2
Ranura (mm)	1500x750	1500x870	3150 mm (circular)	800x800 mm
Presión Vertical (Pa)	28426.8	31036.7	33576.3	16811.1
Presión Normal (Pa)	7883	4981	10811.57	5413.2
Esfuerzo Cortante (Pa)	3094.2	3034	7568.1	3789.2
Presión Superior Cuña (Pa)	41204.7	41204.7	48240	21668.2
Presión Inferior Cuña (Pa)	19043.1	19043.1	14918.8	7638.4
Esfuerzo Cortante Sup. Cuña (Pa)	1767.8	17676.8	33768	15167.7
Esfuerzo Cortante Inf. Cuña (Pa)	8169.5	8169.5	10443.16	5346.9
Esfuerzo Adicional (Pa)	21974	21974	51012	51012
Tramo bs	1.5 m	1.5 m	1.2 m	-
Rigidizador Espesor	50 mm	50 mm	40 mm	30 mm
Rigidizador Ancho	400 mm	400 mm	375 mm	200 mm
Espaciamiento	850 mm	1000 mm	970 mm	470 mm
Diámetro válvula guía (AISI 4140)	15 mm	40 mm	-	-
Tapa	-	-	W4X13	W4X13

**Tabla 2.81 Diseño de tolvas de Yeso, Caliza, Pulmón, TLR.**





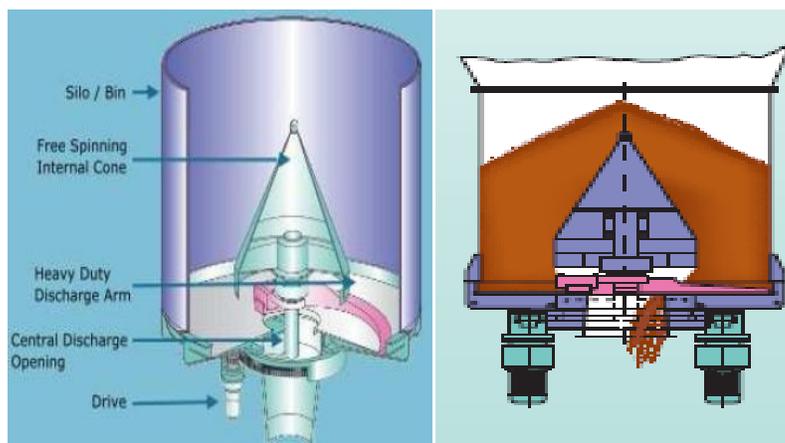
**Figura 2.83 Espesores de las tolvas de caliza, yeso, pulmón, TLR.**

#### **Selección de la Válvula de Descarga para la tolva pulmón.**

Es una máquina que descarga silos con productos de media y alta densidad que no fluyen o fluyen mal, muy abrasivos aglomerantes y pegajosos. Sistema de descargas más adaptable y de mayor flexibilidad, disponibles en diámetros que van de 2 a 5 m, se pueden lograr tasa de flujo de 0,5 a 3000 t/h. (Ver figura 2.84)

Tiene un brazo de descarga logarítmico que mueve el material alrededor de la periferia y hacia la apertura de descarga, la forma especial del brazo previene la compactación del material durante la descarga. El cono produce un alivio en la zona de descarga evitando la compactación de los

materiales en esta área incluso en tiempo de paradas grandes. Puede realizar descargas hasta tamaños de granos de 250 mm.



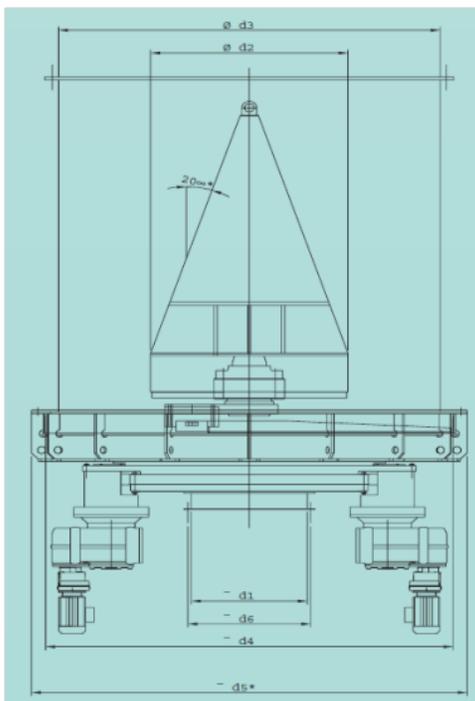
**Figura 2.84 Válvula de descarga BinEx**

Se requiere que el dispositivo de descarga dosifique el material con un flujo de 150 t/h con una densidad de la mezcla de  $1300 \text{ kg/m}^3$ , por lo que se tiene  $116 \text{ m}^3/\text{h}$ , con 6 rpm de rotación se ingresa a la tabla 2.82:

Tipo	2000	3150	4000	5000
d1	534	790	1000	1250
d2	1250	1750	2000	2500
d3	2000	3150	4000	5000
d4	2100	3250	4100	5100
d5	2300	3450	4300	5340
d6	629	883	1086	1390
Capacidad (m <sup>3</sup> /h) rpm=1.0	12	42	100	170
Capacidad (m <sup>3</sup> /h) rpm=6.0	60	252	600	1020

**Tabla 2.82 Selección de la válvula BinEx** <sup>[72]</sup>

Se tiene el tipo de válvula rotatoria 3150 con  $252 \text{ m}^3/\text{h}$  a 6 RPM con un peso de 14.1 Ton, en la figura 2.85 se muestra las dimensiones de la válvula.



**Figura 2.85 Dimensiones de la válvula BinEx**

## 2.10. Selección del alimentador vibratorio para el triturador

Se recomienda que se coloque un alimentador vibratorio para alimentar al triturador, así se logra pre-clasificar el material antes de ingresar al triturador, se tiene un precibador Gama TR1, para una capacidad de 150 t/h, se selecciona el tipo TR1-800 con una capacidad máxima de 165 t/h en la tabla 2.86:

Tipo	B	MAX TPH	C	D	E	F	G	H	I	Peso Kg
TR1-630	1000-20-5/4	125	630	224	815	795	802	1135	111	220
	1000-24-7.5/4	210	630	224	815	795	802	1135	111	220
	1250-24-7.5/4	180	758	342	815	795	802	1381	133	250
	1750-24-11/4	135	924	633	815	795	802	1874	163	310
TR1-800	1250-24-7.5/4	190	758	342	985	965	802	1281	133	280
	1500-24-11/4	165	776	534	985	965	802	1628	137	315
	1750-24-11/4	140	924	633	985	965	802	1874	163	350
TR1-1000	1500-24-11/4	165	776	534	1185	1165	802	1628	137	360
	1750-24-14/4	140	924	633	1185	1165	802	1874	163	400
	1750-30-18/4	275	924	633	1185	1165	872	1910	163	460

Tabla 2.83 Selección del Alimentador Vibratorio para el Triturador [73]

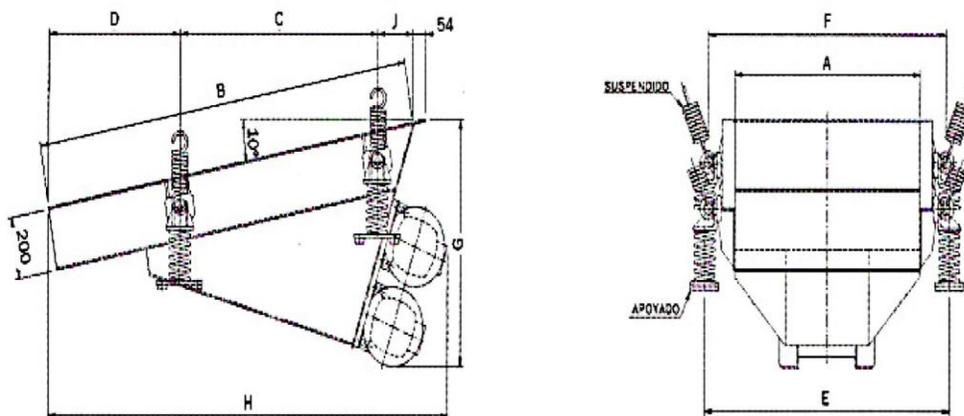


Figura 2.86 Dimensiones del Alimentador Vibratorio del Triturador

# CAPITULO 3

## 3. SELECCIÓN DE EQUIPOS SECUNDARIOS

### 3.1. Sistema de desempolvado

Se diseñará un filtro de mangas tipo pulse-jet ubicado a +N 19.15 m (ver SIPRE-ME01-EDIFPRE-17). Se coloca un sistema de desempolvado para el control de polvos y evitar que el ambiente dentro del edificio se vuelva polvoso y sucio. Luego se colecta ese polvo en las mangas y se la dirige hacia la tolva pulmón, se receptorá el polvo proveniente de:

1. Elevador de Cangilones EC-1
2. Criba CV-1
3. Triturador TR
4. Tolva TLR
5. Alimentador vibratorio de la Criba
6. Alimentador vibratorio del Triturador
7. Banda Transportadora BT-1
8. Banda Transportadora BT-2
9. Banda Transportadora BT-3
10. Banda Transportadora BT-4

Este tipo de filtro de mangas permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, es decir, mayor relación de aire-tela. La estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que lo hace más económico al construirse. Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre.

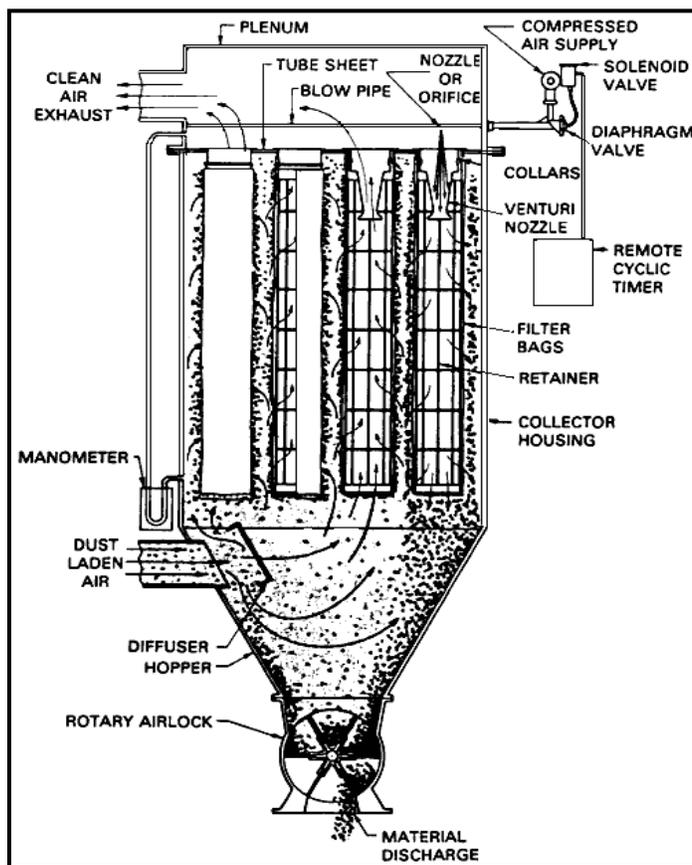
El aire sucio entra al sistema y es filtrado depositando el polvo en la superficie externa de la manga. Durante el ciclo de limpieza, el polvo se desaloja usando un chorro de aire comprimido que se inyecta en la parte superior de las mangas filtrantes.

Este aire se proporciona a través de un tubo con boquillas que alimenta los venturís localizados en la parte superior de las bolsas. El chorro de aire a alta presión interrumpe el flujo normal de aire a través del filtro. Creando una onda que al desplazarse a lo largo de la manga hace que esta se flexione, rompiendo la capa de polvo que cae hacia la tolva.

El venturí se usa para aumentar la velocidad del chorro de aire creando un impulso suficientemente grande para que pueda desplazarse a lo largo de la manga y regresar al punto de origen. El ciclo de limpieza para filtros

pulse-jet debe estar diseñado para producir un impulso corto y conciso para lograr una limpieza eficaz. La duración de éste es de 0,1 a 0,15 segundos con pulsaciones de 4-7 BAR.

La frecuencia de limpieza puede variar de 1 a 30 segundos o más, la presión se debe adaptar para mantener una presión diferencial entre 2 y 6 pulgadas de agua. En la figura 3.1 se muestra un esquema del sistema:



**Figura 3.1 Filtro de Mangas Pulse-Jet**

En la tabla 3.1 se puede observar el caudal a desempolvocar según la unidad y su tamaño, a continuación se determinará el caudal de desempolvado de cada equipo en el edificio para obtener el caudal total.

### Desempolvado en bandas transportadoras

En la banda BT-1 se tiene un ancho de banda de 750 mm por lo que en la tabla 3.1 se obtiene un caudal de  $Q_{BT} = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$  en la posición A; para la banda BT-2, BT-3 y BT-4 en la posición B para un ancho de banda de 650 mm se tiene  $Q_{BT} = 7250 \text{ m}^3/\text{h}$  en total.

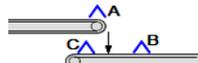
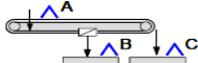
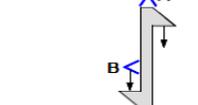
MACHINE UNIT	SIZE (mm)	m <sup>3</sup> /h	DETAILS / REMARKS				
			A	B	C		
BELT CONVEYORS 	650	4250	1500	1750	1000	m <sup>3</sup> /h	
	850	5250	2000	2250	1000		
	1000	6500	2500	2750	1250		
	1200	7750	3000	3250	1500		
	1400	8750	3500	3750	1500		
	1600	10'000	4000	4250	1750		
APRON CONVEYORS 	800	6500	3500	2000	1000	m <sup>3</sup> /h	
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	11'000	5500	4000	1500		
PIVOTING PAN APRON CONV 	800		2500	9000	9000	m <sup>3</sup> /h	
	1000		3000	10'000	10'000		
	1200		3500	11'000	11'000		
	1400		4000	12'000	12'000		
BUCKET ELEVATORS 			CHAIN m <sup>3</sup> /h		BELT m <sup>3</sup> /h		m <sup>3</sup> /h
			A	B	A	B	
	400		1250	1000	2000	1000	
	500		1500	1000	2250	1000	
	630		2000	1250	2500	1250	
	800		2500	1250	3000	1250	
	1000		3000	1500	3500	1500	
1250		3500	1500	4500	1500		
1600		4000	1500	6000	1500		
TROUGH CHAIN AND SCREW CONVEYORS 	200	500	PER 10m LENGHT				
	250	500					
	315	500					
	400	750					
	500	750					
	630	1000					
	800	1000					
	1000	1250					
AIR SLIDES			120% OF THE AIR BLOWER				
CALSSIFING-SCREEN		50	PER 1h (OPEN)				
VIBRATORY-SCREEN		450	PER m <sup>2</sup> (CLOSED)				
SWING-SCREEN		600	PER m <sup>2</sup> (CLOSED)				

Tabla 3.1 Caudal de Aire a desempolvocar según el Equipo [74]

### Desempolvado en el elevador de cangilones EC-1

Para el elevador de cangilones con un ancho de cangilón de 686 mm aproximadamente, se colocará la campana o boca en el punto A por lo que se tiene un caudal de  $Q_{EC} = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Desempolvado en la criba vibratoria CV-1

Para la criba vibratoria se tiene  $450 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , por lo que se multiplica por el área de la criba que es de  $13.8 \text{ m}^2$  y se tiene un caudal de  $Q_{CV} = 6210 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Desempolvado en el triturador TR

Para trituradores de impacto de eje vertical se tiene el factor  $60 \text{ m}^3/\text{h}/\text{t}$  <sup>[74]</sup>, se multiplica este valor para las toneladas por hora del triturador y se obtiene  $Q_{TR} = 9600 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Desempolvado en la tolva TLR

Para tolvas pequeñas se tiene que éstas producen  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  de polvo <sup>[74]</sup>.

### Desempolvado en los alimentadores vibrantes

Para el alimentador vibrante de la criba RV que tiene un ancho de 1300 producen  $3600 \text{ m}^3/\text{h}$  de polvo, mientras que para el alimentador vibrante

AV del triturador que tiene un ancho de 800 mm producen 1500 m<sup>3</sup>/h de polvo <sup>[74]</sup>.

### Caudal Total

El caudal total de polvo es la suma de todos los caudales determinados en cada equipo del edificio por lo que se tiene:

$$Q_t = Q_{BT} + Q_{EC} + Q_{CV} + Q_{TR} + Q_{TLR} + Q_{RV} + Q_{AV} \text{ ec. 3.1}$$

$$Q_t = 7250 + 2500 + 6210 + 9600 + 500 + 3600 + 1500 = 31160 \text{ m}^3/\text{h}$$

### Diseño de Ductos

Para arrastrar el polvo de cemento, se considerará el material más crítico al clinker, la velocidad recomendada para materiales abrasivos es de 16 m/s (3150 fpm) <sup>[74]</sup> por lo que se tiene un cabezal dinámico <sup>[75]</sup> de:

$$VP = \left( \frac{V_{ducto}}{4005} \right)^2 \text{ ec. 3.2}$$

$$VP = \left( \frac{3150}{4005} \right)^2 = 0.619 \text{ H}_2\text{O}$$

En el plano SIPRE-ME01-FM1-16 se encuentra la distribución de los ductos del filtro. En la tabla 3.2 se muestra los caudales que fluyen a través de cada sección.

Para conocer el diámetro de cada ducto, se despeja el diámetro de la fórmula de continuidad:

$$d_{ducto} = \frac{\sqrt{Q_{ducto}}}{212.695} \text{ ec. 3.3}$$

En el apéndice CC se presenta las pérdidas en los ductos ingresando con la velocidad de 3150 fpm y el diámetro del ducto.

Tipo	Caudal (m3/h)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro (in)	VP( "H2O)	fL ("H2O/ft)	Pérdida de presión ("H2O)
QP	31160	5493	830	32.7	0.619	0.0047	0.0524
QEC1	2500	11217	235	9.3	0.619	0.0223	0.5079
QA	28660	2010	796	31.3	0.619	0.005	0.0204
QB	9810	3838	466	18.3	0.619	0.0091	0.0709
QRV	3600	6996	282	11.1	0.619	0.0175	0.2486
QCV	6210	5008	371	14.6	0.619	0.0121	0.1230
QC	18850	4613	646	25.4	0.619	0.0065	0.0609
QD	3750	4910	288	11.3	0.619	0.0175	0.1745
QE	15100	4270	578	22.7	0.619	0.0072	0.0624
QF	2250	883	223	8.8	0.619	0.0223	0.0400
QRVT	1500	6932	182	7.2	0.619	0.0302	0.4250
QTLR	500	4462	105	4.1	0.619	0.0592	0.5363
QBT3	1750	1980	197	7.7	0.619	0.0302	0.1214
QG	11350	9524	501	19.7	0.619	0.0085	0.1644
QTR	9600	3121	461	18.1	0.619	0.0097	0.0615
QBT2	1750	5999	197	7.7	0.619	0.0257	0.3130
QH	3750	3308	288	11.3	0.619	0.0175	0.1175
QBT1	2000	15511	210	8.3	0.619	0.0257	0.8094
QBT4	1750	8037	197	7.7	0.619	0.0257	0.4194
Qs	31160	6000	830	32.7	0.619	0.0257	0.3131

**Tabla 3.2 Caudales y diámetros de los ductos**

## Ramales

Ahora se calcula la caída de presión en cada ramal para seleccionar el mayor, en la tabla 3.3 se muestra las fórmulas de caída de presión de cada ramal, se muestra que en el ramal  $R_{BT1}$  está la mayor caída de presión con 1.123”H<sub>2</sub>O que se genera en la banda BT1.

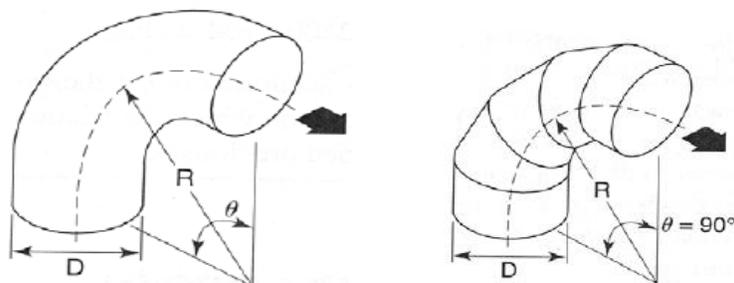
RAMAL	“de H <sub>2</sub> O
$R_{EC1} = VP(f_{EC1}L_{EC1} + f_p L_p)$	0.560
$R_{RV} = VP(f_{RV}L_{RV} + f_B L_B + f_p L_p)$	0.392
$R_{CV} = VP(f_{CV}L_{CV} + f_A L_A + f_B L_B + f_p L_p)$	0.267
$R_{RVT} = VP(f_{RVT}L_{RVT} + f_D L_D + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.733
$R_{TLR} = VP(f_{TLR}L_{TLR} + f_D L_D + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.884
$R_{BT3} = VP(f_{BT3}L_{BT3} + f_F L_F + f_D L_D + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.470
$R_{TR} = VP(f_{TR}L_{TR} + f_G L_G + f_E L_E + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.422
$R_{BT2} = VP(f_{BT2}L_{BT2} + f_G L_G + f_E L_E + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.422
$R_{BT1} = VP(f_{BT1}L_{BT1} + f_H L_H + f_E L_E + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	1.123
$R_{BT4} = VP(f_{BT4}L_{BT4} + f_H L_H + f_E L_E + f_C L_C + f_A L_A + f_p L_p)$	0.733

**Tabla 3.3 Caída de presión en ramales**

## Caída de Presión en los Accesorios

### Caída de presión en codos

Se tiene un codo de 90° y dos de 110° en el ramal  $R_{BT1}$ . En la tabla 3.4 se tiene los coeficientes de pérdidas de codos para 90° fabricado de 4 piezas con una relación r/D (ver figura 3.2) de 2.



**Figura 3.2 Codos**

Piezas	R/D				
	0,5	0,75	1	1,5	2
<b>Liso</b>	0,71	0,33	0,22	0,15	0,13
<b>5 Piezas</b>	-	0,46	0,33	0,24	0,19
<b>4 Piezas</b>	-	0,5	0,37	0,27	0,24
<b>3 Piezas</b>	0,98	0,54	0,42	0,34	0,33

**Tabla 3.4 Coeficientes de pérdidas en Codos** [75]

Entonces con la fórmula 3.4 se tiene la caída de presión debida a los codos, se debe multiplicar por un factor de corrección por los 110° de  $k=1,13$ .

$$H_{C90} = K * C * VP \text{ ec. 3.4}$$

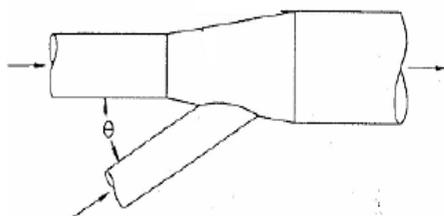
$$H_{C90} = 0.24 * 0.619 = 0.149 \text{ "H}_2\text{O}$$

$$2H_{C110} = 1.13 * 0.24 * 0.619 = 0.168 \text{ "H}_2\text{O}$$

### Caída de presión en bifurcaciones

Se tienen 5 bifurcaciones en el ramal  $R_{BT1}$ , dos bifurcaciones tienen un ángulo de 60°, otras dos con 30° y una bifurcación de 10°. En la tabla 3.5

se encuentra que para 60° se tiene un coeficiente de 0.44, para 30° se tiene 0.18, y para 10° se tiene 0.06.



Angulo (°)	Factor de Pérdida
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

**Tabla 3.5 Coeficientes de Pérdidas por Bifurcaciones** <sup>[75]</sup>

Luego con la ecuación 3.5 se determina la caída de presión por bifurcación.

$$H_B = C * VP \text{ ec. 3.5}$$

$$2H_{B60} = 0.44 * 0.619 = 0.272" H_2O$$

$$2H_{B30} = 0.18 * 0.619 = 0.111" H_2O$$

$$2H_{B10} = 0.06 * 0.619 = 0.0372" H_2O$$

### Pérdida en la campana de succión

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

$$H_{Campana} = 0.17 * VP \quad ec. 3.6$$

$$H_{Campana} = 0.17 * 0.619 = 0.105 \text{ "H}_2\text{O}$$

Entonces la caída de presión por los accesorios se tiene a continuación:

$$H_{accesorios} = H_{C90} + 2H_{C110} + 2H_{60} + 2H_{30} + H_{10} + H_{Campana} \quad ec. 3.7$$

$$H_{total} = 0.149 + 2 * 0.168 + 2 * 0.272 + 2 * 0.111 + 2 * 0.0372 + 0.105$$

$$H_{accesorios} = 1.43 \text{ "H}_2\text{O}$$

La caída de presión en los ductos es igual a las pérdidas por accesorios, cabezal dinámico, ramal  $R_{BT1}$  y en la sección S:

$$SP_{Ductos} = H_{accesorios} + R_{BT1} + VP + R_S \quad ec. 3.8$$

$$SP_{Ductos} = 1.43 + 1.123 + 0.619 + 0.313 = 3.485 \text{ "H}_2\text{O}$$

La caída de presión debido al filtro está en el rango de  $4 - 8 \text{ "H}_2\text{O}$ , se escoge  $SP_{filtro} = 6 \text{ "H}_2\text{O}$ , por lo tanto la caída de presión total es:

$$SP_{TOTAL} = SP_{Ductos} + SP_{Filtro} \quad ec. 3.9$$

$$SP_{TOTAL} = 3.485 + 6 = 9.485 \text{ "H}_2\text{O}$$

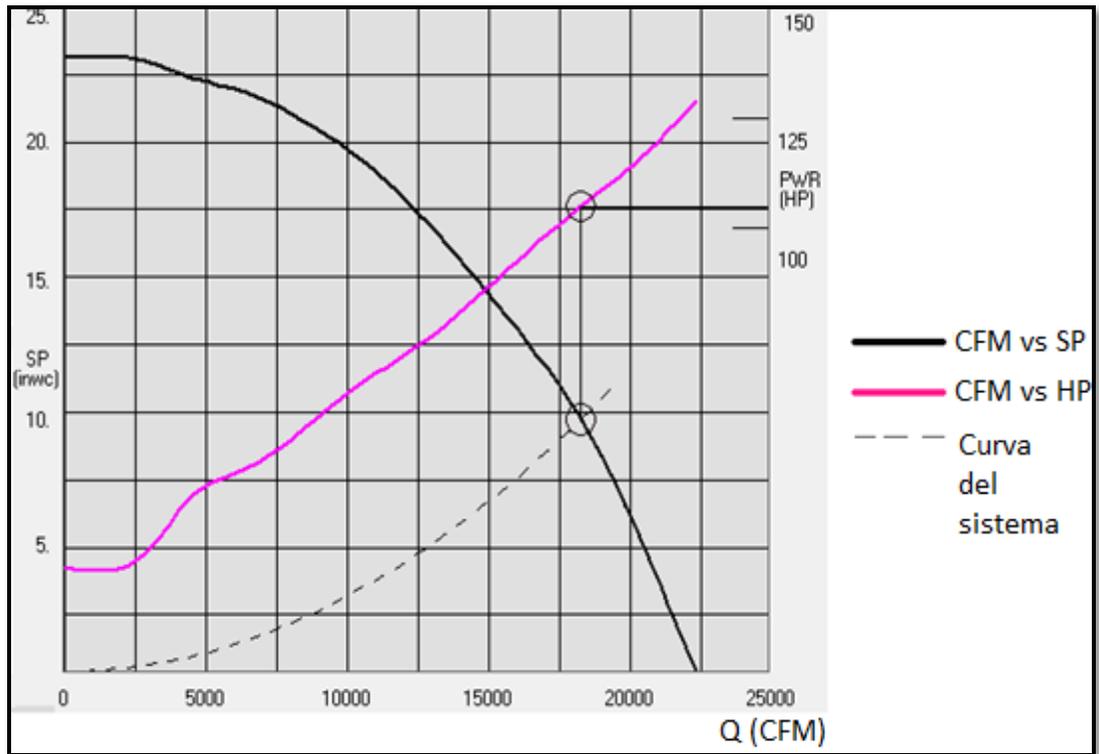
### Selección del Ventilador

Con la herramienta de diseño LOREN COOK <sup>[76]</sup>, con  $SP_{TOTAL} = 9.5 \text{ "H}_2\text{O}$ ,  $Q_{total} = 18330 \text{ CFM}$ , a una altura de 8528 ft y a temperatura ambiente, el ventilador es tipo centrífugo. El programa determina que el modelo 170-MHB-HD con un motor de 100 HP a 2486 RPM. A continuación en la tabla 3.6 se encuentran las características del ventilador VE1 seleccionado.

<b>Modelo</b>	170-MHB-HD
<b>CFM</b>	18330
<b>SP(in H2O)</b>	9.5
<b>Impeler(in)</b>	29.6
<b>Peso(kg)</b>	480
<b>Motor (HP)</b>	100

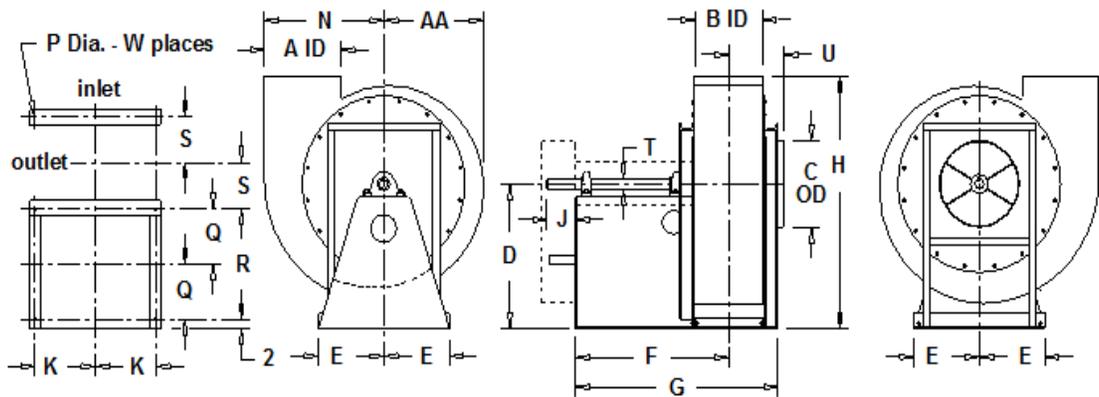
**Tabla 3.6 Características del ventilador VE1**

A continuación en la figura 3.3 se muestra la curva del sistema vs curva del ventilador (CFM vs SP).



**Figura 3.3 Selección del Ventilador VE1**

En la figura 3.4 y tabla 3.7 se muestra las dimensiones del ventilador centrífugo VE1:



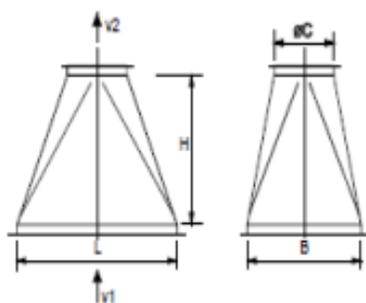
**Figura 3.4 Dimensiones del Ventilador**

<b>A</b>	16	<b>J</b>	6
<b>B</b>	14-1/4	<b>K</b>	13-1/8
<b>C</b>	17	<b>N</b>	25-3/8
<b>D</b>	28-1/4	<b>P</b>	11/16
<b>E</b>	13-7/8	<b>Q</b>	10-3/4
<b>F</b>	32-9/16	<b>R</b>	21-1/2
<b>G</b>	43	<b>S</b>	9-1/16
<b>H</b>	48-3/8	<b>TSD</b>	2-3/16
<b>U</b>	11-1/2	<b>THD</b>	2-7/16
<b>W</b>	8	<b>AA</b>	21-1/4

**Tabla 3.7 Dimensiones del Ventilador VE1**

### Dimensionamiento de Campanas y Codos

Las campanas tienen dimensiones estándar que se muestran en la tabla 3.8 según el caudal, tanto las campanas y demás accesorios, así como los ductos normalmente tienen un espesor de 4 mm.



<b>Q (m3/h)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>B (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>ØC (mm)</b>
500	370	270	235	100.5
1500	630	460	400	172
1750	680	500	430	186
2000	740	540	470	198
2500	820	600	520	222
6000 ≥	1260	930	800	344

**Tabla 3.8 Dimensiones de Campanas** <sup>[74]</sup>

También se tiene el dimensionamiento de los accesorios como codos, bifurcaciones y conexiones del sistema de desempolvado que se rigen en tamaños normalizados como se muestra en la figura 3.5:

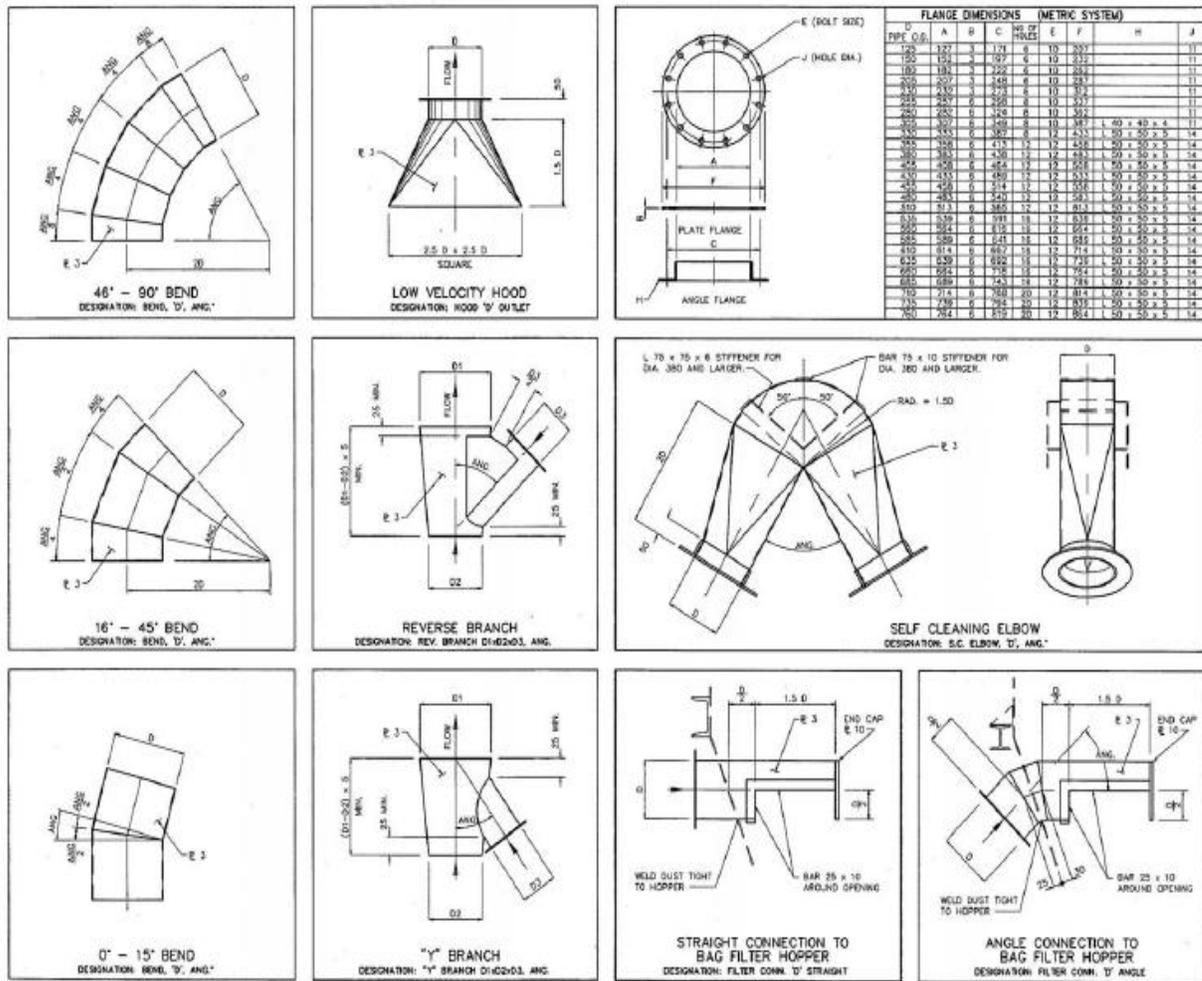


Figura 3.5 Diseño de Accesorios [74]

### Selección de Mangas

A continuación se presentan varias gamas de tipos de mangas cada uno dependiente del tipo de uso que se le dé y las condiciones en la que

trabaja, en la tabla 3.9 se muestran los tipos de filtros y según su aplicación.

El tipo de filtro que cumple con las condiciones necesarias de trabajo como: resistencia a la abrasión, absorción, propiedades filtrantes, se tiene al Poliéster. Se recomienda colocar recubrimiento, que es una membrana sobre la superficie de la manga, el propósito es mejorar la resistencia contra ataques químicos y tener una óptima eficiencia en la filtración, mejora el desalojo del polvo y la capacidad del cual de aire. Para el cemento se tiene el recubrimiento BHA-TEX membrana PTFE.

#### Dimensiones de las Mangas

Para sistemas pulse-jet se recomienda que el diámetro de las mangas sean de 120 a 150 mm de forma cilíndrica, se seleccionará un diámetro de 150 mm (D) y una longitud de 3000mm (h) por lo que cada filtro tendrá un área de:

$$A_{manga} = \pi D * h \text{ ec.3.10}$$

$$A_{manga} = \pi * 0.15 * 3 = 1.41 \text{ m}^2$$

	Polipropileno	Acrílico	Poliéster	PPS(Torcon/Procon)	Aramida (Nomex)	P84	Fibra de Vidrio	Teflón
<b>Máx. Temperatura de Operación Continua</b>	77°C	130°C	135°C	190°C	204°C	180°C - 260°C	260°C	260°C
<b>Abrasión</b>	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Regular	Regular	Buena
<b>Energía de Absorción</b>	Buena	Buena	Excelente	Buena	buena	Buena	Regular	Buena
<b>Propiedades de Filtración</b>	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Regular
<b>Humedad</b>	Excelente	Excelente	Pobre	Buena	buena	Buena	Excelente	Excelente
<b>Alcalinos</b>	Excelente	Regular	Regular	Excelente	buena	Regular	Regular	Excelente
<b>Ácidos Minerales</b>	Excelente	Buena	Regular	Excelente	Regular	Buena	Pobre	Excelente
<b>Oxígeno (15% máx)</b>	Excelente	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

**Tabla 3.9 Selección de Filtros** <sup>[77]</sup>

Ahora se calcula el área neta de filtración requerida para el sistema con la ec. 3.11 donde se tiene el caudal  $Q_{TOTAL} = 31160 \text{ m}^3/\text{h}$  y la velocidad de filtración entre gas-Tela que para cemento la máxima velocidad de filtración es de 8 fpm, pero se seleccionará una velocidad de 4 fpm (0.0203 m/s)

$$A_{NETA} = \frac{Q_{TOTAL}}{V} \quad \text{ec. 3.11}$$

$$A_{NETA} = \frac{8.66}{0.0203} = 426.38 \text{ m}^2$$

Por lo que se obtiene con la ecuación 3.12 el número de mangas:

$$N_{manga} = \frac{A_{NETA}}{A_{manga}} \quad \text{ec. 3.12}$$

$$N_{manga} = \frac{426.38}{1.41} \cong 305 \text{ Mangas}$$

La norma recomienda que en cada fila solo se coloquen máximo 16 mangas, por lo que se colocarán 15 mangas en cada fila, también la norma establece que la separación entre mangas debe de 50 mm de cada manga y con una distancia manga-pared de 75 mm.

### Selección de válvulas diafragmas

Las válvulas tendrán un tiempo de apertura para la limpieza de las mangas a alta presión, se tiene que el tiempo de apertura de la válvula es de 150 ms, el rango de la presión de entrada en la válvula está entre 3 a 6 Bar, se selecciona 5.5 Bar (80 PSI para compresores Standard), también se tiene que el flujo de aire limpio debe ser de 20 m<sup>3</sup>/h <sup>[78]</sup> para cada manga por lo que se tiene 0.0056 m<sup>3</sup> cada segundo ya que la apertura de la válvula es de 150 ms, por lo que se tiene un caudal de aire limpio de 133 m<sup>3</sup>/h multiplicándolo por las 15 mangas de cada fila se obtiene Q<sub>n</sub> = 2000 m<sup>3</sup>/h Se calcula el factor de flujo K<sub>v</sub> (m<sup>3</sup>/h) con la ecuación 3.12:

$$K_v = \frac{Q_n \sqrt{\delta_n (273 + T)}}{250 * P_1} \quad ec. 3.12$$

Donde:

Q<sub>n</sub> = Flujo de aire limpio de 2000 m<sup>3</sup>/h

δ<sub>n</sub> = Gravedad específica del aire 0.957 kg/m<sup>3</sup> ( a 2600 m)

P<sub>1</sub> = Presión de entrada de 6.5 Bar.

T = Temperatura ambiente de 25°C

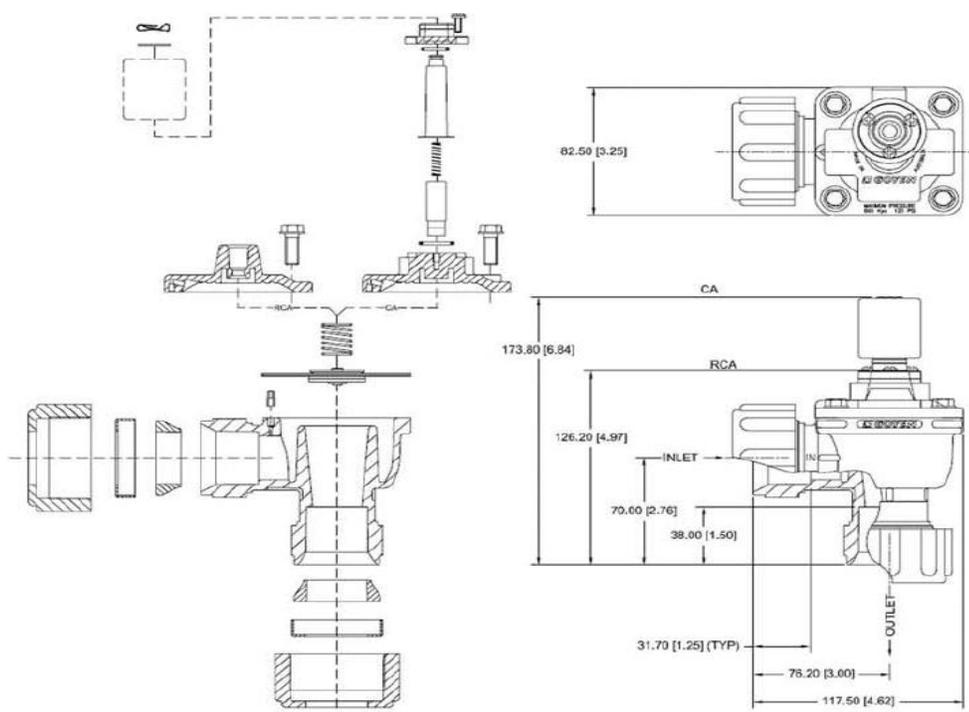
$$C_v = \frac{2000\sqrt{0.957(273 + 25)}}{250 * 6.5} = 20.8 \text{ m}^3/h$$

En la práctica se utilizan válvulas CR (Chlorbutadien-Elastomer), Buna N (Styrol-Butadien-Elastomer) y Viton. En este caso se seleccionará válvulas tipo Viton resistentes a temperaturas entre -29°C a 232°C. En la tabla 3.10 se selecciona el tipo RCA25T3 con sellos K2530.

Modelo	Tamaño del Puerto	No. De Diafragmas	Flujo Kv	Flujo Cv	Rango de Presión (KPa)	Sellos Nitrilo	Sellos Viton
RCA20T3	20	1	14	17	30-125	K2016	K2017
RCA20ST3	20	1	14	17	30-125	K2016	K2017
RCA20DD3	20	1	14	17	30-125	K2016	K2017
RCA20FS3	20	1	19	22	30-125	K2019	K2020
RCA25T3	25	1	24	27	30-125	K2529	K2530
RCA25DD3	25	1	24	27	30-125	K2529	K2530
RCA25FS3	25	1	34	40	30-125	K2529	K2530

**Tabla 3.10 Selección de Válvulas Solenoides.** <sup>[79]</sup>

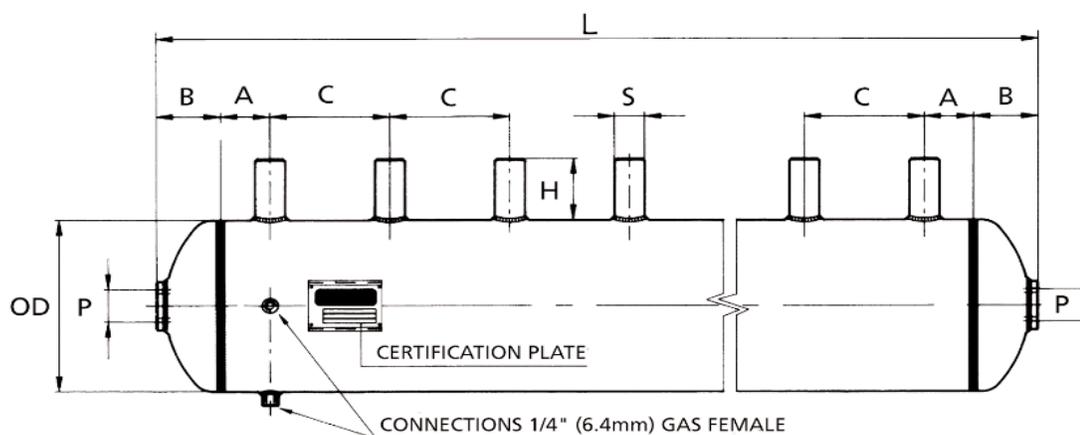
En la figura 3.6 se encuentran las dimensiones del modelo RCA25DD3, que es una válvula diafragma comandada por solenoide.



**Figura 3.6 Válvula RCA25DD3<sup>[79]</sup>**

También se tiene el cabezal del tanque de aire comprimido que para las válvulas RCA25DD es el que se muestra en la figura 3.7

En el tanque cabezal se colocaran las 21 válvulas, este tanque básicamente sirve para la recuperación de la presión de aire que depende de la capacidad del sistema de aire comprimido ligado a la casa de mangas y el tamaño de las tuberías de aire comprimido.



**Figura 3.7 Tanque Cabezal**

En la tabla 3.11 se muestra las medidas del tanque cabezal.

<b>OD (mm)</b>	141.3
<b>P (in)</b>	1
<b>A (mm)</b>	40
<b>B (mm)</b>	50
<b>C (mm)</b>	50
<b>S (in)</b>	1
<b>H (mm)</b>	85
<b>T (mm)</b>	40
<b>L (mm)</b>	4180

**Tabla 3.11 Dimensiones del Tanque Cabezal para válvulas**

#### Peso de los ductos

Los ductos serán construidos de acero A36 con un espesor de 4 mm, el peso total de los ductos se obtiene hallando el volumen del metal y multiplicándolo por la densidad.

DUCTO	L <sub>ducto</sub> (mm)	D <sub>ducto</sub> (mm)	m <sub>ducto</sub> (kg)
QP	5493	830	451.32
QEC1	11217	235	261.05
QA	2010	796	158.38
QB	3838	466	176.94
QRV	6996	282	195.38
QCV	5008	371	183.69
QC	4613	646	294.79
QD	4910	288	139.95
QE	4270	578	244.23
QF	883	223	19.50
QRVT	6932	182	124.96
QTLR	4462	105	46.44
QBT3	1980	197	38.55
QG	9524	501	472.28
QTR	3121	461	142.33
QBT2	5999	197	116.81
QH	3308	288	94.29
QBT1	15511	210	322.87
QBT4	8037	197	156.49
Qs	6000	830	492.98
<b>TOTAL</b>			<b>4133.24</b>

**Tabla 3.12 Peso de Ductos de FM1**

$$m_{ducto} = \rho * V = \rho_{acero} * \sum \pi \phi_{ducto} L_{ducto} t \quad ec. 3.15$$

$$m_{ducto} = 785 * \pi * 0.004 * \sum \phi_{ducto} L_{ducto}$$

$$m_{ducto} = 99 * \sum \phi_{ducto} L_{ducto}$$

El peso queda en función del diámetro del ducto y la longitud de cada ducto. En la tabla 3.12 se muestra el peso de los ductos pero también hay

que considerar el peso de los accesorios con un 20% del peso de los ductos por lo que se tiene un peso total.

$$m_{TOTAL} = m_{ductos} + 1.2 * m_{accesorios} \quad ec. 3.16$$

$$m_{TOTAL} = 4133.24 + 0.2 * 4133.24 = 4960 \text{ Kg}$$

### **Selección de la Válvula Rotatoria**

La válvula rotatoria (VR), ubicada debajo de la tolva de desempolvado FM-1 para dosificar el material procedente de los filtros, una aproximación del polvo atrapado por los filtros es de  $20 \text{ gr/m}^3$  [79], así se puede obtener el flujo másico.

$$\dot{m} = 20 * Q_t \quad ec. 3.17$$

$$\dot{m} = 20 * 31160 = 623.2 \text{ Kg/h}$$

Luego se procede a encontrar el caudal que pasa a través de la válvula rotatoria.

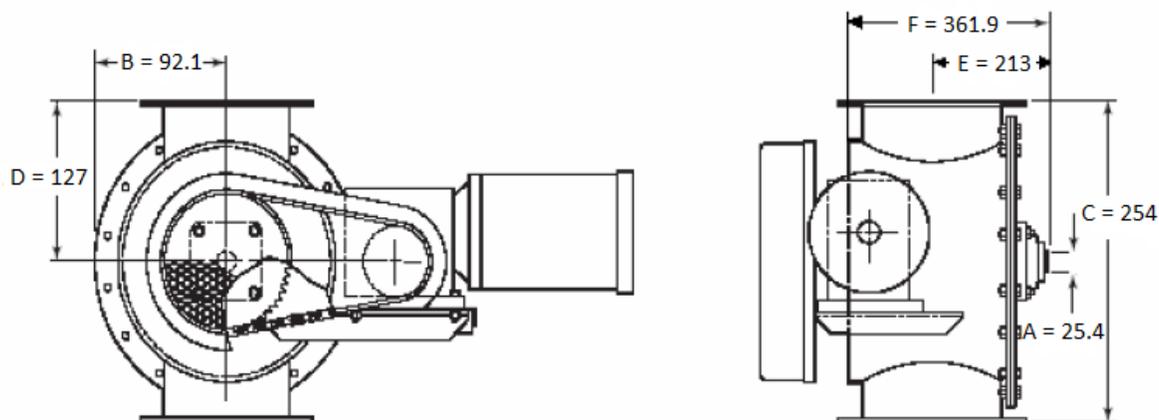
$$Q_{valvula} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{623.2}{1300} = 0.479 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (0.81 CFM)} \quad ec. 3.18$$

La eficiencia de las válvulas rotatorias es normalmente del 60% por lo que se tiene un caudal de 1.35 CFM. En la tabla 3.13 se selecciona la válvula rotatoria 6x6 girando a 20 RPM (50 RPM máximo), con un peso de 175 Kg.

Tamaño (in)	Tasa de descarga (ft <sup>3</sup> /rev)	Velocidad Máxima (RPM)	RPM						
			10	15	20	25	30	40	50
4x4	0.02	50	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1
6x6	0.07	50	0.7	1.1	1.4	1.75	2.1	2.8	3.5
8x8	0.2	47	2	3	4	5	6	8	10
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	-	-
14x14	1	30	10	15	20	25	30	-	-
16x16	1.6	25	16	24	32	40	-	-	-
18x18	2.1	25	21	31.5	42	52.5	-	-	-
22x22	4.1	20	41	61.5	82	-	-	-	-

**Tabla 3.13 selección de Válvula Rotatoria (6 álabes)**

En la figura 3.8 se muestra las dimensiones de la válvula rotatoria seleccionada.



**Figura 3.8 Válvula Rotatoria VR-1**

El proveedor indica que para este tipo de válvula rotatoria que tiene un diámetro del rotor de 200 mm con una potencia de 3/4 Hp. Entre los proveedores de válvulas rotatorias se encuentran WAMgroup, DONALDSON, MEYER.

### **3.2. Selección de desempolvado tipo cartucho**

El colector de polvo tipo cartucho se ubican en las bandas de placas BD-1, BD-2, BD-3, BD-4, son sistemas de desempolvados compactos y tradicional para aplicaciones de volúmenes bajos. Estos colectores incluyen un sistema de retiro de bolsas por la parte inferior que lo convierten ideales para las aplicaciones donde prácticamente no hay espacio superior en la figura 3.9 se muestra un esquema de este tipo de colectores. 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 3.9 Colector de Polvo**

### **Selección de Colector de Polvo Tipo Cartucho**

Para los equipos de transporte, almacenaje y alimentación, que manejan los compuestos del cemento para colectores tipo pulse-jet se tiene radios aire-tela de  $1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min} - 2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{min}$  <sup>[80]</sup>. En la tabla 3.1 en la posición A se tiene un caudal de polvo de  $3500 \text{ m}^3/\text{h}$ , entonces se determina el área filtrante para CP-1 para las cuatro bandas:

$$A_{\text{filtro}} = \frac{Q_{\text{ducto}}}{C_{\text{filtro}}} \text{ ec. 3.19}$$

$$A_{\text{filtro}} = \frac{\frac{14000m^3}{h}}{\frac{150m^3}{m^2h}} = 93.3 m^2 (1004 ft^2)$$

En la tabla 3.14 se muestra los modelos de los colectores de desempolvado se ingresa con el radio (2.5), el caudal de 8240 CFM (14000 m<sup>3</sup>/h), y con 144 ft<sup>2</sup> de área filtrante.

13.8"x26" Filtros Modelo	Área (ft2)	Radio aire-tela /CFM					Peso (Lbs)
		1:1	1.5:1	2:1	2.5:1	3:1	
<b>3DCP-6</b>	720	1536	2304	3072	3840	4608	1355
<b>3DCP-12</b>	1440	3072	4608	6144	7680	9216	2260
<b>3DCP-18</b>	2160	4608	6912	9216	11520	13824	3125
<b>3DCP-24</b>	2880	6144	9216	12288	15360	18432	3005
<b>3DCP-36</b>	4320	9216	13824	18432	23040	27648	3750
<b>3DCP-48</b>	5760	12288	18432	24576	30720	36864	4495
<b>3DCP-54</b>	6480	13824	20736	27648	34560	41472	5995

**Tabla 3.14 Selección del colector tipo cartucho**

A continuación se presentan las características del modelo seleccionado y en la figura 3.10 se muestran las dimensiones.

Modelo: 3DCP-18

Área Filtrante: 2160 ft<sup>2</sup> (200 m<sup>2</sup>)

Caudal: 11520 CFM (19469 m<sup>3</sup>/h)

Peso: 3125 Lbs (1420 Kg)

Número de Filtros: 18

Dimensiones de Filtros: 350x660 mm.

Capacidad del depósito: 55 Galones.

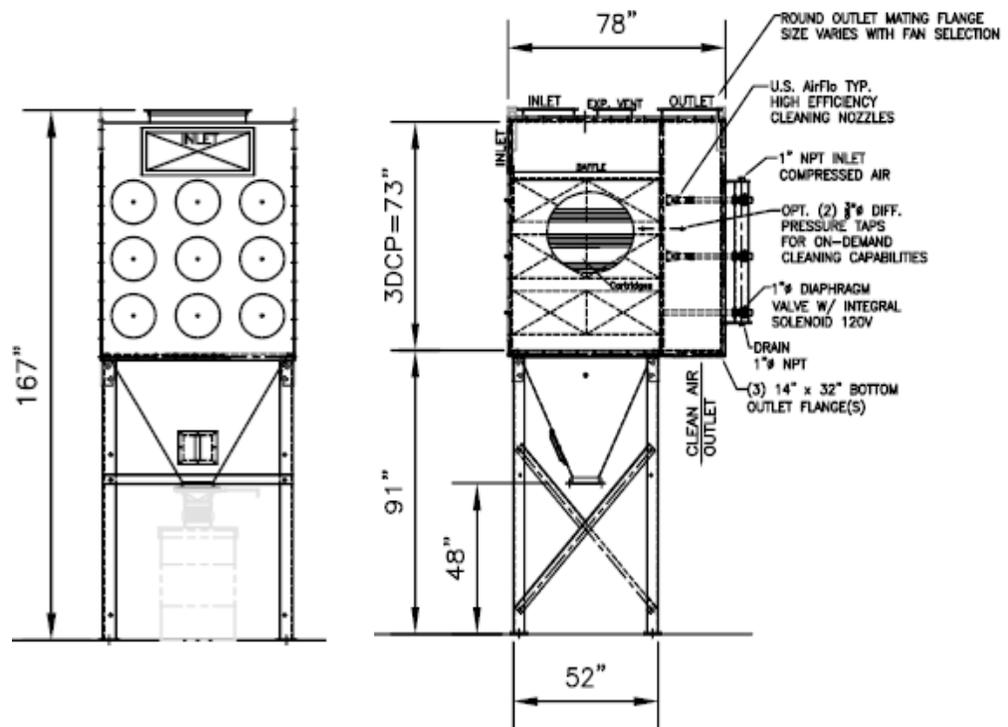


Figura 3.10 Dimensiones del colector 3DCP-18

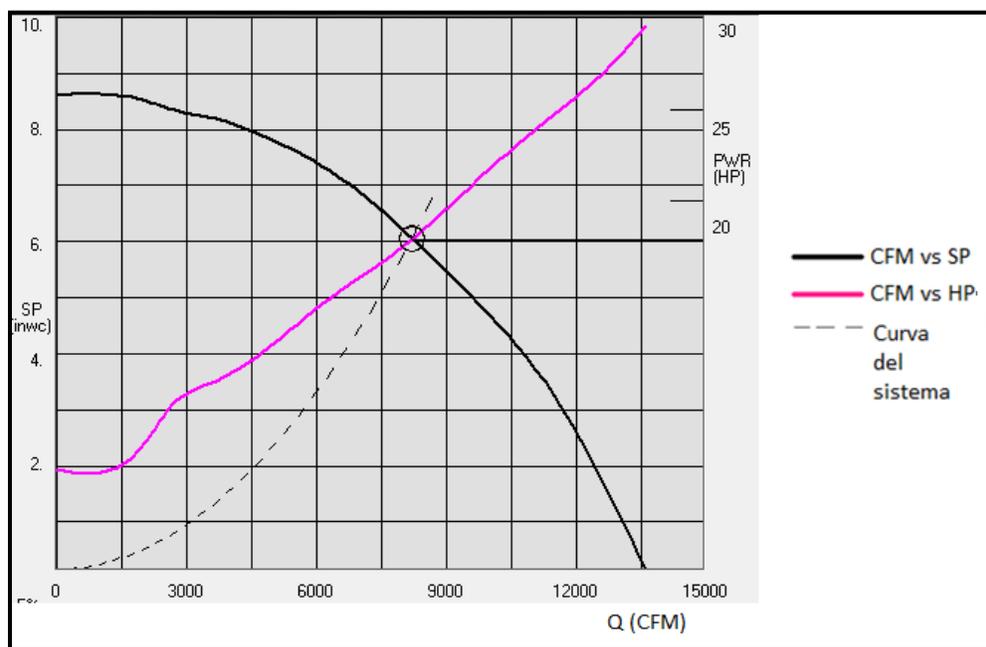
### Selección del Ventilador

Para el colector CP-1 se tiene el ventilador VE-2 ingresando al software LOREN COOK <sup>[76]</sup>, la caída de presión en un colector de mangas está

entre 4 – 8 “H<sub>2</sub>O se escoge 6” H<sub>2</sub>O con  $Q_{cp1}=8240$  a 8528 ft y a temperatura ambiente, el ventilador es tipo centrífugo. El programa determina que el ventilador modelo 170-MHB-SD con un motor de 20Hp a 1571 RPM. En la tabla 3.15 se muestra las características del Ventilador centrífugo VE-2.

<b>Modelo</b>	170-MHB-sD
<b>CFM</b>	8240
<b>SP(in H2O)</b>	6
<b>Peso (Kg)</b>	120
<b>Impeler (in)</b>	29.6
<b>Motor (HP)</b>	20

**Tabla 3.15 Características del ventilador VE-2**



**Figura 3.11 Selección del Ventilador VE-2**

En la figura 3.4 y tabla 3.7 se muestra las dimensiones del ventilador centrífugo VE2.

### 3.3. Selección del extractor magnético

El extractor o separador magnético se utiliza a menudo en muchos procesos industriales con el fin de eliminar o recuperar materiales ferromagnéticos. En recientes años, también se han utilizado para remover los minerales magnéticos del carbón, minerales no metálicos, industria cementera y más. Los “contaminantes” que no son separados pueden dañar la maquinaria del proceso, quedarse en el producto final alterando la composición y calidad. En la figura 3.12 se muestra un esquema del separador.



**Figura 3.12 Separador Magnético**

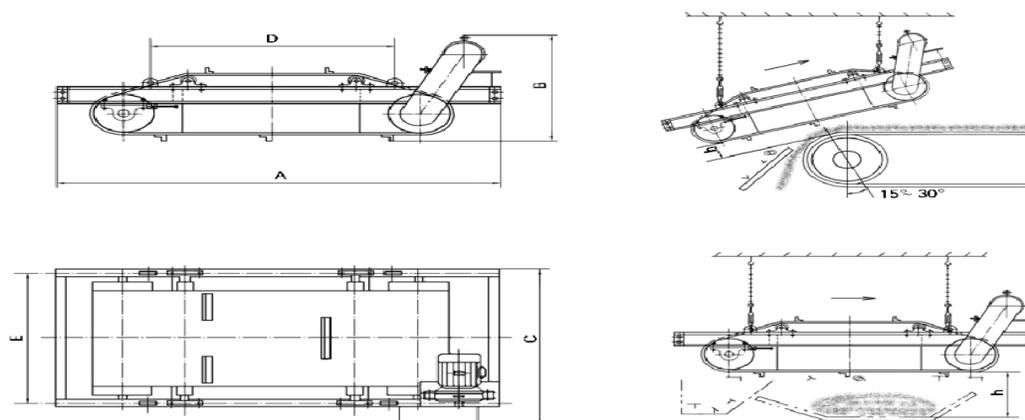
Están constituidos por un bastidor, al cual se le ubica en el centro un potente electroimán. En los extremos se colocan los tambores motriz y

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 apto para operar en servicio continuo.

### Selección del Separador Electromagnético

La selección del separador Electromagnético (EM) se realiza mediante el ancho de la banda, es decir,  $B = 650 \text{ mm}$  (26 in) y para velocidades  $\leq 4.5 \text{ m/s}$ . En la tabla 3.16 se determina que el modelo RCYD ( C ) -6.5 con un motor de 2.2 kW ( 3 Hp) es el separador indicado, tiene un peso de 2400 Kg, marca WAGNER. También en la tabla 3.17 se tiene las dimensiones del separador seleccionado.

Mientras que en la figura 3.13 presentada a continuación muestra las dimensiones del separador magnético.



**Figura 3.13 Dimensiones del Separador Magnético RCYD( C ) -6.5**

El separador electromagnético (EM) sensa los materiales metálicos “ferrosos” que pasan por BT-3 y los extrae.

Modelo	Ancho de Banda (mm)	Altura Suspendida (mm)	Potencia (kW)	Medidas en mm			
				Peso (kg)	A	D	C
RECYD( C )-5	500	150	1.5	750	1900	735	935
RECYD( C )-6.5	650	200	2.2	1200	2165	780	1080
RECYD( C )-8	800	250	2.2	1400	2350	796	1280
RECYD( C )-10	1000	300	3	2120	2660	920	1550
RECYD( C )-12	1200	350	4	3350	2860	1010	1720
RECYD( C )-14	1400	400	4	4450	3235	1050	1980
RECYD( C )-16	1600	450	5.5	6200	3350	1180	2160

**Tabla 3.16 Selección del Extractor Magnético<sup>[81]</sup>**

### 3.1. Sistema de detección de metales

#### Detector de Metales

Detectan cuerpos metálicos de cualquier tipo y tamaño. Su uso es importante para la protección de los equipos contra la presencia de objetos metálicos extraños que puedan estar mezclados con el material transportados. 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 para la correa y da una señal al operador. En la figura 3.14 muestra un detector de metales.



**Figura 3.14 Detector de Metales**

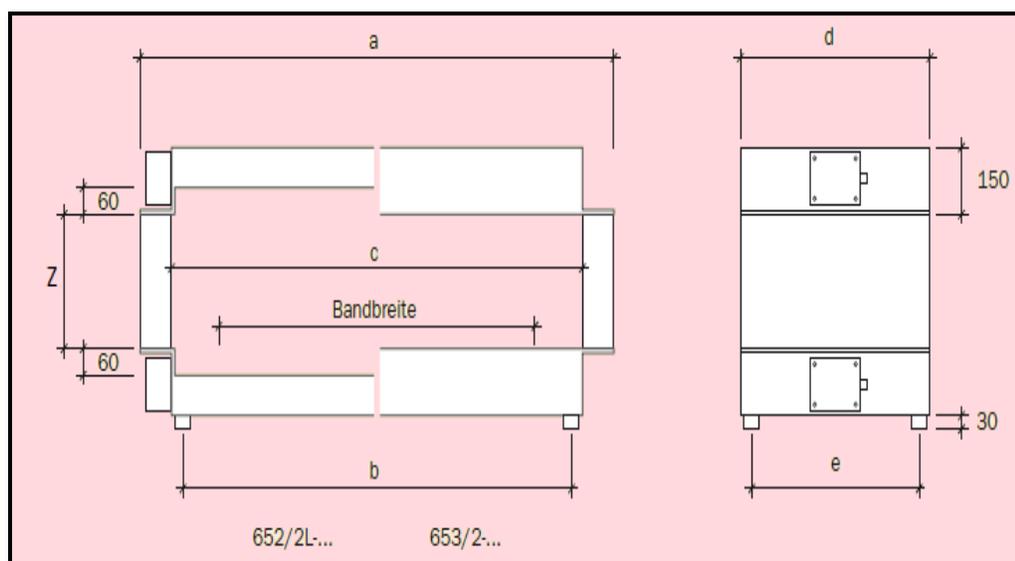
Un detector de metales protege las instalaciones de gran tamaño a un costo que representa una pequeña fracción que puede ser causado por la inclusión de piezas metálicas, evitando grandes perjuicios por la paralización prolongada de la fábrica, por reparación de la máquina averiada.

En la tabla 3.17 se selecciona el detector de metales ingresando con el ancho de banda igual o mayor a  $B = 750$  mm para BT-1, y se muestra que el modelo 653/2-80-60 es el indicado.

Tipo	Ancho de Banda (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	Peso (Kg)
653/2-50-60	500	1000	750	800	150	600	520	200
653/2-65-60	650	1150	900	950	150	600	520	220
653/2-80-60	800	1300	1050	1100	150	600	520	240
653/2-100-60	1000	1500	1250	1300	150	600	520	270
653/2-120-60	1200	1700	1450	1500	150	600	520	295
653/2-140-60	1400	1900	1650	1700	150	600	520	325
653/2-160-60	1600	2100	1850	1900	150	600	520	350

**Tabla 3.17 Selección del detector de Metales<sup>[82]</sup>**

En la figura 3.15 y la tabla 3.18 se presentan las dimensiones del detector de metales 653/2-80-60.



**Figura 3.15 Dimensiones del Detector de Metales<sup>[82]</sup>**

Entre los fabricantes de detectores de metales se tienen WAGNER-MAGNETE, ERIEZ entre otros.

### 3.2. Sistema de recolección del material de rechazo

Se requiere un conducto que va desde la salida de materiales mayores a 80 mm de la criba CV-1 hacia el vagón recolector de desechos. En el primer piso de la criba se tiene una descarga de 20 t/h (15.4 m<sup>3</sup>/h) a una velocidad de traslado de 0.6 m/s. Con la ecuación de continuidad se determina el diámetro aproximado del ducto de descarga.

$$Q_{descarga} = V_{CV}A \text{ ec. 3.20}$$

$$D_{des} = \sqrt{\frac{4 * 15.4}{\pi * 2160}} = 0.095 \text{ m} = 95 \text{ mm}$$

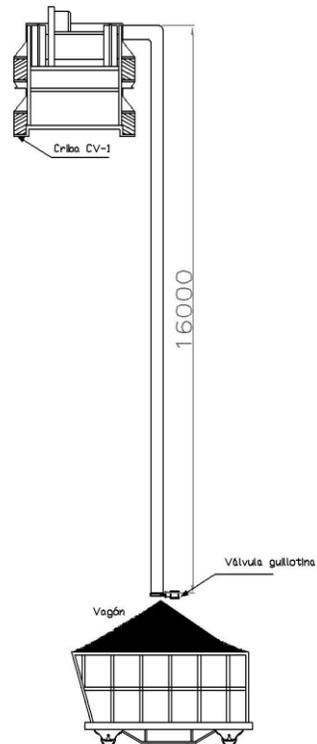
Se Selecciona un diámetro mayor de 400mm (ajustado a boquilla de salida de la bandeja del primer piso de la criba CV-1) para que el material fluya con mayor facilidad.

En la figura 3.16 se muestra el recorrido del ducto de descarga hacia el vagón a una altura de 16 m. En la parte final del ducto se colocará una válvula guillotina para el control del paso de los materiales de descarga, para el cálculo del espesor se utilizará el software INVENTOR 2011<sup>[70]</sup>, usando la ecuación 3.21 donde la presión máxima es:

$$P_{guillotina} = \rho gh \text{ ec. 3.21}$$

$$P = 1300 * 9.81 * 16 = 204.1 \text{ KPa.}$$

El ducto tendrá un espesor de 4 mm, soporta un esfuerzo de compresión de 8 MPa, tiene un peso total de 712 Kg.



**Figura 3.16 Sistema de Descarga**

### **Selección de la Válvula Guillotina**

Las válvulas de guillotina están concebidas para la interrupción y/o de paso de flujo de material. Consta de una guillotina que se desliza en un cuerpo estrecho. La terminación cortante de la guillotina facilita su penetración en

el producto y gracias a su diseño la guillotina es empujada contra el asiento en el cierre, favoreciendo su estanqueidad. En la figura 3.17 se muestra un esquema de una válvula guillotina accionada neumáticamente.



**Figura 3.17 Válvula guillotina de cilindro neumático**

A continuación se calcula la presión ejercida sobre la válvula asumiendo que todo el ducto esté totalmente lleno, con la ecuación 3.22:

$$P = \frac{\rho * h}{10000} \text{ ec. 3.22}$$

$$P = \frac{1300 * 16}{10000} = 2.1 \text{ kg/cm}^2$$

En la tabla 3.18 se muestra los tipos de válvulas y la presión de trabajo de las mismas, por lo que se verifica que para una Válvula DN400 tiene una presión de trabajo de  $6 \text{ kg/cm}^2$  por lo que soporta la presión de  $2.1 \text{ kg/cm}^2$  calculada anteriormente.

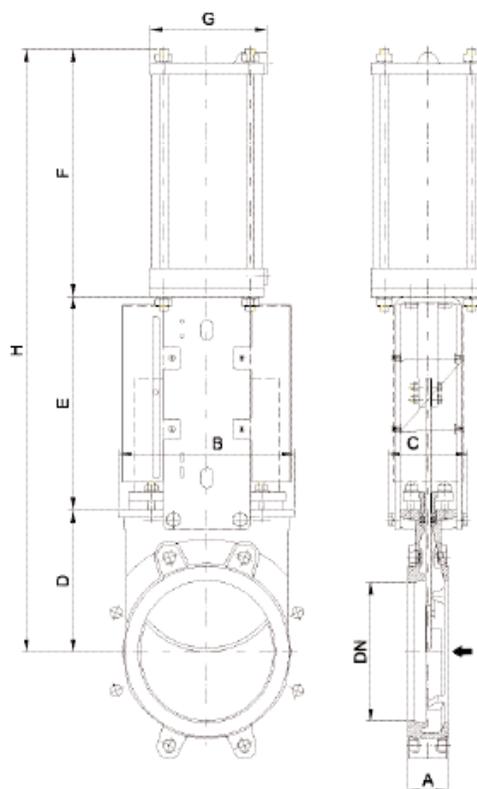
Tipos	Presión de Trabajo (Kg/cm <sup>2</sup> )
DN 50 - DN 250	10
DN 300 - DN 400	6
DN 450	5
DN 500 - DN 600	4
DN 700 - DN 1200	2

**Tabla 3.18 Presión de Trabajo de las Válvulas**

Mientras que en la tabla 3.19 se muestran las dimensiones de la válvula guillotina (ver figura 3.18).

DN	A	B	C	D	E	F	G	H	Weight (kg.)	Standard Cyl	Connect.
50	40	119	100	105	129	178	115	412	9	C100/62	1/4" G
65	40	134	100	115	146	193	115	454	10	C100/77	1/4" G
80	50	149	100	124	162	211	115	497	11	C100/95	1/4" G
100	50	169	100	140	187	231	115	558	14	C100/115	1/4" G
125	50	180	100	150	211	271	140	632	20	C125/143	1/4" G
150	60	210	100	175	237	296	140	708	25	C125/168	1/4" G
200	60	262	119	205	309	358	175	872	44	C160/220	1/4" G
250	70	318	122	250	364	428	220	1042	67	C200/270	3/8" G
300	70	372	122	300	414	478	220	1192	82	C200/320	3/8" G
350	96	431	197	338	500	549	277	1387	135	C250/375	3/8" G
400	100	486	197	392	550	599	277	1541	165	C250/425	3/8" G
450	106	540	270	432	598	680	382	1710	220	C300/475	1/2" G

**Tabla 3.19 Dimensiones de la válvula guillotina**



**Figura 3.18 Dimensiones de la Válvula guillotina DN400**

Entre las características técnicas importantes de la válvula se las presentan en la tabla 3.20.

<b>Cubierta (Chaqueta)</b>	Aluminio
<b>Pistón</b>	AISI 304
<b>Presión del Actuador</b>	6 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Cilindro</b>	C250/425
<b>Conexión</b>	1/4"G

**Tabla 3.20 Características de la Válvula Guillotina**

# CAPITULO 4

## 4. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

### 4.1. Descripción

El sistema de automatización está gobernado por el sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), es un sistema computacional que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio del software PCS7- CEMAT (Para industrias Cementeras).

### **Circuito de Control**

En el plano SIPRE-SC01-ARQ-20 se muestra la arquitectura de control del sistema, El PLC (Controlador lógico Programable) se conectará a las entradas y salidas del proceso mediante una red PROFIBUS (Estándar de bus de campo abierto, interconexión de dispositivos digitales de campo o sistemas de bajas o medias prestaciones, sensores, actuadores, transmisores, PLCs, etc) por medio de periferia descentralizada ET200, se utiliza cuando la distancia entre las entradas, las salidas y el autómeta

programable es considerable, el cableado puede ser complicado y largo, y las perturbaciones electromagnéticas pueden afectar a la fiabilidad.

### **Puesta en marcha**

La puesta en marcha comienza con el encendido de forma secuencial de los motores eléctricos desde las bandas dosificadoras (BD1, BD2, BD3, BD4), el ventilador VE2, de ahí sigue la banda BT-1, elevador de cangilones EC-1, el alimentador vibratorio RV, la criba CV-1, la banda BT-2, el alimentador vibratorio RV, el triturador TR, la banda BT-2, la válvula rotatoria VB, la banda BT-4, el ventilador VE1 y la válvula rotatoria VR (Ver el flujo SIPRE-ME00-DFS-01).

## **4.2. Selección de Dispositivos**

### **Sistemas de Pesajes**

Las balanzas electrónicas son marca MERRICK, estarán ubicadas en la parte inferior de cada Banda y tendrán el mismo ancho que estas. Los parámetros que se le indican al proveedor son:

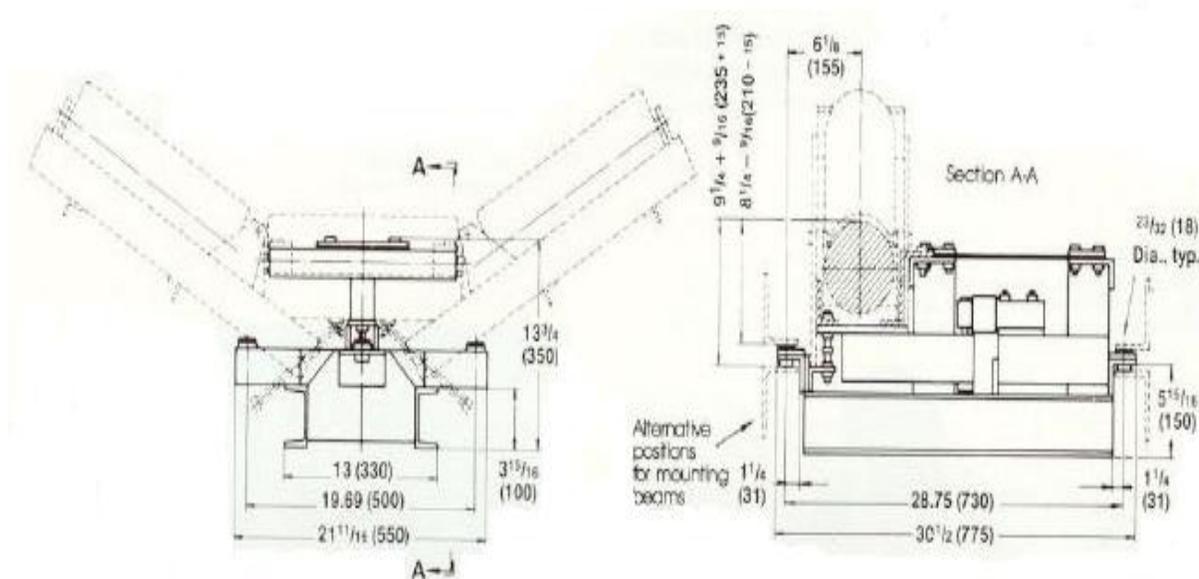
Ancho de la Banda Transportadora: 750mm para BT1, 650 para las demás bandas.

Capacidad de la Banda: 170 t/h (BT-1), 150 t/h (demás bandas).

Diámetro y Angulo de inclinación de los rodillos superiores: 6 in, ángulo de terna 35°.

Material a pesar: Cemento Clíner ( $1300 \text{ kg/m}^3$ ).

En la figura 4.1 se muestran las dimensiones del dispositivo recomendado por el fabricante es el tipo 475 K2, con un peso de 23 Kg cada una.



**Figura 4.1 Balanza para Bandas**

### Medidor de Impacto

El medidor de flujo de Sólidos, basada en el sistema de placas de impacto, para medir materiales de flujo libre granulados o en polvo. El material fluye hacia abajo dentro de un tubo y golpea sobre una placa de impacto que se

encuentra soportada por medio de dos celdas de carga electrónicas. Las celdas de carga están montadas de tal manera que registran únicamente el componente horizontal de la fuerza de impacto. Controlará el flujo que se le suministra al molino de Bolas por lo que se la colocará en la parte final de la banda BT-4.

El fabricante será SCHENCK, por lo que los datos requeridos son:

Caudal: 150 t/h

Precisión: +/-2%

Material: Mezcla de clínker, yeso, puzolana, caliza (cemento IP puzolánico)

Densidad: 1.3 t/m<sup>3</sup>

Tamaño de Grano: 4 mm máximo.

El fabricante recomienda que el modelo G-400 es el ideal para este proceso tiene un peso de 155 Kg, en la figura 4.2 se muestra un esquema del caudalímetro.

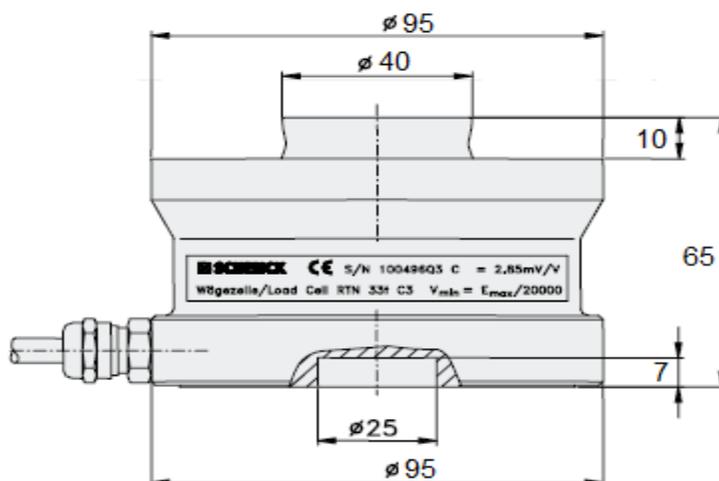


accesorios, etc., que se apoyen a la tolva, porque modificarían el peso real de la tolva. El fabricante de las celdas es SCHENCK se tendrán 4 celdas ubicadas debajo de la tolva pulmón SL2. En la tabla 4.1 se selecciona la celda, si el peso total de la tolva es de 115 Ton, se divide este valor para las cuatro celdas, se obtiene 28.75 Ton, por lo que este es el peso que soportará cada celda, en la tabla 4.1 se selecciona el de 33Ton.

Capacidad (Ton)	Límite de Carga de Seguridad (Ton)	Carga de Ruptura (Ton)	Desplazamiento Nominal (mm)	Peso de la Celda (kg)
1	1.7	4	0.13	0.6
2.2	4	9	0.12	0.6
4.7	8	19	0.12	0.7
10	17	40	0.17	1.2
15	28	60	0.18	1.3
22	38	90	0.21	1.3
33	58	130	0.25	2.1
47	80	190	0.33	4.3
68	120	270	0.35	4.8
100	170	400	0.45	7
150	250	600	0.57	8.6
220	380	900	0.67	22
330	580	1200	0.85	29
470	700	1500	1.00	50

**Tabla 4.1 Selección de Celdas de Pesaje** <sup>[83]</sup>

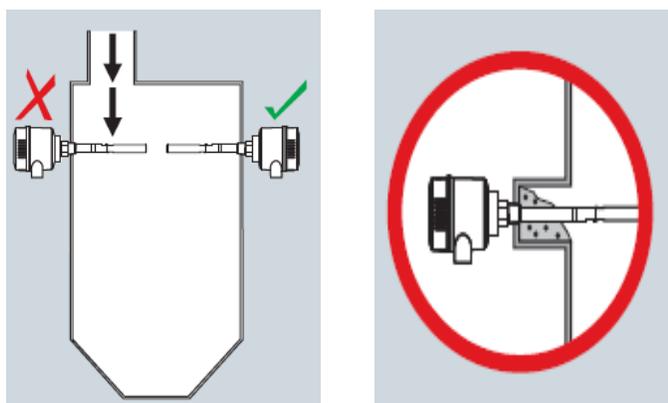
En la figura 4.3 se muestra las dimensiones de la celda seleccionada:



**Figura 4.3 Celda de Pesaje de 33 Ton**

### Sensores de Nivel

La Tolva pulmón poseerá detectores de altura para mantener el nivel de material entre dos puntos donde estos están ubicados. En la figura 4.4 se muestra la posición de donde se ubican los sensores en cada tolva tanto en la parte superior como inferior.



**Figura 4.4 Ubicación de los detectores de Altura**

A continuación en la tabla 4.2 se indica la ubicación de los detectores según la tolva.

Tolva	Nivel alto del material (mm)*	Nivel bajo del material (mm)+
Clínker	500	5500
Yeso	500	4500
Puzolana	2500	7500
Caliza	500	4500
Pulmón	1500	3500

\*Medido desde la parte superior

+Medido desde la parte inferior

**Tabla 4.2 Ubicación de los detectores de Altura**

### **Bandas Dosificadoras**

Deben poseer un detector magnético ubicado en la parte 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.

### **Elevador de Cangilones**

En el Elevador debe existir sensores que detectan deformaciones en los cangilones; también el control del deslizamiento de la cadena que ocurre cuando no hay movimiento en la cadena, el dispositivo activa una señal de emergencia.

## **Bandas Transportadoras**

En sus extremos se tienen cables de emergencia que permite al operador parar la banda transportadora jalando el cable lateral activando una alarma, también contienen sensores de resbalamiento que verifican si no hay contacto entre la banda y el tambor motriz por lo que no hay movimiento.

# CAPITULO 5

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS

### 5.1. Costos de fabricación e importación de equipos

Se tiene equipos fabricados en el país y fuera del país, se analiza por separado el costo de los equipos construidos localmente y equipos importados añadiendo los impuestos de Ley.

#### **Equipos Locales**

El costo por peso de los equipos fabricados localmente son: Tolvas, cubierta, cerchas, piso, pasamanos, ductos, escaleras se encuentran indicados en la tabla 5.1:

#### **Equipos Importados**

Entre los equipos importados tales como: bandas transportadoras, bandas dosificadoras, elevador de cangilones, pre-cribador, criba, alimentador vibratorio, triturador, válvulas rotatorias, sistemas de control. Sus precios de venta están determinados por los “inconterms” (international commercial terms) que son los términos internacionales de comercio, son normas acerca de entrega de mercancías, se usan para dividir los costes de las

transacciones comerciales internacionales, delimitando las responsabilidades entre el comprador y el vendedor.

Equipo	Peso (Kg)	USD/Kg	Precio (USD)
Tolva SL1	49512	2.16	106945.9
Tolva TLE1	107196	2.16	231543.4
Tolva TLE2	51902	2.16	112108.3
Tolva TLE3	45944	2.16	99239.0
Tolva TLR	1875	2.16	4050.0
Tolva SL2	15579	2.16	33650.6
Ductos	5677	2.26	12830.0
Cercha BT-1 y Cubierta	5620	2.16	12139.2
Cercha BT-2 y Cubierta	2302	2.16	4972.3
Cercha BT-3 y Cubierta	1925	2.16	4158.0
Cercha BT-4 y Cubierta	3000	2.16	6480.0
Elevador EC-1	4960	2.16	10713.6
Pasamanos y Pasillos de Seguridad	17564	2.16	37938.2
Estructura del Edificio	143925	2.16	310878.0
			<b>987646.7</b>

**Tabla 5.1 Costo de Fabricación Local**

Entre los “Incoterms” más importantes se tiene:

Exwork (Ex work – en fábrica).- Significa que el vendedor realiza la entrega de la mercancía cuando la pone a disposición del comprador en su establecimiento o en otro lugar convenido.

FOB (Free On Board – Libre a Bordo).- Significa que el vendedor cumple su obligación de entrega cuando la mercancía sobrepasa la borda del buque, en el puerto de embarque convenido.

CIF (Cost, Insurance and Freight – Costo, seguro y flete).- El vendedor contrata el transporte, pero sin asumir el riesgo de pérdida o daño de la mercancía o de costes adicionales por los hechos acaecidos después de la carga y despacho; esto es, una entrega indirecta con pago del transporte principal.

**Tabla 5.2 Costos de Fabricación e Importación de Equipos**

Equipo	Marca	Peso (Kg)	ExWork (USD)	FOB (USD)	CIF (USD)
BD-1	STHIM	31043	530382	551597.28	594027.84
BD-2	STHIM	20980	383604	398948.16	429636.48
BD-3	STHIM	20980	381604	396868.16	427396.48
BD-4	STHIM	20980	382708	398016.32	428632.96
EC-1	REXNORD	12700	174912	181908.48	187155.84
BT-1	STHIM	13737	87976	91495.04	98533.12
BT-2	STHIM	4868	68402	71138.08	76610.24
BT-3	STHIM	4138	51990	54069.6	58228.8
BT-4	STHIM	6328	57352	59646.08	64234.24
RV	MOGENSEN	1350	52680	54787.2	59001.6
CV-1	MOGENSEN	15500	219360	228134.4	245683.2
AV	MOGENSEN	315	68484	71223.36	76702.08
TR	HAZEMAG	9770	549277	571248.08	615190.24
VE-1	DELTA	480	30868	32102.72	34572.16
VE-2	DELTA	120	5844	6077.76	6545.28

Continúa...

Equipo	Marca	Peso (Kg)	ExWork (USD)	FOB (USD)	CIF (USD)
FM-1	GE	2080	32678	33985.12	36599.36
VB	SCHENK	14100	553920	576076.8	620390.4
VR-1	Donaldson	175	400	416	448
CP-1	U.S. Air Fil.	1421	22000	22880	24640
EM	KINDER	2400	21500	22360	24080
Detector de Metales	WAGNER	300	9500	9880	10640
Celdas de Carga	SCHENK	8.4	9860	10254.4	11043.2
Balanzas de Pesaje	SCHENK	92	21567	22429.68	24155.04
Caudalímetro	SCHENK	155	9202	9570.08	10306.24
Válvula guillotina	ORBINOX	165	8500	8840	9520
					<b>4989776.32</b>

También se debe considerar los “aranceles varios” que es del 10% del CIF, el impuesto por salida de divisas que es del 5%, el impuesto del valor agregado (I.V.A.) del 12%, el flete de 220 USD/ton, gastos locales del 1.12 (30 USD/ton + 80 USD) en la tabla 5.3 se muestran los costos finales.

## 5.2. Costos de montaje y puesta en marcha

En la tabla 5.4 se muestran las horas-hombres por toneladas de carga (HH/Ton) para el montaje de equipos, también los costos por montaje y puesta en marcha de los diferentes equipos. El precio de la Hora-Hombre es de 7 USD. En la tabla 5.4 se muestran el costo total del montaje y puesta en marcha.

Equipo	CIF (USD)	Arancel (USD)	Divisas (USD)	I.V.A (USD)	Flete (USD)	Gastos Locales (USD)	COSTO (USD)
BD-1	594027.84	59402.78	29701.39	71283.34	6829.46	1132.64	762377.46
BD-2	429636.48	42963.65	21481.82	51556.38	4615.60	794.53	551048.46
BD-3	427396.48	42739.65	21369.82	51287.58	4615.60	794.53	548203.66
BD-4	428632.96	42863.30	21431.65	51435.96	4615.60	794.53	549773.99
EC-1	187155.84	18715.58	9357.79	22458.70	2794.00	516.32	240998.24
BT-1	98533.12	9853.31	4926.66	11823.97	3022.14	551.16	128710.37
BT-2	76610.24	7661.02	3830.51	9193.23	1070.96	253.16	98619.13
BT-3	58228.8	5822.88	2911.44	6987.46	910.36	228.64	75089.57
BT-4	64234.24	6423.42	3211.71	7708.11	1392.16	302.22	83271.87
RV	59001.6	5900.16	2950.08	7080.19	297.00	134.96	75363.99
CV-1	245683.2	24568.32	12284.16	29481.98	3410.00	610.40	316038.06
AV	76702.08	7670.21	3835.10	9204.25	69.30	100.18	97581.13
TR	615190.24	61519.02	30759.51	73822.83	2149.40	417.87	783858.88
VE-1	34572.16	3457.22	1728.61	4148.66	105.60	105.73	44117.97
VE-2	6545.28	654.53	327.26	785.43	26.40	93.63	8432.54
FM-1	36599.36	3659.94	1829.97	4391.92	457.60	159.49	47098.28
VB	620390.4	62039.04	31019.52	74446.85	3102.00	563.36	791561.17
VR-1	448	44.80	22.40	53.76	38.50	95.48	702.94
CP-1	24640	2464.00	1232.00	2956.80	312.62	137.35	31742.77
EM	24080	2408.00	1204.00	2889.60	528.00	170.24	31279.84
Detector de Metales	10640	1064.00	532.00	1276.80	66.00	99.68	13678.48
Celdas de Carga	11043.2	1104.32	552.16	1325.18	1.85	89.88	14116.59
Balanzas de Pesaje	24155.04	2415.50	1207.75	2898.60	20.24	92.69	30789.83
Caudalímetro	10306.24	1030.62	515.31	1236.75	34.10	94.81	13217.83
Válvula guillotina	9520	952.00	476.00	1142.40	36.30	95.14	12221.84
<b>Tabla 5.3 Costos de Equipos Importados</b>							<b>5349894.9</b>

**Tabla 5.4 Costos de montaje y puesta en marcha**

<b>Equipo</b>	<b>Peso (Ton)</b>	<b>Hombres</b>	<b>Días</b>	<b>Horas</b>	<b>H-H (Horas- Hombres)</b>	<b>HH/Ton</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Tolva SL1	49.51	20	15	120	2400	48.47	16800
Tolva TLE1	107.19	12	10	80	960	8.95	6720
Tolva TLE2	51.90	8	5	40	320	6.16	2240
Tolva TLE3	45.94	8	5	40	320	6.97	2240
Tolva TLR	1.88	4	3	24	96	51.2	672
Tolva SL2	15.58	15	10	80	1200	77.03	8400
Ductos	5.68	4	3	24	96	16.91	672
Cercha BT-1 y Cubierta	5.62	6	15	120	720	128.11	5040
Cercha BT-2 y Cubierta	2.30	4	10	80	320	139.01	2240
Cercha BT-3 y Cubierta	1.93	4	10	80	320	166.23	2240
Cercha BT-4 y Cubierta	3	4	10	80	320	106.67	2240
Elevador EC-1	4.96	4	5	40	160	32.26	1120
Pasamanos y Pasillos de Seguridad	17.56	8	10	80	640	36.49	4480
Estructura del Edificio	143.93	24	25	200	4800	33.35	33600

Continúa...

Equipo	Peso (Ton)	Hombres	Días	Horas	H-H (horas- Hombres)	HH/Ton	Costo (USD)
BD-1	31.04	18	10	80	1440	46.39	10080
BD-2	20.98	15	5	40	600	28.60	4200
BD-3	20.98	15	5	40	600	28.60	4200
BD-4	20.98	15	5	40	600	28.60	4200
EC-1	12.7	10	15	120	1200	94.49	8400
BT-1	13.74	12	20	160	1920	139.77	13440
BT-2	4.87	8	5	40	320	65.74	2240
BT-3	4.14	8	3	24	192	46.40	1344
BT-4	6.33	8	8	64	512	80.91	3584
RV	1.35	3	3	24	72	53.33	504
CV-1	15.5	12	14	112	1344	86.71	9408
AV	0.32	2	5	40	80	253.97	560
TR	9.77	10	10	80	800	81.88	5600
VE-1	0.48	4	2	16	64	133.33	448
VE-2	0.12	2	1	8	16	133.33	112
FM-1	2.08	5	10	80	400	192.31	2800
VB	14.1	6	3	24	144	10.21	1008
VR-1	0.18	2	2	16	32	182.86	224
CP-1	1.42	4	8	64	256	180.15	1792
EM	2.4	2	2	16	32	13.33	224
Detector de Metales	0.3	2	2	16	32	106.67	224
Celdas de Carga	0.0084	3	3	24	72	8571.43	504
Balanzas de Pesaje	0.092	4	2	16	64	695.65	448
Caudalímetro	0.16	2	2	16	32	206.45	224
Válvula guillotina	0.17	2	1	8	16	96.97	112
							<b>164584</b>

Se tiene que el Suministro, Fabricación y Montaje del sistema de Pre-molienda de clínker y aditivos tiene un costo total de 6'502.125,6 USD.

*Costo Total = Costo de Fabricación + Costo de Montaje ec. 5.1*

*Costo Total = 6337541.6 + 164584 = 6'502.125,6 USD*

### 5.3. Costo de operación

El costo de operación anual del sistema de pre-molienda se debe tomar en cuenta los siguientes parámetro tales como: el consumo anual de energía que es de \$0.14/kw-hr multiplicado por la potencia y por las horas de trabajo de cada equipo y los sueldos de los trabajadores.

En la tabla 5.5 se presenta el consumo de energía eléctrica de cada equipo.

**Tabla 5.5 Consumo de los Equipos**

Equipo	Potencia (kW)	Consumo (Kw-hr)	Costo Diario (USD)	Costo anual (USD)
BD-1	3.73	89.52	12.5	4135.82
BD-2	3.73	89.52	12.5	4135.82
BD-3	2.99	71.76	10.0	3315.31
BD-4	2.99	71.76	10.0	3315.31
EC-1	55.97	1343.28	188.1	62059.54
BT-1	14.93	358.32	50.2	16554.38
BT-2	7.46	179.04	25.1	8271.65
BT-3	2.24	53.76	7.5	2483.71
BT-4	3.73	89.52	12.5	4135.82

Continúa...

Equipo	Potencia (kW)	Consumo (Kw-hr)	Costo Diario (USD)	Costo anual (USD)
RV	55	1320.00	184.80	60984.00
CV-1	55	1320.00	184.80	60984.00
AV	2.6	62.40	8.74	2882.88
TR	250	6000.00	840.00	277200.00
VE-1	74.63	1791.12	250.76	82749.74
VE-2	14.9	357.60	50.06	16521.12
VB	30	720.00	100.80	33264.00
VR-1	0.25	6.00	0.84	277.20
EM	2.2	52.80	7.39	2439.36
Detector de Metales	2	48.00	6.72	2217.60
			<b>1963.416</b>	<b>647927.28</b>

También se tiene el personal trabajando en la planta para el control y desempeño normal de la planta. En la tabla 5.6 se muestra la participación anual, la cantidad de trabajadores, con 3 jornadas laborables trabajando las 24 horas del día.

Por lo tanto se tiene un costo de operación anual total de:

$$\text{Costo Total} = \text{Consumo de Equipos} + \text{Sueldos} \text{ ec. 5.2}$$

$$\text{Costo Total} = 647927.28 + 252000 = 899.927,28 \text{ USD}$$

**Tabla 5.6 Sueldo del Personal**

Personal	Participación anual en a 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	700	2100	25200
Ing. Electrónico	2400	1	700	2100	25200
Supervisor Mecánico	5000	3	500	4500	54000
Supervisor Eléctrico	5000	3	500	4500	54000
Ayudantes	5000	6	300	5400	64800
				<b>21000</b>	<b>252000</b>

### Evaluación de la inversión

En todo proyecto es importante evaluar la rentabilidad y confiabilidad para el futuro. Por lo que se requiere conocer la evaluación del proyecto de Pre-molienda de clinker y aditivos para aceptar o rechazar dicha inversión.

Por lo tanto, para verificar la aceptación del proyecto, se lo determinará por medio de dos métodos:

El primer método es determinando el VAN o Valor Actual Neto que transforma los ingresos y gastos que se dan a lo largo de la vida útil del proyecto al tiempo que se realiza la inversión.

Para la evaluación del proyecto se realiza un estudio de los ingresos y egresos de la empresa.

Se conoce que la empresa tiene una demanda de 450,000 toneladas anuales, por lo que al integrar al proceso de producción el sistema de Pre-molienda de clinker y aditivos aumentará un 15% su producción, por lo que se tiene 517,500 toneladas anuales y así cubrirá una mayor demanda. Además se conoce que 50 kg de cemento tiene un costo de 6,89 USD, por lo tanto la empresa tendrá ingresos de alrededor de 72'450,000 USD <sup>[84]</sup>.

Entre los costos del proceso de Pre-molienda, se tiene la energía que se consume durante la operación del sistema, por lo que tiene un costo de 647,927.28 USD. También se tiene que el costo para el mantenimiento de todos los equipos del sistema que es de 183,413.02 USD, que comprenden el costo de la mano de obra, partes de los equipos e insumos. También se considera los gastos de administrativos, ventas, financieros, materias primas, costos de producción de la demás maquinaria correspondiente a la planta cementera en global que tiene un monto de 41'125,342.66 USD. Los activos fijos de la empresa tienen un costo de 3'437,045.4 USD.

También para la evaluación del proyecto de Pre-molienda, se debe considerar el costo de otros proyectos que son adjudicados el mismo año como son: El secador de puzolana (3'000,000 USD); otros proyectos que comprenden: motor del triturador, adquisición de clinker, yeso y caliza, mantenimiento correctivo del horno rotatorio, adquisición de sacos de papel para sacos en el área de despacho, suministro de quipos y programación de motores, adquisición de equipos de transporte, exploración de yacimientos, adquisición de variadores de frecuencia y compresores, entre otros, tienen un costo total de 39'000,000 USD.

Por lo que en la tabla 5.7 se muestra los ingresos y egresos de la empresa, por lo que para la aceptación del proyecto se debe cumplir que el VAN sea mayor a cero, y el TIR debe ser mayor al TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento).

Para que el proyecto sea aceptado se debe cumplir que el VAN sea mayor a cero, y el TIR debe ser mayor al TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento). Para proyectos de este tipo con inversión privada y préstamos bancarios se considera usualmente una TMAR del 40%.<sup>[85]</sup>

En la tabla 5.7 se tiene un VAN 92.009.534,68 USD , mayor a cero. Por lo tanto el proyecto es aceptable con el análisis del VAN donde se demuestra el beneficio económico de la implementación del proyecto.

Se tiene un TIR del 51%, donde es mayor a 40%, que demuestra que el proyecto es capaz de cubrir con el costo del capital.

La inversión se la recupera en 2 años aproximadamente, en el análisis se considera además de la inversión el cambio en las tasas de interés, por lo que el TIR se vuelve la herramienta más confiable para evaluar un proyecto.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
	460000000 kg/año						
<b>INGRESOS</b>		\$ 72.450.000,00	\$ 72.450.000,00	\$ 72.450.000,00	\$ 72.450.000,00	\$ 72.450.000,00	\$ 72.450.000,00
Consumo de equipos de Pre-molienda		\$ 647.927,28	\$ 647.927,28	\$ 647.927,28	\$ 647.927,28	\$ 647.927,28	\$ 647.927,28
Gastos administrativos de Pre-molienda		\$ 252.000,00	\$ 252.000,00	\$ 252.000,00	\$ 252.000,00	\$ 252.000,00	\$ 252.000,00
Mtto. Del sistema		\$ 183.413,02	\$ 183.413,02	\$ 183.413,02	\$ 183.413,02	\$ 183.413,02	\$ 183.413,02
Gastos administrativos, ventas, financieros, costos de producción, materias primas.		\$ 41.125.342,66	\$ 41.125.342,66	\$ 41.125.342,66	\$ 41.125.342,66	\$ 41.125.342,66	\$ 41.125.342,66
Costos fijos		\$ 3.437.045,40	\$ 3.437.045,40	\$ 3.437.045,40	\$ 3.437.045,40	\$ 3.437.045,40	\$ 3.437.045,40
<b>EGRESOS</b>		\$ 45.645.728,36	\$ 45.645.728,36	\$ 45.645.728,36	\$ 45.645.728,36	\$ 45.645.728,36	\$ 45.645.728,36
Proyecto secador de Puzolana	-\$ 3.000.000,00						
Proyecto de Pre-molienda	-\$ 6.502.125,60						
Otros Proyectos	-\$ 39.000.000,00						
<b>INVERSIÓN</b>	-\$ 48.502.125,60						
<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	-\$ 48.502.125,60	\$ 26.804.271,64	\$ 26.804.271,64	\$ 26.804.271,64	\$ 26.804.271,64	\$ 26.804.271,64	\$ 26.804.271,64

VAN	\$ 92.009.534,68
TIR	51%

**Tabla 5.7 Flujo de caja**

# CAPITULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para obtener un cemento Puzolánico IP de calidad según la norma INEN 490, se debe controlar la proporción de sus diferentes componentes como el clínker, puzolana, yeso y caliza; tanto su composición química como sus cualidades físicas. La granulometría que es una de las cualidades físicas, es influenciada por el proceso mecánico de Pre-molienda, controlando así la forma y tamaño de grano que ingresa a la molienda, incrementando la producción.
2. El consumo del cemento a partir del 2000 se ha incrementado 7.9% cada año, por lo que en el 2012 alcanzaría un consumo de 6'200.000 toneladas métricas. Por lo tanto, la creación de nuevas líneas de producción y mejoramiento de la tecnología para cubrir esta demanda es de mucha importancia, lográndose con la incorporación de un sistema de Pre-molienda con la misma capacidad instalada, aumentar la producción un 15%.

3. Las propiedades de los materiales a procesar constituyen un factor de influencia en el diseño y selección de los diferentes equipos; ya que el proceso de Pre-molienda manejará 64% de clínker y 25% de puzolana, siendo una mezcla de materiales altamente abrasivos, por lo que los equipos instalados deben tener protección antidesgaste. Los silos y tolvas, en la parte cónica o en la cuña de las tolvas se deben construir con chapas antidesgastes como Hardox 450 o dillidur 400 V; las bandas tienen protección a la abrasión; el elevador de cangilones debe ser de cadena para soportar la carga y abrasión del material a elevar; el triturador está construido con recubrimientos en las paredes resistentes a la abrasión.
  
4. Las cribas y alimentadores vibratorios estarán montados en el edificio por lo que se los debe montar sobre bancadas antivibración y así disminuir al mínimo la transmisión de vibración a la estructura del edificio.

5. La emisión de material particulado menor a 10 micrones, en un año no deberá exceder  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la concentración máxima en 24 horas no deberá exceder  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , apegándose a las normas de control ambiental como la EPA (apartado 42) e ISO 14001, para el control del polvo procesado durante la operación de los diferentes equipos; por lo que se ha incorporado al sistema de Pre-molienda, filtros de mangas disminuyendo así las concentraciones de material particulado y garantizando la reducción del impacto medio-ambiental.
  
6. En el diseño de las tolvas se utilizó el programa INVENTOR Professional 2011 por medio del análisis de elementos finitos se logró de una manera segura y rápida la determinación de los esfuerzos y deformaciones que se generan en la tolva; se utilizó la norma Alemana DIN 1055 para la determinación de las presiones en las tolvas.
  
7. Para el diseño y selección de las bandas transportadoras se utilizó las normas CEMA y la norma alemana DIN 2210, ya que la información técnica de ambas se complementan para el desarrollo, diseño y selección de las partes que constituye una banda transportadora.

8. El Costo de Fabricación local es de 987.700 USD, el costo de importación de equipos es de 5'400.000 USD, el costo de montaje de los equipos es de 165.000 USD, el costo de operación anual del sistema de pre-molienda es de 900.000 USD. Realizando la evaluación del proyecto se obtiene el VAN de 92.009.534,68 USD, aceptando el proyecto por ser mayor que cero. Con un TIR de 51%, mayor a la TMAR de 40%, por lo que el proyecto es aceptado, recuperando la inversión en 2 años.
  
9. En este tipo de proyectos industriales se muestra la importancia del trabajo multidisciplinario de diferentes ingenierías como: ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y civil; por lo que para cada disciplina se ha desarrollado la información técnica que servirá para el posterior desarrollo de equipos, estructuras y dispositivos que intervengan en el proyecto.



## Requisitos de Puzolana

PUZOLANA Y ESCORIA, SEGÚN SEA APLICABLE	NORMA APLICABLE	
Finura: Cantidad retenida en el tamiz de 45 $\mu\text{m}$ (No. 325) mediante el tamizado húmedo, % máximo	INEN 957	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana: Para uso en cementos de Tipo IP(<15), IT(P<15) y IP(<15) – (A), IT(P<15) – (A); seis ensayos, expansión de la barra de mortero a 91 días, % máximo.	INEN 867	0,05
Índice de actividad con cemento portland, a 28 días, % mínimo	( Ver anexo A1)	75

## Tamaño del Tamiz

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA %
PASA	RETIENE EN	
4,75 - mm (No. 4)	2,36 - mm (No. 8)	10
2,36 - mm (No. 8)	1,18 - mm (No. 16)	25
1,18 - mm (No. 16)	600 - $\mu\text{m}$ (No. 30)	25
600 - $\mu\text{m}$ (No. 30)	300 - $\mu\text{m}$ (No. 50)	25
300 - $\mu\text{m}$ (No. 50)	150 - $\mu\text{m}$ (No. 100)	15

# APENDICE B

## Características del material y peso por pie cúbico

Material	Peso promedio (lbs por pie <sup>3</sup> )	Angulo de reposo (grados)	Inclinación máxima recomendada	Código
Abrono	30-50			F45ST
Acete aglutinado	48-50	45		D11W
Acero, recortes de	75-150	35	18	F11V
Acero, virutas de, chancado	100-150	30-44		D11WZ
Acido oxalico, cristales	60	30-44		B35U
Afrecho	10-20	30-44		B35NY
Algodón, semillas de, seca	27-41	20-29		B25N
Alarón aglutinado	50	30-44		D15
Alarón, harina de	50	30-44		B35
Alarón, semillas de	45	20-29		B25N
Albexalde	75-100	30-44		A36MR
Alfalfa granulos	41-43	20-29		C25
Alfalfa, harina	17	45		B46Y
Alfalfa, semilla	10-15	29		B26N
Almendras, partidas o enteras	28-30	30-44		C36Q
Almidón	25-50	24	12	*B25
Alumina	50-65	22	10-12	B27M
Aluminio, hidróxido de	18	34	20-24	C35
Aluminio, mineral de (ver bauxita)	-			-
Aluminio, óxido de	70-120	29		A27M
Aluminio, silicato de	49	30-44		B35S
Aluminio, sulfato de	54	32	17	D35
Aluminio, sulfato de, fino	45-50	30-44		B35
Aluminio, Sulfato de, trozos	50-60	30-44		D35
Aluminio, virutas de	7-15	45		E46Y
Amonio, clorito de, cristales	45-52	30-44		B36S
Amonio, nitrato de	45	30-44		*C36NUS
Amonio, sulfato de	45-58	44		*C35TU
Antimonio, polvo de	60	30-44		A36
Apita	70-80	30-44		A35
Arcilla (ver también bentonita, tierra diatomácea, arcilla de batán, caolin, y arcilla calcárea)	-			-
Arcilla esquistosa, chancada	85-90	39	22	C36
Arcilla esquistosa, molida	90-100	20-29		D26QZ
Arcilla grasa acetosa	60-65	20-29		B26
Arcilla grasa, filtrada en aceite, cruda	35-40	35	20	*B26
Arcilla grasa, filtrada en aceite, quemada	40	20-29		B26
Arcilla grasa, seca	30-35	23		B26
Arcilla, calcinada	80-100			B37
Arcilla, caolin, hasta 3 pulgadas	63	35	19	D36
Arcilla cerámica, seca, fina	60-80	30-44		A35
Arcilla seca, fina	100-120	35	20-22	C37
Arcilla, seca, trozos	60-75	35	18-20	D36
Arena	26-35	21	10	C25M
Arena de cantera húmeda	105-130	45	20-22	B47
Arena de cantera seca	90-110	35	16-18	B37
Arena, mineral de	65	41	26	B35X
Arena, molida	19-24	30-44		C35NY
Arena, preparada para fundición, desechada	90-100	39	22	D37
Arena, preparada para fundición, seca	80-90	30-44	24	B37
Arena, sílica, seca	90-100	20-29	10-15	B27
Arenisca, triturada	85-90	30-44		D37
Arroz, a medio moler	45-45	30-44		B35

* Carbón de leña	18-25	35	20-25	D36Q
Carbón de piedra, antracita, clasificado	55-60	27	16	C26
Carbón de piedra, bituminoso, extraído de mina y clasificado	45-55	35	16	D35T
Carbón de piedra, bituminoso, extraído de mina, hasta malla 50	50-54	45	24	B45T
Carbón de piedra, bituminoso, extraído de mina, tal como sale de la mina	45-55	38	18	D35T
Carbón de piedra, bituminoso, separado, no lavado	50-60			D36T
Carbón de piedra, lignito	40-45	38	22	D36T
Carbón negro, granulado	20-25	25		B25Q
Carbón negro, pulverizado	4-7	30-44		*A35Y
Carbón, activado, seca, fine	8-20	20-29		B26Y
Carborundo, hasta 3 pulgadas	100	20-29		D27
Carne, desecho	50-55	30-44		E35VW
Caseína	36	30-44		B35
Caucho, granulado	50-55	35	22	D35
Caucho, regenerado	25-30	32	18	D35
Cebada	37-48	23	10-15	B25N
Cemento clinker	75-95	30-40	18-20	D37
Cemento, Portland	72-99	30-44	20-23	A36M
Cemento, Portland, aireado	60-75			A16M
Cemento, roca (vea piedra de cal)	100-110			D36
Ceniza, carbón de piedra, húmedo, hasta 3 pulgadas	45-50	45		D46T
Ceniza, carbón de piedra, seca, hasta 3 pulgadas	35-40	45		D46T
Ceniza, negra, molida	105	32	17	*B35
Ceniza, producto de gas, húmeda	78			D47T
Ceniza, suelta	40-45	42	20-25	A37
Cenizas de carbón de piedra	40	35	20	*D37T
Cenizas de horno de fundición	57	35	18-20	*D37T
Centeno	42-46	23	8	B25N
Centeno, harina de	35-40	19		B15
Clinker, cemento (ver cemento clinker)	-			-
Cobre, mineral de	120-150	30-44	20	*D37
Cobre, sulfato de	75-85	31	17	D36
Cola, molida hasta 1/8 de pulgada	40	30-44		B36
Cola, niebla	40	25	11	C25
Cola, vegetal, pulverizada	40	30-44		
Conchas de ostras, enteras	80	30-44		D36TV
Conchas de ostras, trituradas, hasta 1/2 pulgada	50-60	30-44		C36T
Sinter	100-135	35		*D37
Concreto, escoria de	90-100		12-30	D46
Coque, desmenuzado de, hasta 1/4 de pulgada	25-35	30-44	20-22	C37Y
Coque, petróleo calcinado	35-45	30-44	20	D36Y
Coque, suelto	23-35	30-44	18	B37QVT
Corcho, granulado	12-15			C45
Corteza, madera, viruta	10-20	45	27	E45VY
Costras, laminado de	100-125	45		E46T
Cromo, mineral de (cromito)	125-140	30-44		D37
Cryolita, polvo de	75-90	30-44		A36
Cryolita, trozos de	90-100	30-44		D36
Cuarzo, cernido hasta 1/2 pulgada	80-90	20-29		C27Z
Cuarzo, en trozos de 1 1/2 a 3 pulgadas	85-95	20-29		D27Z
Deshecho de fundición, arena de fundición	70-100	30-44		D37Z

## APÉNDICE C

Selección de Ancho de Banda Mínimo según el tamaño de grano

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: Manual Fenner Dunlop sección 2-6.

GOODYEAR Handbook or Conveyor and Elevator belt, 1975, pag. 5-7

## APENDICE D

Velocidad de Banda máxima (m/s)

Ancho de Banda		Material		
mm	pulg	Ligero (< 0.8 ton/m <sup>3</sup> ) grano fino	Mediano (0.8-1.6 ton/m <sup>3</sup> ) abrasivo	Pesado (>1.6 ton/m <sup>3</sup> ) 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	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	3.15	2.24
1000	40	4	3.15	2.24
1050	42	4	3.15	2.24
1200	48	4	3.15	2.24
1350	54	4	3.15	2.24
1400	56	4	3.15	2.24
1500	60	4	3.15	2.5
1600	64	4	3.55	2.5
1650	66	4	3.55	2.5
1800	72	4.5	3.55	2.5
1950	78	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 belting 5-8

Fenner Dunlop section 2-6

# APÉNDICE E

Factor de Capacidad para ángulo de artesa de 35° para Terna

Ancho de Banda	Velocidad de Banda - m/s											
	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400	26	39	52	65	78	104	130	156	182	209	235	261
450	34	51	69	86	103	137	172	206	240	274	309	343
500	44	65	87	109	131	175	218	262	306	349	393	437
600	66	99	131	164	197	263	329	394	460	526	592	657
650	78	118	157	196	235	314	392	471	549	628	706	785
750	107	161	215	268	322	429	536	644	751	858	965	1073
800	123	185	247	308	370	493	617	740	863	987	1110	1233
900	159	238	318	397	477	635	794	953	1112	1271	1430	1589
1000	199	298	398	497	597	795	994	1193	1392	1591	1790	1989
1050	221	331	441	551	662	882	1103	1323	1544	1764	1985	2206
1200	292	438	585	731	877	1169	1462	1754	2046	2339	2631	2923
1350	374	561	748	936	1123	1497	1871	2245	2619	2994	3368	3742
1400	404	606	807	1009	1211	1615	2019	2422	2826	3230	3634	4037
1500	466	699	932	1165	1398	1865	2331	2797	3263	3729	4195	4662
1600	533	800	1066	1333	1599	2132	2665	3198	3731	4265	4798	5331
1800	680	1361	1361	1701	2041	2721	3402	4082	4762	5443	6123	6803
2000	846	1691	1691	2537	2537	2537	4228	5073	5919	6764	6710	8455
2200	1029	2057	2057	3086	3086	3086	5143	6172	7201	8229	9258	10287

Referencia: Manual Fenner Dunlop section 2-4

GOODYEAR Handbook of conveyor and elevation belts 5-4

## APÉNDICE F

Factor de capacidad – Para Terna según el ángulo de inclinación

Ángulo de Sobrecarga	Ángulo de Artesa				
	20°	25°	30°	35°	45°
0°	0.43	0.53	0.61	0.69	0.81
5°	0.52	0.61	0.69	0.77	0.88
10°	0.61	0.70	0.77	0.84	0.94
15°	0.70	0.78	0.86	0.92	1.04
20°	0.79	0.87	0.94	1.00	1.08
25°	0.88	0.96	1.03	1.08	1.15

Referencia: GOOD YEAR Handbook of conveyor and elevation belts 5-5

FENNER DUNLOP section 2-3

# APÉNDICE G

## Peso de la Faja transportadora

Ancho de Banda	Servicio liviano peso específico < 0.8 ton/m <sup>3</sup>	Servicio mediano peso específico 0.8 a 1.6 ton/m <sup>3</sup>	Servicio pesado peso específico > 1.6 ton/m <sup>3</sup>
Peso de banda transportadora kg/m			
350	1.5	3	4.5
400	3	4.5	6
450	4.5	6	7.5
500	6	7.5	9
600	7.5	9	10.5
650	8.5	9.75	11.4
750	9	10.5	12
900	10.5	13.5	16.5
1050	13.5	16.5	21
1200	18	22.5	27
1350	21	27	33
1500	25.5	31.5	40.5
1650	30	36	48
1800	33	42	54

Referencia: GOODYEAR handbook of conveyor and elevation belt section 6-2

# APÉNDICE H

## Espaciamiento entre rodillos superiores e inferiores

Ancho de Banda(mm)	Peso Específico del Material en Kg/m <sup>3</sup>				Separación rodillos de retorno (mm)
	450	900	1200/1600	2000/2400	
	Separación entre rodillos de ida (mm)				
300	1650	1500	1500	1400	3000
350	1650	1500	1500	1400	3000
400	1650	1500	1500	1400	3000
450	1650	1500	1500	1400	3000
500	1650	1500	1500	1300	3000
550	1650	1500	1450	1250	3000
600	1650	1500	1400	1225	3000
650	1525	1370	1200	1225	3000
700	1525	1370	1200	1225	3000
750	1525	1370	1200	1060	3000
800	1525	1370	1200	1060	3000
900	1525	1370	1200	1060	3000
950	1525	1370	1200	1060	3000
1000	1525	1370	1200	1060	3000
1050	1370	1370	1200	1060	2750
1100	1370	1200	1200	1060	2750
1150	1370	1200	1200	1060	2750
1200	1370	1200	1200	1060	2750
1250	1370	1200	1100	1060	2750
1300	1300	1300	1100	1000	2750
1380	1300	1300	1100	1000	2750

# APÉNDICE I

## Clase de Rodillos

Clase de Servicio	Clase CEMA	Serie Rexnord	Diámetro de rodillos (in)	Tipo de rodamiento	Ancho de Banda (in)
Carga Ligera	B	B	4-5	Bolas	18 - 48
		B+	4-5		
Carga Mediana	C	C	5 - 6	Rodillos	18 - 60
	D	D	5 - 6	Rodillos	18 - 72
Carga Pesada	E	E	6 - 7	Rodillos	36 - 72

Referencia: Catálogo Rex Idlers, Belt Conveyor Components, Whisperol Rollers and Spray Nozzles

# APÉNDICE J

Capacidad de Carga para los rodillos CEMA C, lbs

Ancho de Banda (in)	Ángulo de Abarquillamiento			Retorno
	20°	35°	45°	
18	900	900	900	475
24	900	900	900	325
26	900	900	900	300
30	900	900	900	250
36	900	837	810	200
42	850	791	765	250
48	800	744	720	125
54	750	698	675	375
60	700	650	630	280

Referencia: CEMA handbook Belt Conveyor for Bulk Materials page 68

## APÉNDICE K

Peso Promedio (lbs) de las Partes Rotatorias de Rodillos Abarquillados.

Ancho de Banda ( in)	Clasificación de rodillos CEMA												
	A4	A5	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7		
18	12.70	16.20	15.00	19.20	14.50	19.10	26.70						
24	15.80	21.20	18.30	24.20	17.50	23.20	32.60	23.20	32.60				
26	16.88	22.28	19.38	25.28	18.58	24.28	33.68	24.28	33.68				
30	18.90	25.00	21.80	28.30	20.50	26.80	38.00	26.80	38.00				
36	22.00	28.60	25.30	33.00	23.50	31.30	43.60	31.30	43.60	64.80	81.80		
42			30.80	38.10	26.50	35.20	49.20	35.20	49.20	73.30	91.70		
48			32.90	41.60	29.50	39.30	54.80	39.30	54.80	81.90	101.30		
54						45.90	62.30	45.90	62.30	93.60	121.80		
60						50.10	68.30	50.10	68.30	102.20	132.70		
72								57.90	77.80	119.40	154.50		
84										132.00	164.00		
96										145.30	173.00		

Referencia: Handbook CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials page 71.

Peso promedio (lbs) de las Partes Rotatorias de Rodillos de Retorno

Ancho de Banda (in)	Clasificación de rodillos CEMA												
	A4	A5	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7		
18	11.90	15.50	13.10	16.30	12.20	16.60	21.60						
24	15.60	19.20	16.30	20.90	15.20	20.10	27.10	20.90	30.10				
26	16.89	20.79	17.65	22.63	16.46	21.77	29.35	22.63	32.60				
30	18.50	23.20	19.50	24.50	18.20	24.00	32.30	25.80	35.40				
36	21.90	27.10	22.70	28.50	21.20	28.00	37.60	30.10	40.50	59.00	70.00		
42			26.00	33.00	24.60	32.10	43.30	34.30	47.20	67.40	80.10		
48			27.40	36.10	27.60	36.10	48.40	38.70	54.40	75.60	89.90		
54							43.40	43.40	60.80	83.20	99.90		
60							49.20	49.20	68.10	92.20	109.40		
72							55.10	55.10	74.90	109.40	129.00		
84										114.00	136.20		
96										122.00	149.80		

Referencia: Handbook CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials page 71.

# APÉNDICE L

## Eficiencias Mecánicas de Dispositivos Reductores de Velocidad

Tipo de Mecanismo de Reductor de Velocidad	Eficiencia mecánica Aproximada
Faja en V	0.94
Cadena de Rodillos con Sprockets tallados, sin cubierta	0.93
Cadena de Rodillos con Sprockets tallados, encerramiento hermético de aceite	0.95
Reductor de Velocidad o Motorreductor de Engranajes Helicoidales con Reducción Simple	0.98
Reductor de Velocidad o Motorreductor de Engranajes Helicoidales con Reducción Doble	0.97
Reductor de Velocidad o Motorreductor de Engranajes Helicoidales con Reducción Triple	0.95
Reducción Bihelicoidal, Reductor de Velocidad montado sobre el eje	0.97
Reductor de Velocidad helicoidal Cónico con Reducción Simple, Doble o Triple	0.94
Reductor de Velocidad helicoidal de Tornillo Rango Bajo (h hasta 20:1)	0.90
Reductor de Velocidad helicoidal de Tornillo Rango medio (h hasta 20:1 a 60:1)	0.85
Reductor de Velocidad helicoidal de Tornillo Rango Alto (n de 60:1 a 100:1)	0.78
Reductor de Velocidad de Tornillo Sin fin Rango bajo ( n hasta 20:1)	0.90
Reductro de Velocidad de Tornillo Sin fin Rango medio (n de 20:1 a 60:1)	0.70
Reductor de Velocidad de Tornillo Sin Fin Rango Alto (n de 60:1 a 100:1)	0.50
Cur gear Spurs	0.90
Cast gear Spurs	0.85

Referencia: Handbook CEMA Belt conveyors for Bulk Materials page 158

## APÉNDICE M

### Cálculos de Fuerzas y Tensiones según DIN 22101

#### **Banda Transportadora BT-1**

##### Peso de las partes móviles por metro de banda

Entre las partes móviles se tiene la faja, los rodillos superiores e inferiores y la podemos determinar por la ecuación 1:

$$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2} \text{ ec. 1}$$

Donde:

$G_b$  = Peso de la banda estimado 10.5 kg/m

$G_{ro}$  = Peso de los rodillos superiores, 12.2 kg

$G_{ru}$  = Peso de los rodillos inferiores, 10.9 kg

$$G = 2(10.5) + \frac{12.2}{1.2} + \frac{10.9}{3} = 34.8 \frac{kg}{m}$$

##### Carga del material por metro de banda

$$M_{pm} = \frac{Q_t}{3,6v} \text{ ec. 2}$$

Donde:

$Q_t$  = Capacidad de transporte requerida 170 ton/h

$v =$  Velocidad de la banda 1,25 m/s

$$M_{pm} = \frac{170}{3,6 * 1,25} = 38 \frac{kg}{m}$$

### Fuerza para mover la banda en vacío y sus componentes móviles

La fuerza necesaria para mover la banda y los componentes móviles cuando ésta se encuentra en vacío, sin material, puede ser calculada por la ecuación 3:

$$F_1 = (CfLG)g \text{ ec. 3}$$

Donde:

$F_1$  = Fuerza para mover la banda en vacío. N

C = Factor de fricción por longitud de banda es de 2.9 para una banda de 25.4 m de proyección horizontal.

F = Factor de fricción de las partes móviles para condiciones de ambiente normal de trabajo 0.02.

G = Peso de las partes móviles (kg/m)

L = Longitud de la banda, proyección horizontal 25.3 m

$$F_1 = (CfLG)g = 2,9 * 0,02 * 25,3 * 34,8 * 9,81 = 500,96 \text{ N}$$

### Fuerza para desplazar el material horizontalmente

La fuerza necesaria para vencer la inercia del material y desplazarlo en dirección horizontal desde el punto de alimentación hasta el de descarga. Se puede calcular mediante la ecuación 4:

$$F_2 = \left( \frac{CfLQ_t}{3,6v} \right) g \text{ ec. 4}$$

Donde:

$Q_t$  = Capacidad máxima de la banda 400 ton/h

$v$  = Velocidad de la banda 1,25 m/s

$$F_2 = \left( \frac{2.9 * 0.02 * 25.3 * 400}{3,6 * 1.25} \right) 9.81 = 1279.6 N$$

### Fuerza para elevar o descender el material

Este tipo de fuerza es la requerida para poder realizar la elevación o descenso de la carga y se determina mediante la ecuación 5:

$$F_3 = \left( \frac{H Q_t}{3,6 v} \right) g \text{ ec.5}$$

Donde:

$H$  = Es la altura de la banda 4.56 m

$$F_3 = \left( \frac{4.56 * 400}{3,6 * 1.25} \right) 9.81 = 3976.32 N$$

### Potencia adicional debido a las guías de carga

La longitud de las guías de carga genera resistencias adicionales que deben ser consideradas, se coloca guías en la longitud de 12 m a cada lado con la ecuación 6 se determina la potencia adicional:

$$P_s = 0.08 v l \text{ ec.6}$$

Donde:

$V$  = Velocidad de la banda 1.25 m/s

$L$  = Longitud total de las guías de carga 24 m

$$P_s = 0.08 * 1,25 * 24 = 2,4 \text{ kW}$$

## Cálculo de Tensiones BT-1

### Tensión Efectiva

La tensión mayor es llamada tensión del lado tenso T1, y la tensión más pequeña es llamada tensión del lado flojo T2, de forma que sin la tensión del lado flojo para prevenir el deslizamiento, la banda no puede transmitir el movimiento. La diferencia entre la tensión del lado tenso y la tensión del lado flojo se conoce como tensión efectiva  $T_e$ , debido a que es esta tensión la que realmente ejecuta el trabajo, está dada por la ecuación 7:

$$T_e = \frac{1000P}{v} \text{ ec.7}$$

Donde:

$T_e$  = Tensión efectiva (N)

$P$  = Potencia teórica 10 kW

$V$  = Velocidad de la banda 1,25 m/s

$$T_e = \frac{1000 * 10}{1.25} = 8000 \text{ N}$$

### Tensión en el lado apretado $T_1$

La cantidad de tensión necesaria en el lado apretado se determina multiplicando la tensión efectiva por un factor llamado coeficiente de accionamiento ( $m$ ).

$$T_1 = T_e * m \text{ ec. 8}$$

Donde:

$m$  = coeficiente de accionamiento dado por la ecuación 8.1

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{\mu\theta\frac{\pi}{180}} - 1} \right] \text{ ec. 8.1}$$

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{0.4*220*\frac{\pi}{180}} - 1} \right] = 1.28$$

Ya que esta banda es pequeña se recomienda aumentar  $m$  en un 20%, por lo que se tiene 1.54, esto se hace solo con el fin de suministrar una reserva de tensión debido a la carencia de control de las tensiones y a las inexactitudes e intermitencias por el uso del tensor manual.

Se tiene que:

$$T_1 = 8000 * 1.54 = 12320 \text{ N}$$

### Tensión en el lado flojo $T_2$

Usualmente la tensión en el lado flojo es obtenida por un contrapeso de gravedad o por un tensor de husillo. Es preferible emplear contrapesos de gravedad dado que mantienen la misma tensión de forma constante, en especial en bandas largas, se obtiene con la ecuación 9:

$$T_2 = T_1 - T_e \text{ ec. 9}$$

$$T_2 = 12320 - 8000 = 4320 \text{ N}$$

### Tensión en el retorno de la banda $T_3$

Es la tensión en la parte de retorno y se la puede determinar por la ecuación 10.

$$T_3 = C f L \left( G_b + \frac{G_{ru}}{S_2} \right) g + T_2 \quad \text{ec. 10}$$

Donde:

$C$  = Coeficiente de fricción por longitud 2.9

$f$  = Coeficiente de fricción de las partes móviles 0.02

$L$  = Longitud total de la banda (proyección horizontal) 25.3 m

$G_b$  = Peso de la banda 10.5 kg/m

$G_{ru}$  = Peso de los rodillos inferiores 10.9 kg

$S_2$  = Espaciamiento entre los rodillos inferiores 3 m.

$T_2$  = Tensión del lado flojo 4644 N

$$T_3 = 2.9 * 0.02 * 25.3 \left( 10.5 + \frac{10.9}{3} \right) 9.81 + 4320 = 4625.2 \text{ N}$$

### Tensión del Contrapeso $T_{cp}$

El dispositivo de contrapeso puede ser ubicado en cualquier lugar conveniente a lo largo del ramal de retorno. No es necesario que esté situado adyacente al cabezal motriz, aunque esta es a menudo la ubicación más conveniente, pero para bandas menores a 50 m se usan contrapesos tipo husillo (o take up). Si el contrapeso es ubicado alejado del cabezal motriz, la aceleración del motor y la cantidad de contrapeso deben ser tales que el contrapeso acelere la porción de la banda entre el tambor motriz y el take-up en la misma proporción o mayor que la aceleración

del motor. En aquellos casos en los que un dispositivo tensor ubicado lejos del tambor motriz ha fallado fue debido a una muy rápida aceleración del motor o una muy lenta aceleración del contrapeso resultando en una acumulación de cinta entre el tambor motriz y el take-up.

$$T_{cp} = 2T_2 \text{ si se coloca cerca del grupo motriz ec.11}$$

$$T_{cp} = 2T_3 \text{ si se coloca en la cola ec.12}$$

Usamos la ecuación 12:

$$T_{cp} = 2 * 5129 = 9250 \text{ N}$$

Se escoge un contrapeso de 9500 N, entonces se tiene  $T_2$  de 4445 N, y  $T_1$  de 12445 N.

### Tensión debido al peso de la banda en una pendiente

En todas las bandas transportadoras inclinadas, el peso de la banda en el trayecto inclinado provoca una tensión en la parte superior de la pendiente. Esta fuerza puede ser expresada así:

$$F_{banda} = G_b H g \text{ ec.13}$$

Donde:

$F_{banda}$  = Tensión por el peso de la banda en pendiente (N)

$G_b$  = Peso de la banda 10.5 kg/m

$H$  = Altura 4.56 m

$$F_{banda} = 10.5 + 4.56 + 9.81 = 469.71 \text{ N}$$

### Tensión mínima $T_o$

A veces la tensión  $T_2$ , aún cuando es suficiente para lograr la adherencia de la banda al tambor motriz, es insuficiente para evitar el pandeo excesivo de la banda sobre los rodillos que pudieran provocar el derrame del material.

Para evitar esta flecha excesiva se debe procurar que ningún punto de la banda se obtenga una tensión inferior a la tensión mínima  $T_o$ , la misma que puede ser calculada de la siguiente manera:

$$T_o = \frac{s(G_b + M_{pm})}{8(q/s)} \text{ g ec. 14}$$

Donde:

$T_o$  = Tensión mínima (N)

$s$  = espaciamiento de los rodillos 1.2 m

$G_b$  = peso de la banda 10.5 kg/m

$M_{pm}$  = Carga del material por metro de banda 38 kg/m

$$T_o = \frac{1.2(10.5 + 38)}{8(0.02)} 9.81 = 3568 \text{ N}$$

### Tensión de trabajo unitaria $T_u$

Es la máxima tensión a la que estará sometida la cinta transportadora por mm de ancho de banda.

$$T_u = \frac{T_1}{1000B} \quad \text{ec. 15}$$

Donde:

$T_1$  = La tensión máxima 12445 N

B = Ancho de banda 750 mm

$$T_u = \frac{12445}{1000 * 0.75} = 16.6 \text{ N/mm}$$

Tensión en la parte Curva  $T_x$

$$T_x = T_4 + fL_xg \left( \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2} + G_b + M_{pm} \right) \quad \text{ec. 16}$$

Donde:

$T_4$  = Tensión en el retorno de la banda 4625 N

$L_x$  = Distancia hacia donde comienza para parte curva 12 m.

$G_{ro}$  = Peso de los rodillos superiores 12.2 kg.

$S_1$  = Espaciamiento de los rodillos superiores 1.2 m

$G_{ru}$  = Peso de los rodillos inferiores 10.9 kg

$S_2$  = Espaciamiento de los rodillos inferiores 3 m.

$G_b$  = peso de la banda 10.5 kg.

$M_{pm}$  = Carga del material por metro de banda 38 kg/m

$$T_x = 4625 + 0.02 * 12 * 9.81 \left( \frac{12.2}{1.2} + \frac{10.9}{3} + 10.5 + 38 \right) = 4772 \text{ N}$$

## Fuerzas y Potencia en Banda Transportadoras BT-2, BT-3, BT-4

FORMULA	BT-2	BT-3	BT-4
$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2}$	26.5 kg/m	26.5 kg/m	26.5 kg/m
$M_{pm} = \frac{Q_t}{3,6v}$	33.3 kg/m	33.3 kg/m	33.3 kg/m
$F_1 = (CfLG)g$	229.6 N	229.8 N	229.8 N
$F_2 = \left(\frac{CfLQ_t}{3,6v}\right)g$	564.17 N	564.65 N	564.65 N
$F_3 = \left(\frac{HQ_t}{3,6v}\right)g$	1863.2 N	-	-
$P_s = 0.08vl$	0.6 kW	0.6 kW	1 kW
$P_t = 1,5v$	1.88 kW	-	-

### Cálculo de Tensiones en BT-2, BT-3, BT-4

FORMULA	BT-2	BT-3	BT-4
$T_e = \frac{1000P}{v}$	4640 N	1275 N	1595 N
$T_1 = T_e * m$	7796 N	5341 N	5911 N
$T_2 = T_1 - T_e$	3156 N	4066 N	4317 N
$T_3 = CfL \left(G_b + \frac{G_{ru}}{S_2}\right)g + T_2$	3269 N	4179 N	4429 N
$T_{cp} = 2T_3$	6538 N	2000 N	2500 N
$F_{banda} = G_b Hg$	283.59 N	-	-
$T_o = \frac{s(G_b + M_{pm})}{8(q/s)}$	3179 N	3179 N	3179 N
$T_u = \frac{T_1}{1000B}$	12.05 N/mm	8.22 N/mm	9.09 N/mm

# APÉNDICE N

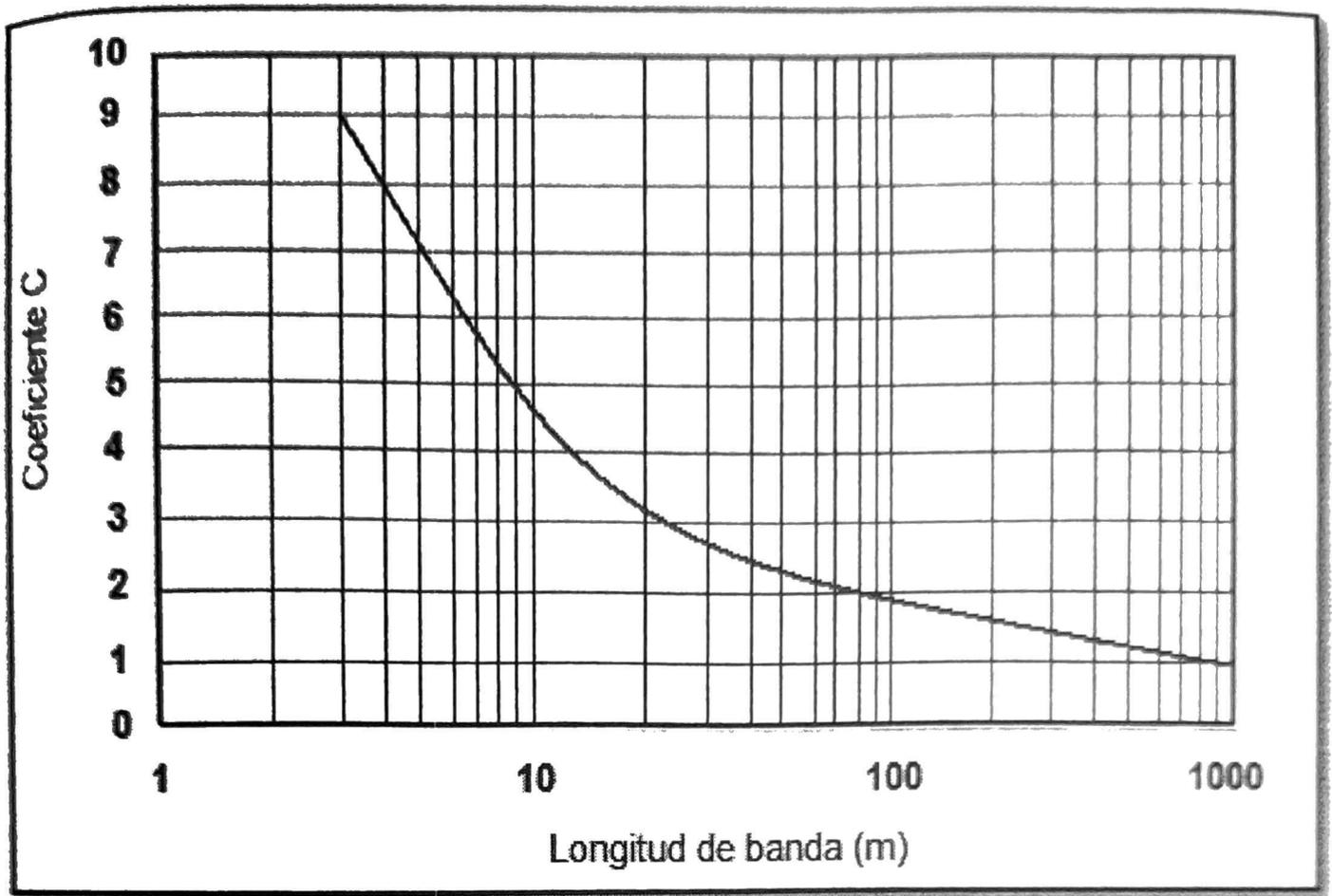
## Número de pliegues máximo

Ancho de la Faja (in)	Ángulo del rodillo	6 - 8 N/mm	9 - 11 - 13 N/mm	16 - 21 N/mm	28 N/mm	35 - 42 N/mm
<b>18</b>	20°	5	-	-	-	-
	35°	4	-	-	-	-
	45°	-	-	-	-	-
<b>24</b>	20°	6	5	4	4	-
	35°	5	4	4	-	-
	45°	4	-	-	-	-
<b>26</b>	20°	7	5	5	5	4
	35°	6	4	5	4	-
	45°	5	4	-	-	-
<b>30</b>	20°	7	6	5	5	4
	35°	6	5	5	4	4
	45°	5	4	4	-	-
<b>36</b>	20°	8	7	6	6	5
	35°	7	6	6	5	5
	45°	6	5	5	4	4
<b>42</b>	20°	8	8	7	6	6
	35°	8	7	7	6	5
	45°	7	6	6	5	5
<b>48</b>	20°	8	8	8	7	6
	35°	8	8	7	6	6
	45°	8	7	6	5	5
<b>54</b>	20°	8	8	8	8	7
	35°	8	8	8	7	6
	45°	8	8	7	6	6
<b>60</b>	20°	8	8	8	8	8
	35°	8	8	8	8	7
	45°	8	8	8	7	6
<b>72-96</b>	20°	8	8	8	8	8
	35°	8	8	8	8	8
	45°	8	8	8	8	7

Referencia: CEMA Handbook belt conveyors for bulk materials Vol2 , page 188, table 7-5

# APENDICE N

## Coeficiente de Fricción por Longitud

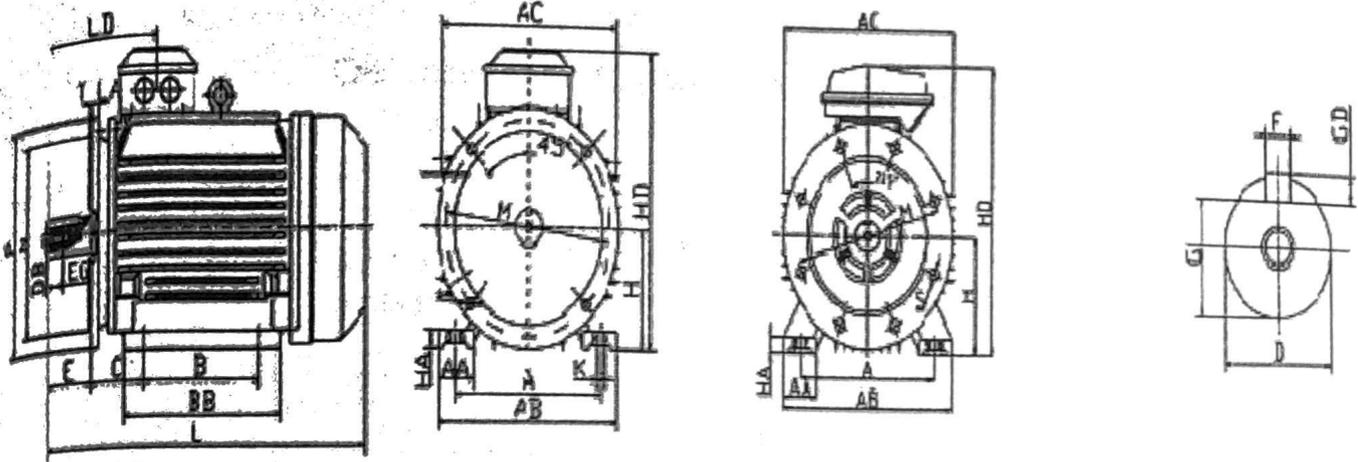


## Coeficiente de Fricción de las partes Giratorias

Condiciones de Operación	Coeficiente f
Bandas transportadoras descendentes que requieren frenado mediante motor.	0.012
Buenas bandas transportadoras con rodillos de marcha suave y pequeña fricción en el material	0.017
Condiciones con ambiente normal de trabajo	0.02
Condiciones de marcha desfavorables, ambiente polvoriento, sobrecargas periódicas y/o puntuales	0.023-0.03

Referencia: NORMA DIN 22101 <sup>[44]</sup>

# APÉNDICE O



Tamaño de carcasa	Polos	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	D	DB	E	EG	F
71M	2-6	112	30	145	145	120	90	110	45	14	M5	30	12.5	5
80M	2-8	125	35	160	165	145	100	135	50	19	M6	40	16	6
90S	2-8	140	35	175	180	150	100	140	56	24	M8	50	19	8
90L	2-8	140	35	175	180	150	125	165	56	24	M8	50	19	8
100L	2-8	160	40	200	205	175	140	180	63	28	M10	60	22	8
112M	2-8	190	50	235	225	185	140	190	70	28	M10	60	22	8
132S	2-8	216	55	270	265	205	140	205	89	38	M12	80	28	10
132M	2-8	216	55	270	265	205	178	240	89	38	M12	80	28	10

Tamaño de carcasa	Polos	A	AA	AB	AC	AD	B	BB	C	D	DB	E	EG
160 M	2-8	254	60	325	330	255	210	265	106	42	M16	110	36
160 L	2-8	254	60	325	330	255	254	310	106	42	M16	110	36
180 M	2-4	279	70	350	355	270	241	315	121	48	M16	110	36
180 L	4-8	279	70	350	350	270	279	350	121	48	M16	110	36
200 L	2-8	318	70	390	395	305	305	380	133	55	M20	110	39
225 S	4-8	356	75	435	440	335	286	380	149	60	M20	140	39
225 M	2	356	75	435	450	335	311	405	149	55	M20	110	39
225 M	4-8	356	75	435	450	335	311	405	149	60	M20	140	39
250 M	2	406	80	490	515	395	349	455	168	60	M20	140	39
250 M	4-8	406	80	490	515	395	348	455	168	65	M20	140	39

Referencia: Catálogo ABB, según IEC 72-1 o DIN 42673

# APÉNDICE P

## Distancia entre Soportes de Tambores

Ancho de Banda (mm)	Distancia entre apoyos (mm)		
	Tambor motriz	Tambor de cola	Tambor adicional
400	760	760	630
450	810	810	680
600	1020	1020	840
750	1170	1170	990
900	1370	1370	1140
1050	1520	1520	1300
1200	1680	1680	1450
1350	1830	1830	1600
1500	1980	1980	1750
1650	2130	2130	1900
1800	2400	2400	2050
2100	2700	2700	2350
2400	3000	3000	2650
2500	3100	3100	2750

Referencia: Software para el diseño de una banda transportadora y creación del modelo de elementos finitos asociado, Pablo Hernando Sanz.

# APÉNDICE Q

## Diámetro Recomendados de los Tambores

Tipo de Cinta	Diámetro de polea en mm basado en el % de utilización de la tensión nominal de servicio de la cinta								
	Sobre 60% a 100%			Sobre 30% a 60%			Hasta 30%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
EP 160/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 250/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 315/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 400/2	315	250	200	250	200	160	200	200	160
EP 400/3	315	250	200	250	200	160	200	200	160
EP 500/3	400	315	250	315	250	200	250	250	200
EP 500/4	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 630/3	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 630/4	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 800/4	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 800/5	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1000/3	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1000/4	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1250/4	800	630	500	630	500	400	500	500	400
EP 1250/5	800	630	500	630	500	400	500	500	400
EP 1600/4	1000	800	630	800	630	500	630	630	500
EP 2000/5	1250	1000	800	1000	800	630	800	800	630

Referencia: Catálogo Cintas Transportadoras, Metso Minerals

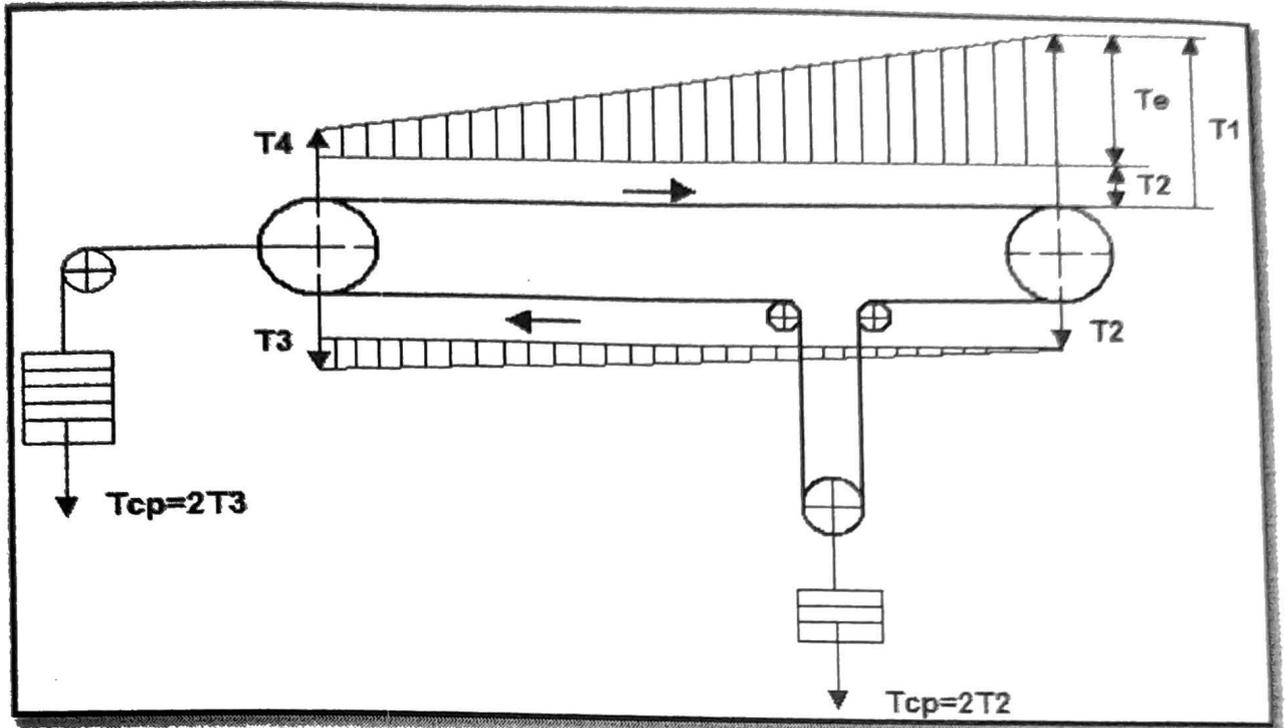
Grupo A: Poleas de accionamiento, de descarga y otras poleas donde la tensión de la cinta es relativamente alta.

Grupo B: Poleas de retorno, de tensor y otras poleas, en donde la tensión de la cinta es relativamente baja.

Grupo C: Poleas de deflexión y otras poleas de baja tensión en donde el ángulo de contacto entre cinta y polea es de  $< 30^\circ$ .

# APÉNDICE R

## Cálculo de las Fuerzas Resultantes BT-1



### Polea Motriz

Diagrama de Fuerzas:

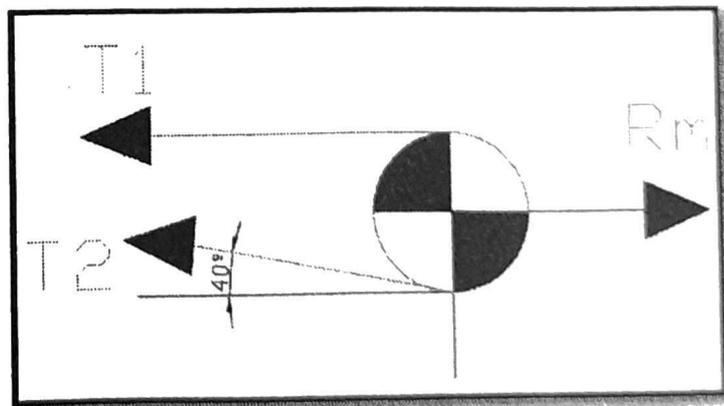
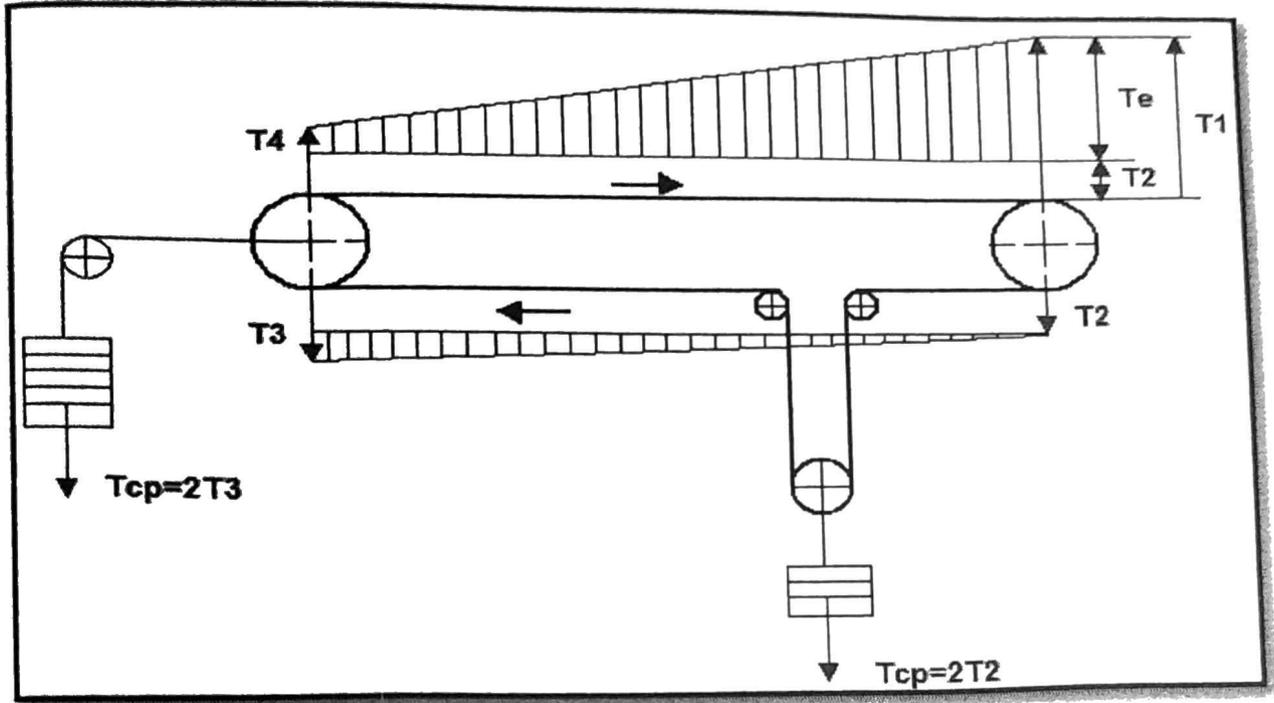


Fig. R1 Diagrama de Fuerzas para polea Motriz

Sumatoria de Fuerzas:

# APÉNDICE R

## Cálculo de las Fuerzas Resultantes BT-1



Polea Motriz

Diagrama de Fuerzas:

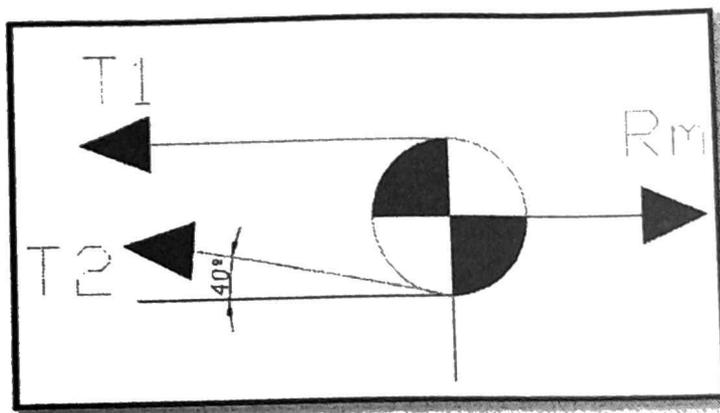


Fig. R1 Diagrama de Fuerzas para polea Motriz

Sumatoria de Fuerzas:

Tambor de Cola

Diagrama de Fuerzas:

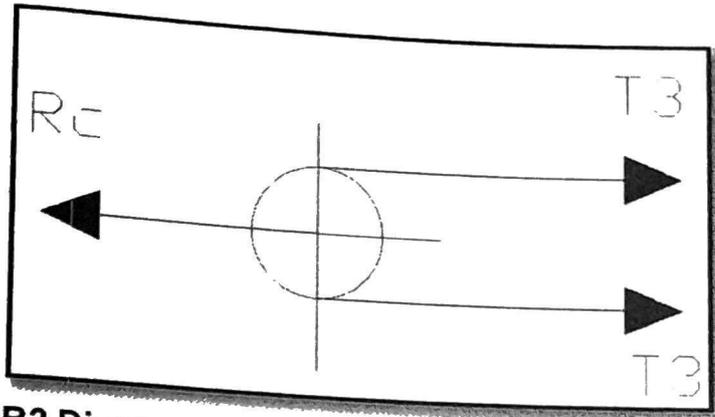


Fig. R2 Diagrama de Fuerzas para el tambor de cola

Sumatoria de Fuerzas:

Tambor de Contacto

Diagrama de Fuerzas:

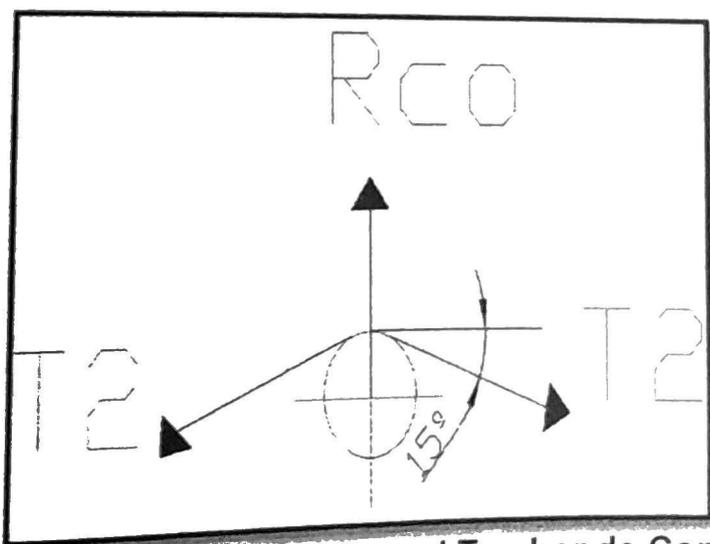


Fig. R3 Diagrama de Fuerzas para el Tambor de Contacto

Sumatoria de Fuerzas:

$$R_{co} = 2T_2 \text{sen}15^\circ \text{ ec. 3}$$

$$R_{co} = 2(4445) \text{sen}15^\circ = 2301 \text{ N}$$

### Cálculo del diámetro de los ejes del Tambor BT-1

Por medio de la norma CEMA – ANSI B105.1 se procede al cálculo del diámetro de los ejes:

Por medio de la Fórmula:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 F.S}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} \text{ ec. 4}$$

Donde:

F.S.= Factor de Seguridad, seleccionamos un factor de 2

M = Momento Flector, lbs-pulg.

S<sub>f</sub> = Factor corregido de fatiga.

T = Momento Torsor, lbs-pulg.

Se tiene la siguiente fórmula para el momento torsor:

$$M = \frac{RxA}{2} \text{ ec. 4.1}$$

Donde:

R = Es la Fuerza resultante que actúa en la polea, lbs.

A = Brazo flector de la polea, in.

Se tiene la siguiente Fórmula para el Factor corregido

$$S_f = k_a k_b k_c k_d k_e k_f k_g S_f^* \text{ ec. 4.2}$$

Donde:

K<sub>a</sub> = Factor superficial = 0.8 para eje mecanizado.

K<sub>b</sub> = Factor de Tamaño = (D)<sup>-0.19</sup>

K<sub>c</sub> = Factor de confiabilidad 0.897

$K_d$  = Factor de Temperatura = 1.0 para temperaturas de -70 a + 400°F

$K_e$  = Factor de ciclo de servicio = 1.0

$K_f$  = Factor de concentración de esfuerzo de fatiga =

0.63 para acero (BHN<200) con chaveta perfilada

0.77 para acero (BHN<200) con chaveta corrediza

0.50 para acero (BHN>200) con chaveta perfilada

0.63 para acero (BHN>200) con chaveta corrediza

El acero AISI C1045 es considerado debajo de 200 BHN con chaveta perfilada por lo que se escoge el factor 0.63.

$K_g$  = Factor mixto = 1.0 para servicio normal del transportador

$S^*_t$  = 0.5 esfuerzo ultimo de tensión tabulado, para el acero AISI C1045 es 41000 PSI.

Se tiene  $S_y$ , es el esfuerzo de fluencia que para el acero AISI C1045 es 45000 PSI.

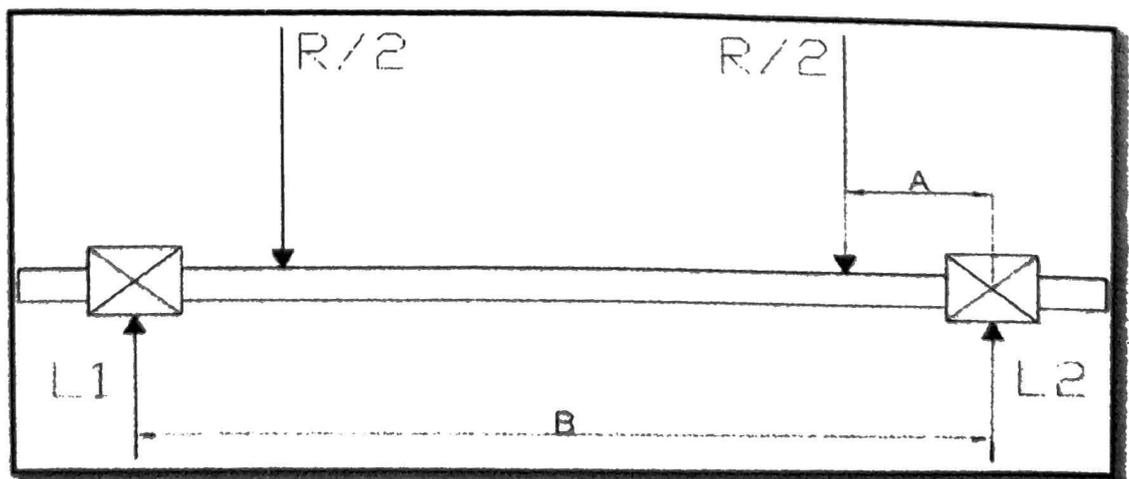
Se tiene la siguiente Fórmula para el momento torsor, lbs-pulg:

Donde:

$T_e$  = Es la tensión efectiva, lbs.

$r$  = Es el radio de la polea, in.

El Diagrama de Fuerzas Para todas los Ejes es:



**Figura R4 Diagrama de Fuerzas en el eje de los Tambores**

Polea Motriz

De la Ecuación 4.3 tenemos:

$$T = T_e * r = 1799 * 10 = 17990 \text{ lb in}$$

De la Ecuación 4.1 se tiene:

$$M = \frac{RxA}{2} = \frac{3563 * 5.32}{2} = 9477.8 \text{ lbs.in}$$

Donde:

$$A = N + 3.25 = 5.32 + 3.25 = 8.57 \text{ in}^{(1)}$$

Donde:

$$N = \frac{(1170 - 900)}{50.8} = 5.32 \text{ in.}$$

De la Ecuación 7.2 tenemos:

$$K_b = (4.94)^{-0.19} = 0.74$$

$$S_f = 0.8 * 0.74 * 0.897 * 1 * 1 * 0.63 * 1 * 41000 = 13717 \text{ PSI}$$

De la Ecuación 4 se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{9477.8}{13717}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{17990}{45000}\right)^2}} = 2,5 \text{ in}$$

Se obtiene un valor de 2.5 in se escoge el valor standard de 2 15/16 in (80 mm).

### Tambor de cola

De la Ecuación 4.1 se tiene:

$$M = \frac{RxA}{2} = \frac{2306 * 8.32}{2} = 8884.1 \text{ lbs.in}$$

Donde:

$$A = N + 3 = 5.32 + 3 = 8.32 \text{ in}^{(1)}$$

Donde:

$$N = \frac{(1170 - 900)}{50.8} = 5.32 \text{ in.}$$

De la Ecuación 7.2 tenemos:

$$K_b = (4.44)^{-0.19} = 0.75$$

$$S_f = 0.8 * 0.75 * 0.897 * 1 * 1 * 0.63 * 1 * 41000 = 13901.71 \text{ PSI}$$

De la Ecuación 7 se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi} * \frac{8884.1}{13901.71}} = 2.4 \text{ in}$$

Se obtiene un valor de 2.4 in se escoge el valor standard de 2 11/16 in (70 mm).

### Tambor de Contacto

De la Ecuación 4.1 se tiene:

$$M = \frac{RxA}{2} = \frac{517.3 * 4.27}{2} = 1104.4 \text{ lbs.in}$$

Donde:

$$A = N + 2.5 = 1.77 + 2.5 = 4.27 \text{ in}^{[1]}$$

Donde:

$$N = \frac{(990 - 900)}{50.8} = 1.77 \text{ in.}$$

De la Ecuación 4.2 tenemos:

$$K_b = (3.44)^{-0.19} = 0.79$$

$$S_f = 0.8 * 0.79 * 0.897 * 1 * 1 * 0.63 * 1 * 41000 = 14643.13 \text{ PSI}$$

De la Ecuación 4 se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi} * \frac{1104.4}{14643.13}} = 1.20 \text{ in}$$

Se obtiene un valor de 1.20 in se escoge el valor standard de 1 15/16 in (40 mm).

## Cálculo de la Carga Dinámica para los Rodamientos BT-1

Se tiene la ecuación 8 para el cálculo de la carga dinámica:

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \cdot W_t} \left( \frac{C_d}{P_d} \right)^3 \quad ec. 5 \quad [2]$$

Donde:

$L_{10h}$  = Vida nominal en horas de servicio, 30000 horas.

$W_t$  = RPM del tambor

$P_d$  = Fuerza resultante. (N)

$C_d$  = Carga dinámica. (N)

Exponente 3 para rodamientos de bolas.

De la Ecuación 8 se tiene:

$$C_d = P_d * \sqrt[3]{1.8 * W_t}$$

### Polea Motriz

Donde la Fuerza resultante es:

$$P_d = \frac{15.85}{2} = 7.93 \text{ kN}$$

Los RPM del tambor son:

$$W_t = \frac{1.25 * 60}{2\pi * 0.265} = 46 \text{ RPM}$$

De la Ecuación 5 tenemos:

$$C_d = 7.93 * \sqrt[3]{1.8 * 46} = 34.56 \text{ kN}$$

Se lo multiplica por un factor de seguridad de 2 y obtenemos un valor de 69.13 kN.

### Tambor de Cola

Donde la Fuerza resultante es:

$$P_d = \frac{9.5}{2} = 4.75 \text{ kN}$$

Los RPM del tambor son:

$$W_t = \frac{1.25 * 60}{2\pi * 0.215} = 56 \text{ RPM}$$

De la Ecuación 8 tenemos:

$$C_d = 4.75 * \sqrt[3]{1.8 * 56} = 22.11 \text{ kN}$$

Se lo multiplica por un factor de seguridad de 2 y obtenemos un valor de 44.21 kN.

### Tambor de Contacto

Donde la Fuerza resultante es:

$$P_d = \frac{2.3}{2} = 1.15 \text{ kN}$$

Los RPM del tambor son:

$$W_t = \frac{1.25 * 60}{2\pi * 0.173} = 69 \text{ RPM}$$

De la Ecuación 5 tenemos:

$$C_d = 1.15 * \sqrt[3]{1.8 * 69} = 5.74 \text{ kN}$$

Se lo multiplica por un factor de seguridad de 2 y obtenemos un valor de 5.74 kN.

### Cálculo de las Fuerzas y Diámetros en las bandas BT-2, BT-3, BT-4.

Polea	Fórmula	BT-2	BT-3	BT-4
Motriz	$R_m = T_1 + T_2$	10.95 kN	9.41 kN	10.23 kN
Cola	$R_c = T_3 + T_3$	6.6 kN	8.4 kN	8.9 kN
Motriz	$T = T_e * r$	8344.8 lb*in	2293 lb*in	2862 lb*in
Motriz	$M = \frac{RxA}{2}$	13871.12 lb*in	11923.7 lb*in	12959 lb*in
Motriz	$D = \sqrt[3]{\frac{32 F.S}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}$	2.74 in	2.6 in	2.67 in
Cola	$M = \frac{RxA}{2}$	7989.62 lb*in	10169 lb*in	10774 lb*in
Cola	$D = \sqrt[3]{\frac{32 F.S}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}}$	2.27 in	2.46 in	2.5 in
Motriz	$W_t$	56 RPM	56 RPM	56 RPM
Motriz	$C_d = P_d * \sqrt[3]{1.8 * W_t}$	51 kN	44 kN	47.66 kN
Cola	$W_t$	70 RPM	70 RPM	70 RPM
Cola	$C_d = P_d * \sqrt[3]{1.8 * W_t}$	33.09 kN	42 kN	45.12 kN

# APÉNDICE S

## Duración de Cojinetes para Diversas Clases de Máquinas

<b>Tipo de Aplicación</b>	<b>Vida (horas)</b>
<b>Máquinas para operación breve o intermitente, donde la interrupción del servicio es de poca importancia.</b>	4000-8000
<b>Máquinas de servicio intermitente, donde la operación confiable es de gran importancia</b>	8000-14000
<b>Máquinas de servicio de 8 horas que no siempre se utilizan plenamente.</b>	14000-20000
<b>Máquinas de servicio de 8 horas que se utilizan plenamente.</b>	20000-30000
<b>Máquinas de servicio continuo las 24 horas</b>	50000-60000
<b>Máquinas de servicio continuo las 24 horas, donde la confiabilidad es de suma importancia.</b>	100000-200000

[36] Rodamientos de Bolas y Rodillos NTN.

## APÉNDICE T

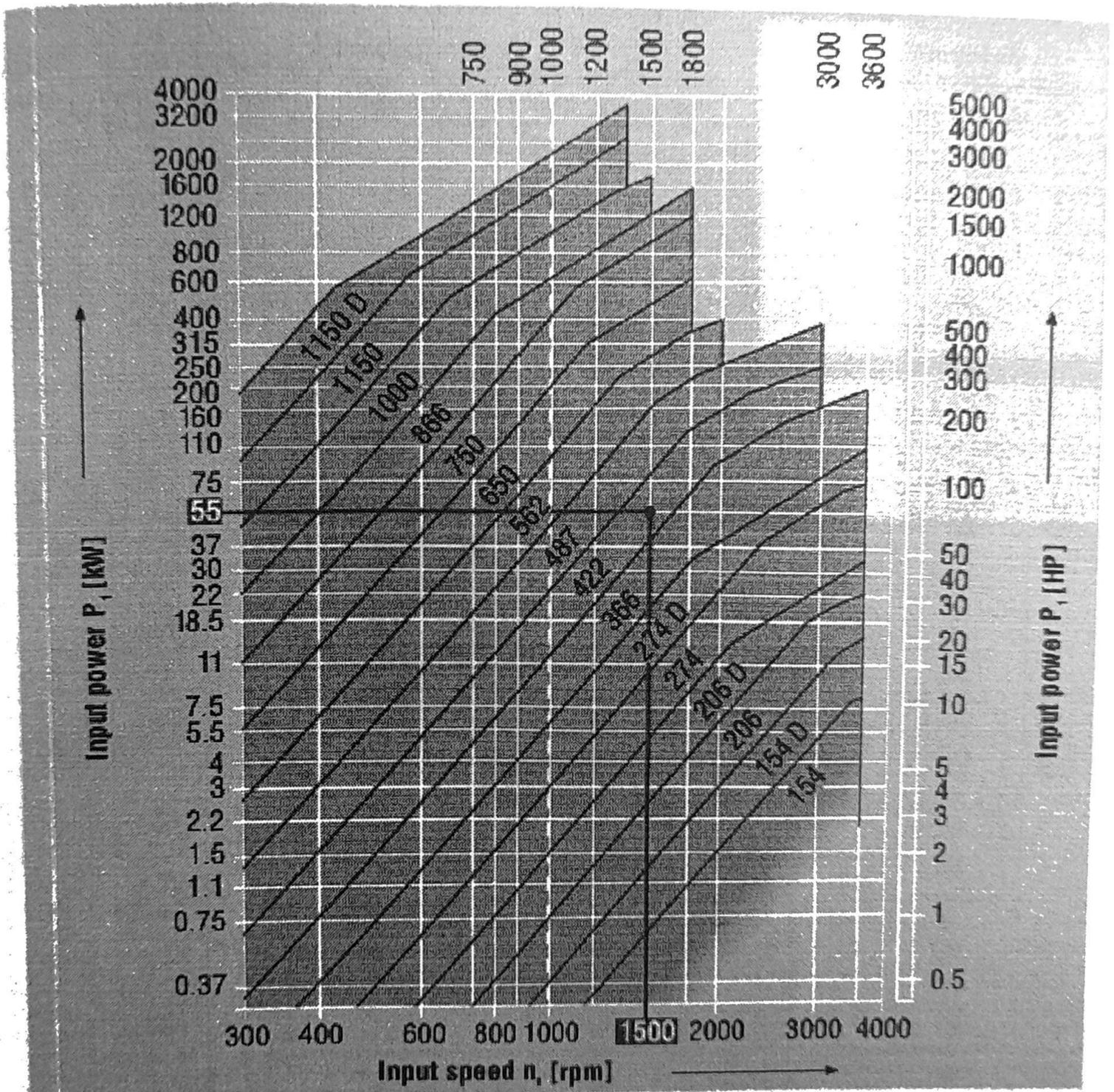
Altura de la Carga y Centro de gravedad en la polea de descarga

Tipo de Rodillos	Valores h y a1, en pulgadas para distancia límite estándar												
	Ángulo de Sobrecarga	Ancho de la faja, pulgadas											
			18	24	30	36	42	48	54	60	72	84	96
Arreglo de tres rodillos iguales para un abarquillamiento de 35°	0°	h	1.9	2.7	3.5	4.3	5	6	6.7	7.4	9	10.5	12
		a1	0.8	1.1	1.4	1.7	2	2.4	2.7	3	3.6	4.1	4.7
	5°	h	2.1	3	3.8	4.8	5.5	6.4	7.4	8.1	10	11.9	13.8
		a1	0.8	1.2	1.5	1.9	2.2	2.6	3	3.3	4	4.7	5.4
	10°	h	2.3	3.2	4.2	5.2	6.1	7.2	8.1	9	13	13	15
		a1	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.6	5.2	5.2	6
	20°	h	2.7	3.9	5.1	6.1	7.3	8.4	9	10.7	13.9	14.2	16.4
		a1	1.1	1.6	2.1	2.5	2.9	3.4	3.6	4.3	5.6	6.1	7
	25°	h	3	4.2	5.4	6.6	7.8	9.1	10.7	11.6	14.9	15.4	17.9
		a1	1.2	1.7	2.2	2.7	3.1	3.7	4.3	4.6	6	6.6	7.6
	30°	h	3.2	4.5	5.7	7.1	8.4	9.8	11.6	12.4	10.5	17.5	20.1
		a1	1.3	1.8	2.3	2.9	3.4	4	4.6	5	4.2	7	8

Referencia: CEMA Handbook Belt Conveyors for Bulk Materials, page 289, Table 12-2

# APÉNDICE U

## Selección del Acople Hidrodinámico Voith



Referencia: Catálogo Voith Turbo Fluid Couplings with Constant Fill

# APÉNDICE V

Selección de caja reductora para motor de 20 hp

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.
222	7.90	5214	1.00	4496	07UWBQ2A8.0A_E	4760660	07UWXQ2A8.0A_E	4751045
225	7.77	5142	1.80	5642	08UWBQ2A8.0A_E	4760781	08UWXQ2A8.0A_E	4751168
159	11.01	7278	1.48	5979	11.	4760785	11.	4751172
143	12.24	8115	1.39	6069	12.	4760789	12.	4751176
129	13.61	8998	1.30	6204	14.	4760793	14.	4751180
113	15.54	9901	1.15	6474	16.	4760797	16.	4751184
99	17.60	11553	1.12	6474	18.	4760801	18.	4751188
89	19.76	13040	1.04	6474	20.	4760805	20.	4751192
220	7.97	5332	3.22	7823	09UWBQ2A8.0A_E	4760911	09UWXQ2A8.0A_E	4751298
159	10.98	7331	2.69	7823	11.	4760915	11.	4751302
142	12.30	8203	2.52	7823	12.	4760919	12.	4751306
127	13.81	9198	2.36	7823	14.	4760923	14.	4751310
105	16.68	10622	2.01	7820	16.	4760927	16.	4751314
98	17.79	11821	2.03	7820	18.	4760931	18.	4751318
88	19.88	13218	1.90	7820	20.	4760935	20.	4751322
76	22.96	14612	1.66	7818	22.	4760939	22.	4751326
68	25.73	16306	1.55	7818	25.	4760943	25.	4751330
61	28.89	18313	1.45	7815	28.	4760947	28.	4751334
56	31.43	20704	1.43	7808	32.	4760951	32.	4751338
47	37.22	23412	1.24	7808	36.	4760955	36.	4751342
42	41.59	26098	1.16	7808	40.	4760959	40.	4751346
39	44.55	28997	1.15	7780	45.	4760965	45.	4751352
35	49.49	32038	1.08	7788	50.	4760971	50.	4751358
105	16.63	10745	3.59	9104	10UWBQ2A16.A_E	4763435	10UWXQ2A16.A_E	4753995
98	17.87	11958	3.55	9104	18.	4763439	18.	4753999
91	19.29	12891	3.39	9104	20.	4763443	20.	4754003
75	23.23	15012	2.94	9104	22.	4763447	22.	4754007
69	25.27	16343	2.79	9104	25.	4763451	25.	4754011
61	28.70	18545	2.58	9101	28.	4763455	28.	4754015
55	31.85	21134	2.50	9101	32.	4763459	32.	4754019
47	37.38	23979	2.13	9101	36.	4763463	36.	4754023
43	40.36	25856	2.01	9098	40.	4763467	40.	4754027
40	43.65	28737	2.06	9080	45.	4763473	45.	4754033
36	48.51	31761	1.88	9080	50.	4763479	50.	4754039
30	58.85	37275	1.51	9091	56.	4763483	56.	4754043
26	66.63	42077	1.37	9089	63.	4763487	63.	4754047
25	69.18	44801	1.40	9076	71.	4763493	71.	4754053
22	79.51	51424	1.23	9062	80.	4763499	80.	4754059
19	91.32	57040	1.07	9070	90.	4763505	90.	4754065
17	101.47	62767	0.99	9052	100	4763511	100	4764071
16	107.80	67034	1.04	9035	112	4763517	112	4764077
15	115.82	73768	0.92	9037	125	4763523	125	4764083

Referencia: FALK Ultramite UW Right-angle helical Worm gear drive.

## Selección de caja reductora para motor de 10 hp

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.
222	7.90	2660	2.00	4813	07UWBQ2A8.0A_D	4760659	07UWXQ2A8.0A_D	4761044
160	10.94	3671	1.66	4887	11.	4760663	11.	4761048
142	12.29	4151	1.55	4915	12.	4760667	12.	4761052
129	13.52	4545	1.46	5035	14.	4760670	14.	4761056
111	15.80	5087	1.20	5022	16.	4760674	16.	4761060
99	17.66	5897	1.25	5022	18.	4760678	18.	4761064
87	20.07	6687	1.15	5022	20.	4760682	20.	4761068
225	7.77	2623	3.59	5880	08UWBQ2A8.0A_D	4760780	08UWXQ2A8.0A_D	4761167
159	11.01	3713	2.95	6270	11.	4760784	11.	4761171
143	12.24	4140	2.77	6307	12.	4760788	12.	4761175
129	13.61	4590	2.60	6363	14.	4760792	14.	4761179
113	15.54	5051	2.29	6474	16.	4760796	16.	4761183
99	17.60	5893	2.23	6474	18.	4760800	18.	4761187
89	19.76	6652	2.08	6474	20.	4760804	20.	4761191
79	22.03	7081	1.86	6474	22.	4760808	22.	4761195
72	24.47	7880	1.74	6465	25.	4760812	25.	4761199
64	27.22	8781	1.63	6465	28.	4760816	28.	4761203
55	31.78	10562	1.56	6455	32.	4760820	32.	4761207
50	35.20	11290	1.37	6461	36.	4760824	36.	4761211
44	39.51	12634	1.26	6461	40.	4760828	40.	4761215
40	43.64	14347	1.28	6444	45.	4760834	45.	4761221
36	49.26	16112	1.18	6444	50.	4760840	50.	4761227
39	44.55	14792	2.30	7805	09UWBQ2A45.A_D	4760964	09UWXQ2A45.A_D	4761351
35	49.49	16344	2.15	7809	50.	4760970	50.	4761357
25	69.91	22885	1.63	7795	71.	4760984	71.	4761371
23	77.18	25168	1.50	7795	80.	4760990	80.	4761377
19	93.18	29035	1.40	7784	90.	4760996	90.	4761383
17	103.53	31933	1.31	7784	100	4761002	100	4761389
16	106.17	34304	1.14	7800	112	4761008	112	4761395
36	48.51	16203	3.76	9094	10UWBQ2A50.A_D	4763478	10UWXQ2A50.A_D	4764038
25	69.18	22855	2.79	9093	71.	4763492	71.	4764052
22	79.71	26233	2.45	9087	80.	4763498	80.	4764058
19	91.32	29098	2.14	9090	90.	4763504	90.	4764064
17	101.47	32020	1.97	9083	100	4763510	100	4764070
16	107.80	35217	2.07	9076	112	4763516	112	4764076
15	115.82	37632	1.84	9076	125	4763522	125	4764082
12	144.71	45180	1.49	9067	140	4763528	140	4764088
10	166.73	51659	1.34	9065	160	4763534	160	4764094
7.8	225.50	68821	1.06	9039	212	4763540	212	4764100
7.2	242.27	73580	1.00	9037	250	4763546	250	4764106

Referencia: FALK Ultramite UW Right-angle helical Worm gear drive.

## Selección de caja reductora para motor de 3 hp

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

Referencia: FALK Ultramite UW Right angle helical Worm gear drive.

## Selección de caja reductora para motor de 5 hp

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 Drywall 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

Referencia: FALK Ultramite UW Right-angle helical Worm gear drive.

## APÉNDICE W

Tensor tipo tornillo con rodamientos de rodillos esféricos serie S-2000

Diámetro del Eje	Tipo de Frame
1 3/8	CP-308
1 7/16	
1 1/2	
1 11/16	CP-400
1 3/4	
1 15/16	
2	
2 3/16	CP-408
2 7/16	CP-502
2 11/16	CP-515
2 15/16	
3	
3 7/16	CP-613
3 15/16	CP-810
4 7/16	CP-908
4 15/16	CP-1004

[43] DODGE, Take-up Frames and Base Plates catalog

Frame Size	Travel	Frame Part Number	Frame Weight	Travel		A	B	C	D		E	F	G	H	J		K
				Maximum					S2000 Imperial	Type K & E					Qty.	Size Dia.	
				S2 & IP	Type E & K												
CP308	12	019200	30	15-15/32	15-15/32	3-7/16	26	28	6	6	7	11/16	..	3	2	1/2	3/4-10MC
CP308	18	019201	34	21-15/32	21-15/32		32	64									3/4-10MC
CP308	24	019202	38	27-15/32	27-15/32		38	40									3/4-10MC
CP308	30	019203	42	33-15/32	33-15/32		44	46									3/4-10MC
CP308	36	019204	46	39-15/32	39-15/32		50	52									3/4-10MC
CP420	12	019210	55	14-27/32	14-23/32	3-15/16	27-1/2	29-1/2	7-1/4	7-1/4	8-5/8	13/16	..	4	2	5/8	1-BNC
CP400	18	019211	65	20-27/32	20-23/32		33-1/2	35-1/2									1-BNC
CP400	24	019212	75	26-27/32	26-23/32		39-1/2	41-1/2									1-BNC
CP400	30	019213	85	32-27/32	32-23/32		45-1/2	47-1/2									1-BNC
CP400	36	019214	95	38-27/32	38-23/32		51-1/2	53-1/2									1-BNC
CP408	12	019220	61	14-5/32	14-3/32	4-7/16	27-1/2	29-1/2	7-3/4	7-3/4	9-1/4	11/16	..	4	2	5/8	1-1/8-7NC
CP408	18	019221	71	20-5/32	20-3/32		33-1/2	35-1/2									1-1/8-7NC
CP408	24	019222	81	26-5/32	26-3/32		39-1/2	41-1/2									1-1/8-7NC
CP408	30	019223	85	32-5/32	32-3/32		45-1/2	47-1/2									1-1/8-7NC
CP408	36	019224	95	38-5/32	38-3/32		51-1/2	53-1/2									1-1/8-7NC
CP502	12	019230	65	14-13/32	12-31/32	4-3/8	28-1/2	30-1/2	8-1/4	9-9/16	9-1/2	13/16	..	4	2	3/4	1-1/4-7NC
CP502	18	019231	75	20-13/32	18-31/32		34-1/2	36-1/2									1-1/4-7NC
CP502	24	019232	85	26-13/32	24-31/32		40-1/2	42-1/2									1-1/4-7NC
CP502	30	019233	95	32-13/32	30-31/32		46-1/2	48-1/2									1-1/4-7NC
CP502	36	019234	105	38-13/32	36-31/32		52-1/2	54-1/2									1-1/4-7NC
CP515	12	019240	105	14-23/32	14-15/32	5-1/8	30-1/2	32-1/2	9-1/4	9-3/8	11-5/32	7/8	2	5	4	5/8	1-1/2-6NC
CP515	18	019241	120	20-23/32	20-15/32		36-1/2	38-1/2									1-1/2-6NC
CP515	24	019242	135	26-23/32	26-15/32		42-1/2	44-1/2									1-1/2-6NC
CP515	30	019243	150	32-23/32	32-15/32		48-1/2	50-1/2									1-1/2-6NC
CP515	36	019244	165	38-23/32	38-15/32		54-1/2	56-1/2									1-1/2-6NC
CP613	12	019250	115	15-1/32	-	5-5/8	32	34-1/4	9-7/8	-	12-1/16	15/16	2	5	4	3/4	1-3/4-5NC
CP613	18	019251	135	21-1/32	-		38	40-1/4									1-3/4-5NC
CP613	24	019252	155	27-1/32	-		44	46-1/4									1-3/4-5NC
CP613	30	019253	175	33-1/32	-		50	52-1/4									1-3/4-5NC
CP613	36	019254	195	39-1/32	-		56	58-1/4									1-3/4-5NC
CP810	12	019260	185	16-9/32	-	7	36	38-1/2	12	-	14-3/4	1-3/16	2-1/2	6	4	3/4	2-4-1/2-NC
CP810	18	019261	210	22-9/32	-		42	44-1/2									2-4-1/2-NC
CP810	24	019262	235	28-9/32	-		48	50-1/2									2-4-1/2-NC
CP810	30	019263	260	34-9/32	-		54	56-1/2									2-4-1/2-NC
CP810	36	019264	285	40-9/32	-		60	62-1/2									2-4-1/2-NC
CP908	12	019270	280	17-31/32	-	7-1/2	40-3/4	45-3/4	13-1/2	-	16-1/16	1-1/4	5	9	4	1-1/8	2-4-1/2-NC
CP908	18	019271	310	23-31/32	-		46-3/4	51-3/4									2-4-1/2-NC
CP908	24	019272	340	29-31/32	-		52-3/4	57-3/4									2-4-1/2-NC
CP908	30	019273	370	35-31/32	-		58-3/4	63-3/4									2-4-1/2-NC
CP908	36	019274	400	41-31/32	-		64-3/4	69-3/4									2-4-1/2-NC
CP1004	12	019280	370	18-29/32	-	8-1/8	44-1/2	49-1/2	15-3/8	-	17-5/16	1-1/2	5-1/2	10	4	1-1/8	2-1/4-4-1/2-NC
CP1004	18	019281	400	24-29/32	-		50-1/2	55-1/2									2-1/4-4-1/2-NC
CP1004	24	019282	430	30-29/32	-		56-1/2	61-1/2									2-1/4-4-1/2-NC
CP1004	30	019283	460	36-29/32	-		62-1/2	67-1/2									2-1/4-4-1/2-NC
CP1004	36	019284	490	42-29/32	-		68-1/2	73-1/2									2-1/4-4-1/2-NC

Frame Size	Travel	Frame Part Number	Frame Weight	Travel		Imperial		S2000		Type K		Type E	
				Maximum		L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
				S2 & IP	Type E & K								
CP308	12	019200	30	15-15/32	15-15/32								
CP308	18	019201	34	21-15/32	21-15/32								
CP308	24	010202	38	27-15/32	27-15/32	57/64	1-47/64	53/64	1-45/64	1-1/32	1-1/2	1-1/2	1-1/2
CP308	30	019203	42	33-15/32	33-15/32								
CP308	36	010204	46	39-15/32	39-15/32								
CP400	12	019210	55	14-27/32	14-23/32								
CP400	18	019211	65	20-27/32	20-23/32								
CP400	24	019212	75	26-27/32	26-23/32	53/64	1-03/64	55/64	1-13/16	1-7/32	1-3/4	1-3/4	1-3/4
CP400	30	019213	85	32-27/32	32-23/32								
CP400	36	010214	95	38-27/32	38-23/32								
CP408	12	019220	61	14-5/32	14-3/32								
CP408	18	010221	71	20-5/32	20-3/32								
CP408	24	019222	81	26-5/32	26-3/32	59/64	2-7/64	29/32	1-63/64	1-9/32	1-7/8	1-7/8	1-7/8
CP408	30	019223	85	32-5/32	32-3/32								
CP408	36	019224	95	38-5/32	38-3/32								
CP502	12	019230	65	14-13/32	12-31/32								
CP502	18	019231	75	20-13/32	18-31/32								
CP502	24	019232	85	26-13/32	24-31/32	1-13/64	2-1/32	1-13/64	2	1-5/8	2	2	2
CP502	30	019233	95	32-13/32	30-31/32								
CP502	36	019234	105	38-13/32	36-31/32								
CP515	12	019240	105	14-23/32	14-15/32								
CP515	18	019241	120	20-23/32	20-15/32								
CP515	24	019242	135	26-23/32	26-15/32	1-7/32	2-9/32	1-3/16	2-13/32	1-5/8	2-1/4	2-1/4	2-1/4
CP515	30	019243	150	32-23/32	32-15/32								
CP515	36	019244	165	38-23/32	38-15/32								
CP613	12	019250	115	15-1/32	-								
CP613	18	019251	135	21-1/32	-	1-15/32	2-11/16	1-31/64	2-33/64	-	-	-	-
CP613	24	019252	155	27-1/32	-								
CP613	30	019253	175	33-1/32	-								
CP613	36	019254	195	39-1/32	-								
CP810	12	019260	185	16-9/32	-								
CP810	18	019261	210	22-9/32	-	1-21/32	3-3/64	1-39/64	2-55/64	-	-	-	-
CP810	24	019262	235	28-9/32	-								
CP810	30	019263	260	34-9/32	-								
CP810	36	019264	285	40-9/32	-								
CP908	12	019270	280	17-31/32	-								
CP908	18	019271	310	23-31/32	-								
CP908	24	019272	340	29-31/32	-			3-1/16	3-15/32	-	-	-	-
CP908	30	019273	370	35-31/32	-								
CP908	36	019274	400	41-31/32	-								
CP1004	12	019280	370	18-29/32	-								
CP1004	18	019281	400	24-29/32	-								
CP1004	24	019282	430	30-29/32	-			3-17/64	3-41/64	-	-	-	-
CP1004	30	019283	460	36-29/32	-								
CP1004	36	019284	490	42-29/32	-								

Referencia: DODGE, Take-up Frames and Base Plates catalog

APÉNDICE X

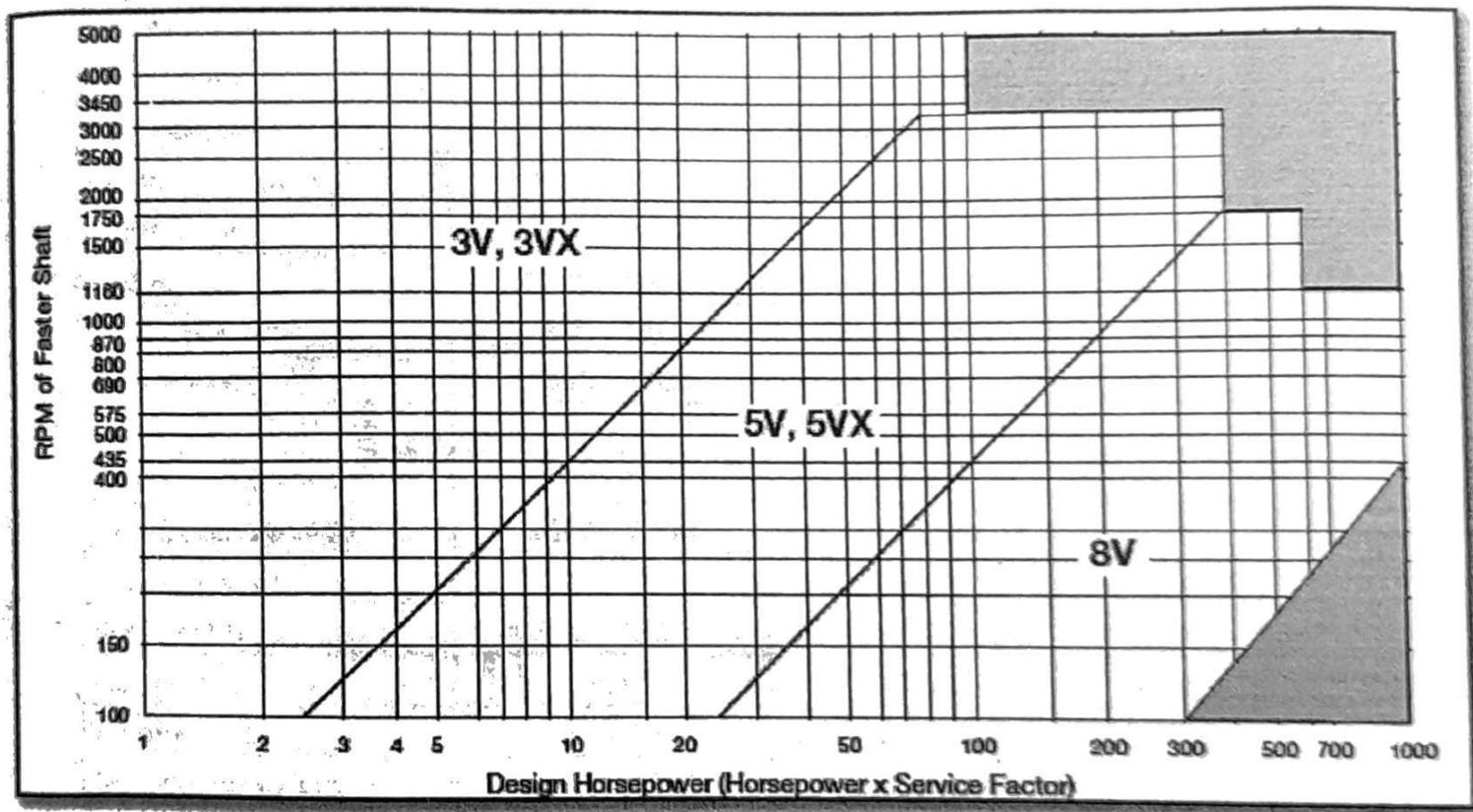
Backstop Size	Torque lb-ft	Speed Range		Bore *		A	B	C <sup>a</sup>	D	E	F	G	H	J	K	L	W	X	Y	O	P <sup>b</sup>	Torque Arm Fasteners †	Wt ‡ lb
		Min	Max	Min	Max																		
1055	4,400	320	2,100	1.75	3.75	9.75	8.14	7.50	1.125	2.00	36.00	8.50	0.625	4.00	4.00	1.25	0.63	6.53	0.48	42.88	5.50	(8) 7/2-20 X 2 1/8" LG	157
1065	8,400	250	1,800	2.50	4.50	10.50	8.64	8.00	1.125	2.00	36.00	9.25	0.625	4.00	4.00	1.25	0.63	7.03	0.48	43.25	5.88	(8) 7/2-20 X 2 1/8" LG	190

Backstop Size	Torque Rating lb-ft	Max rpm	Bore *		A	B	C <sup>a</sup>	D <sup>+</sup>	E	F	G	H	J	K	L	W	X	Y	O	P <sup>b</sup>	Torque Arm Fasteners †	Wt ‡ lb
			Min	Max																		
1045	2,100	1,800	1.75	2.50	6.50	4.19	3.50	0.656	1.25	7.00	5.75	0.375	2.50	1.50	0.78	0.72	3.38	0.06	11.50	2.62	(8) 3/8-24 X 1 1/8" LG	29
1055	10,000	500	1.75	3.75	9.75	8.14	7.50	1.125	2.00	36.00	8.50	0.625	4.00	4.00	1.25	0.63	6.53	0.48	42.88	5.50	(8) 7/2-20 X 2 1/8" LG	157
1065	13,000	400	2.50	4.50	10.50	8.64	8.00	1.125	2.00	36.00	9.25	0.625	4.00	4.00	1.25	0.63	7.03	0.48	43.25	5.88	(8) 7/2-20 X 2 1/8" LG	190
1085	18,000	350	3.94	5.44	12.00	8.52	7.63	1.250	3.00	51.00	10.00	0.750	6.00	10.00	N/A	N/A	6.63	0.50	60.00	5.88	(10) 5/8-33 X 1 1/2" LG	250

Referencia: REXNORD, Falk True Hold Low Speed Backstops.

## APÉNDICE Y

Carta de Selección de la Sección Transversal de la Correa



Referencia: MARTIN, SPROCKET & GEAR INC. Catálogo

# APÉNDICE Z

## Selección del Tipo de Elevador de Cangilones

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Banda / Cadena	Tipo de elevador
Cenizas /Carbón	700 - 800	Banda / Cadena	DC,DG
Bauxita, triturada y seca	1200 - 1350	Banda / Cadena	DC,DG
Cemento Pórtland	1000	Banda / Cadena	DC
Cemento Clinker	1200-1400	Cadena	DC,DG
Carbón Fósil	860	Banda / Cadena	DC,DG
Arcilla Seca	1600 - 1920	Banda / Cadena	DC,DG
Coque Suelto	370 - 510	Banda / Cadena	DC
Coque Petróleo	560 - 720	Cadena	DC
Dolomita	1400 - 1600	Banda / Cadena	DC,DG
Arena de Fundición	1400 - 1600	Cadena	DC
Feldespatos molidos	1000 - 1200	Banda / Cadena	DC,DG
Yeso calcinado	880 - 960	Cadena	DC,DG
Yeso en Polvo	960 - 1280	Banda / Cadena	DC,DG
Cal molido	960	Cadena	DC,DG
Piedra caliza	1360 - 1440	Banda / Cadena	DC,DG
Mármol triturado	1400 - 1520	Cadena	DG
Arena fosfática	1440 - 1600	Banda / Cadena	DC,DG
Cuarzo pulverizado	1760	Cadena	DC,DG
Harina cruda	800 - 1000	Banda / Cadena	DC,DG
Arroz molido	670 - 720	Banda / Cadena	DC
Arena Seca	1440 - 1600	Banda / Cadena	DC
Ceniza de sosa pesada	800 - 1000	Cadena	DC,DG
Azufre en polvo	800 - 950	Banda / Cadena	DC,DG
Azúcar crudo	800 - 1040	Banda / Cadena	DC
Azúcar refinado	800 - 880	Banda / Cadena	DC
Urea	650	Banda / Cadena	DC,DG
Trigo partido	640 - 720	Banda / Cadena	DC
Óxido de Zinc	160 - 580	Cadena	DC,DG

DC: Elevador de descarga centrífuga

DG: Elevador de descarga por gravedad

Referencia: Norma UNE 58-222-87

## Selección de Velocidad y coeficiente de llenado

Características del Material	Material	Tipo de Elevador	Coefficiente de llenado	Velocidad (m/s)
Pulverulento	Polvo de carbón	Baja Velocidad Descarga por gravedad	0,85	0,6 - 0,8
	Cemento, yeso, fosfatos, fertilizantes, etc	Alta Velocidad Descarga Centrifuga	0,75	1,25 - 1,8
Granular y con pequeños trozos (inferiores a 60 mm), medianamente abrasivos	Serrín, arcilla seca en trozos, carbón	Alta Velocidad Descarga Centrifuga	0,75 - 0,85	1,25 - 2
Muy abrasivos	Grava mineral	Baja Velocidad Descarga por gravedad	0,75 - 0,85	0,8 - 1
	Arena, ceniza, tierra	Alta Velocidad Descarga Centrifuga	0,7 - 0,8	1,6 - ,8
Polvorientes en granos, húmedo	Tierra, arena húmeda, yeso polvoriento, húmedo	Alta Velocidad Descarga Centrifuga	0,4 - 0,6	1,25 - 1,8
	Muchos productos químicos	Baja Velocidad Descarga por gravedad	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8

Referencia: DUNLOP, CONVEYOR BELT TECHNIQUE DESIGN AND CALCULATION<sup>[50]</sup> y Norma UNE 58-222-87<sup>[49]</sup>

## Espaciamiento entre Cangilones

Espaciamiento mm	Velocidad de Transporte (m/s)							
	1.06	1.16	1.29	1.25	1.39	1.56	1.72	1.87
	Capacidad m3/h							
280	53							
560	27							
280	65							
560	33							
305		93	104					
610		47	52					
280	74							
560	37							
305		104	116					
610		52	58					
280	83							
560	42							
305		118	131					
610		59	65					
280	106							
560	53							
305		149	166					
610		75	83					
356				212	236	265	292	318
305		168	187					
356				239	266	298	329	357
356				265	295	331	365	397
356				297	330	371	409	444
356				334	371	416	459	499
356				377	419	470	518	564
356				425	472	530	584	635
356				478	531	596	657	715
356				530	589	661	729	792
356				583	648	727	802	872

Referencia: AUMUND Foerdertechnik GmbH, Bucket Elevator <sup>[51]</sup>

## Selección de Cadena simple para Transporte

Rex Chain No.	Style	Average Pitch, Inches	Rated Working Load, Lbs.	Recommended Maximum R.P.M. for 12 T. Spl. Ⓞ	Minimum Ultimate Strength, Lbs. x 10 <sup>3</sup>	Average Weight Lbs./Ft.	Dimensions in Inches			
							Over-All Pin & Cotter	Between Sidebars	Sidebars	
									Thickness	Height
A	K	T	F							
<b>8.000-INCH PITCH</b>										
A2800	R	8.000	9,800	26	94	26.2	4.71	1.81	.50	2.75
<b>9.000-INCH PITCH</b>										
1039	K	9.000	4,650	22	24	4.3	3.50	1.50	.31	1.50
ER911	R	9.000	4,650	22	33	8.5	3.45	1.50	.31	2.00
ER922	R	9.000	7,200	22	34	12.0	4.28	2.00	.38	2.00
FR922	T	9.000	7,200	22	34	12.5	4.28	2.00	.38	2.00
R2342	K	9.000	9,000	22	54	9.2	4.80	1.94	.50	2.00
R2405	K	9.000	9,000	22	88	9.7	4.80	1.94	.50	2.13
ER933	R	9.000	9,200	22	53	15.6	4.72	2.25	.38	2.50
FR933	T	9.000	9,200	22	48	16.5	4.61	2.25	.38	2.50
R4009Ⓞ	R	9.000	9,200	22	67	14.7	4.60	2.25	.38	2.50
X4004Ⓞ	R	9.000	12,700	22	65	18.5	5.69	2.63	.50	2.50
4065Ⓞ	R	9.000	18,900	22	148	36.2	6.52	3.06	.63	3.50

Referencia: REXNORD AND LINK-BELT CONVEYOR, Elevator and Drive Chains Catalog

## Dimensiones de Cadena simple para Transporte

Rex Chain No.	Dimensions in Inches and Specifications								Sprocket Unit No. Ⓞ
	Pins		Rollers			Bushings			
	Diam.	Properties	Face Width	Outside Diam.	Style	Properties	Length	Outside Diam.	
	G		E	H			D	I	
<b>8.000-INCH PITCH</b>									
A2800	1.00	CIH	1.50	3.50	A	CARB	2.81	1.50	2800
<b>9.000-INCH PITCH</b>									
1039	.63	CARB	1.45	1.25	A	TH	2.13	.88	1039
ER911	.63	CARB	1.31	3.00	A	WI	2.13	.88	E911
ER922	.75	TH	1.63	3.50	A	WI	2.75	1.13	E922
FR922	.75	TH	1.25	3.50	B	WI	2.75	1.13	F922
R2342	.88	CIH	1.90	1.75	A	CARB	2.94	1.25	2342
R2405	.88	TH	1.88	1.75	A	CARB	2.94	1.25	2342
ER933	.88	TH	1.75	4.00	E	WI	3.00	1.25	E933
FR933	.88	TH	1.50	4.00	D	WI	3.00	1.25	F933
R4009Ⓞ	.88	CIH	2.13	3.00	A	TH	3.00	1.25	4009
X4004Ⓞ	1.00	CIH	2.50	3.00	A	CARB	3.63	1.50	4004
4065Ⓞ	1.25	CIH	2.90	4.25	A	CARB	4.31	2.00	4065

## Selección del Sistema de Unión

### Centrifugal Elevator Chain Attachments

Chain Number	Attachment Style	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	T	Weight*
ER856	K24	7.25	1.75	1.88	0.69	2.50	9.38		6.91			0.50	27.5
		184	44.5	47.8	17.5	63.5	238		176			13	40.9
ER958	K24	7.25	1.75	1.88	0.69	2.50	9.38		6.91			0.50	29
		184	44.5	47.8	17.5	63.5	241		176			13	43.2
ER857	K44	7.00	1.25	2.50	0.56	3.50	14.00	12.00	5.50	1.25	3.50	0.50	38
		178	32	64	14	89	356	305	140	31.8	88.9	12.7	56.5
ER859		9.00	1.62	3.00	0.69	2.75	15.00	13.00	5.92	0.75	4.50	0.62	59
	229	41.1	76.2	17.5	69.9	381	330	150	19.1	114	15.7	87.8	
ER958	K44	7.00	1.25	2.50	0.56	3.50	13.68	12.00	5.75	1.25	3.50	0.50	40
		178	31.8	63.5	14.2	88.9	347	305	146	31.8	88.9	12.7	59.5
ER864	K443	9.00	1.62	3.00	0.69	3.75	15.00	13.00	7.00	0.75	5.50	0.62	55
		229	41.1	76.2	17.5	95.3	381	330	178	19.1	140	15.7	81.8
ER984	K443	9.00	1.62	3.00	0.69	3.75	14.88	13.00	7.32	0.75	5.50	0.62	58
		229	41.1	76.2	17.5	95.3	378	330	178	19.1	140	15.7	86.3
ER1084	K2	13.00	0.75	3.00	0.69	5.50	15.00					0.50	51.5
		330	19.1	76.2	17.5	139.7	391					12.7	76.7
ER856	K3	6.56	1.63	1.88	0.50	1.38	13.56	10.94	4.25			0.50	26.9
		167	41.4	47.8	12.7	35.1	344	278	108			13	40
ER856	K35	7.25	1.75	1.88	0.69	1.25	13.50	11.75	5.88			0.50	26.9
		184	44.5	47.8	17.5	31.8	343	298	149			13	40

Referencia: REXNORD, Elevator and Drag Chains / Cement Industry  
Chains and Accessories.

## Selección del sistema de unión

Ret Chain No.	Link-Bolt Chain No.	A	B	C	D <sup>(1)</sup>		E	F	G	H	J	K	T	Wgt. Per Foot
					Bolt Dia.	Bolt Hole								
<b>10 HOLES - K443</b>														
ER854 <sup>(1)</sup>		9.00	1.63	3.00	5/8	.69	3.75	15.00	13.00	7.00	.75	5.50	.63	55.0
ER984		9.00	1.62	3.00	5/8	.69	3.75	14.88	13.00	7.32	.75	5.50	.62	58.0
<b>K443</b>														
	<b>SBX 2864</b>	9.00	1.63	3.00	5/8	.69	3.75	15.04	13.00	6.88	.75	5.50	.63	58.7
<b>M2</b>														
C9856		Refer to Drawing for Dimensions												
<b>M6/M06</b>														
270		.88	1.31	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	6.4
1536		1.11	1.53	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	8.7
7774		.88	1.30	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	6.8
<b>M14</b>														
1036		1.39	3.00	-	9/16 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	4.7
1039		1.39	4.50	-	9/16 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	4.2
R2342		2.00	4.50	-	3/4 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.0
RR2397		1.90	6.00	-	7/8 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.3
R2405		2.00	4.50	-	7/8 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.4
R2614		2.66	6.00	-	1 1/4 <sup>(2)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	23.4

**All attachments are thru-hardened.**

<sup>(1)</sup> All holes round and straight

## Selección del sistema de unión

Ret Chain No.	Link-Belt Chain No.	A	B	C	D <sup>(1)</sup>		E	F	G	H	J	K	T	Wgt. Per Foot
					Bolt Dia.	Bolt Hole								
<b>10 HOLES - K443</b>														
ER864 <sup>(1)</sup>		9.00	1.63	3.00	5/8	.69	3.75	15.00	13.00	7.00	.75	5.50	.63	55.0
ER984		9.00	1.62	3.00	5/8	.69	3.75	14.88	13.00	7.32	.75	5.50	.62	58.0
<b>K443</b>														
	<b>SBX 2864</b>	9.00	1.63	3.00	5/8	.69	3.75	15.04	13.00	6.88	.75	5.50	.63	56.7
<b>M2</b>														
<b>C9856</b>		Refer to Drawing for Dimensions												
<b>M6/M06</b>														
<b>270</b>		.88	1.31	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	6.4
<b>1536</b>		1.11	1.53	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	8.7
<b>7774</b>		.88	1.30	-	21/32	Slots	1.28	-	-	-	-	-	-	6.8
<b>M14</b>														
<b>1036</b>		1.39	3.00	-	9/16 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	4.7
<b>1039</b>		1.39	4.50	-	9/16 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	4.2
<b>R2342</b>		2.00	4.50	-	3/4 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.0
<b>RR2397</b>		1.90	6.00	-	7/8 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.3
<b>R2405</b>		2.00	4.50	-	7/8 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	9.4
<b>R2614</b>		2.66	6.00	-	1 1/8 <sup>(1)</sup>	Slots	-	-	-	-	-	-	-	23.4

**All attachments are thru-hardened.**

<sup>(1)</sup> All holes round and straight

## Selección del Ancho de la Rueda de Tracción

Sprocket Unit No.	Plate Width Inches	Sprocket Unit No.	Plate Width Inches	Sprocket Unit No.	Plate Width Inches
4	.63	698 <sup>o</sup>	1.25	X1365	2.75
6SP	1.13	710	2.25	1535	1.00
25 <sup>o</sup>	.38	720S <sup>o</sup>	1.13	1536	1.25
32 <sup>o</sup>	.50	CS720S <sup>o</sup>	1.13	E1537	1.25
34	.50	A730 <sup>o</sup>	1.13	1568	1.25
42 <sup>o</sup>	.56	CS730 <sup>o</sup>	1.13	1604	.88
45 <sup>o</sup>	.63	823 <sup>o</sup>	1.13	1654	2.00
51 <sup>o</sup>	.56	825 <sup>o</sup>	1.25	E1822	1.75
S51 <sup>o</sup>	.56	830 <sup>o</sup>	1.25	F1822	1.00
52 <sup>o</sup>	.63	833	2.25	F1833	1.25
55 <sup>o</sup>	.63	844 <sup>o</sup>	2.25	E1836	2.00
57	.63	847	1.75	F1844	1.50
D60 <sup>o</sup>	.88	RO850	2.00	F1855	1.50
H60	.63	SX850	2.00	1903	3.00
RS60	1.12	856	2.75	2047	1.25
62 <sup>o</sup>	.75	859	3.25	2064	2.25
64S <sup>o</sup>	1.25	KS860	1.75	2111	1.25
67 <sup>o</sup>	.63	864	3.25	2113	1.12
78 <sup>o</sup>	.88	SX877	2.50	2124 <sup>o</sup>	1.25
H78 <sup>o</sup>	1.00	SX886	2.25	2136	1.75
102B <sup>o</sup>	1.75	E922	1.75	2180 <sup>o</sup>	1.13
102-1/2 <sup>o</sup>	1.75	E911	1.25	F2183	1.00
103 <sup>o</sup>	1.13	F922 <sup>o</sup>	1.13	2198	1.25
106	1.75	E928	1.75	2231	.63
110 <sup>o</sup>	1.75	E933	2.00	2236	1.75
111SP	2.25	F933 <sup>o</sup>	1.25	2342 <sup>o</sup>	1.50
111 <sup>o</sup>	2.25	S951	1.00	2348 <sup>o</sup>	1.25
114	1.13	952 <sup>o</sup>	.63	2397	1.75
119 <sup>o</sup>	3.50	953	1.25	2405	1.50
SM120 <sup>o</sup>	.75	958	2.75	2452	2.50
H124 <sup>o</sup>	1.50	984	3.50	2590	2.50
130 <sup>o</sup>	1.00	998 <sup>o</sup>	1.25	2614	2.25
131T <sup>o</sup>	1.50	1030	1.25	2800	1.50
132 <sup>o</sup>	2.75	1036	1.25	2804	3.00
R133	1.25	1039 <sup>o</sup>	1.50	2806	4.00
152	.75	1112	.88	2848	1.75
183 <sup>o</sup>	.75	1113 <sup>o</sup>	1.13	2858	1.75
SX175	2.75	1120 <sup>o</sup>	.75	2868	1.75
183 <sup>o</sup>	.75	1124	.88	RF3007	.63
188	1.00	1131 <sup>o</sup>	1.25	RF3011	.88
194 <sup>o</sup>	1.00	1204	2.00	3112	1.00
196 <sup>o</sup>	1.00	1207	2.25	3125	1.25
197 <sup>o</sup>	1.13	E1211	1.25	D3125	1.25
238	1.25	E1222	1.75	3285	1.75
270	1.00	F1222 <sup>o</sup>	1.00	3433	1.75
303	.38	F1232	1.25	4004	2.25
X345	1.75	E1233	2.00	4005	1.13
348 <sup>o</sup>	.63	F1233	1.25	RF4007	.63
458 <sup>o</sup>	.88	1240	1.75	4009	1.75
468 <sup>o</sup>	1.50	E1244	2.25	4010	2.75
501	.75	FR1244	1.50	4011	2.00
506	.75	1251	1.75	RF4011	.88
508	.88	1301	2.50	4038	1.25
514	1.25	RO1305	2.25	4539	1.25
520	.88	1306	2.50	4855	2.25
A622	.75	1307	2.75	5157	2.75
S521	1.25	A1309	2.75	5208	1.75
531 <sup>o</sup>	1.13	X1311	2.75	6065	2.50
CA550	.63	AX1338	1.25	6121	3.50
568	1.25	X1343	1.50	6826	2.00
584	1.50	X1345	1.50	7539	1.25
589	1.13	X1351	1.75	8755	2.75
CA620	.88	X1353	2.00	9118	1.75
635	1.75	RO1355	2.25	9250 <sup>o</sup>	.75
678 <sup>o</sup>	1.13	RO1356	2.50	9856	2.50

Referencia: REXNORD AND LINK-BELT CONVEYOR, Elevator and Drive  
Chains Catalog

## Selección del Cubo de la Rueda de Tracción

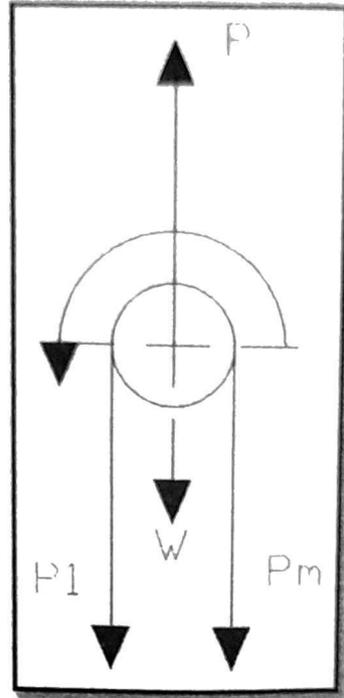
Bore <sup>①</sup> Diameter	Hub <sup>②</sup> Letter	Maximum <sup>③</sup> Torque	Hub Diameter	Length <sup>④</sup>	Weight <sup>⑤</sup>
1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	B	1.0	2.50	1.50	1.0
1 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	C	2.0	2.50	1.50	1.0
1 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	D	3.5	2.50	1.50	2.7
1 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	E	5.6	3.00	1.50	3.7
1 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	F	8.5	3.00	1.50	3.7
2 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	G	12.5	3.50	2.00	6.0
2 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	H	17.0	4.50	2.00	10.0
2 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	I	23.0	4.50	2.00	10.0
2 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	J	30.0	4.50	2.00	10.0
3 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	K	38.0	5.25	3.00	20.0
3 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	L	47.0	5.25	3.00	20.0
3 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	M	60.0	6.00	3.00	26.0
3 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	N	70.0	6.00	3.00	26.0
4 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	O	100.0	7.25	4.00	46.0
4 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	-	120.0	7.25	4.00	46.0
4 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	P	140.0	7.25	4.00	46.0
5 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	Q	190.0	8.75	5.00	85.0
5 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	R	245.0	8.75	5.00	85.0
6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	S	320.0	9.50	6.50	115.7

Referencia: REXNORD AND LINK-BELT CONVEYOR, Elevator and Drive Chains  
Catalog

## Cálculo de Fuerzas resultantes en EC-1

Resultante en la Rueda Motriz:

En la ecuación 1 se calcula la resultante en la rueda motriz:



**Figura 1 Diagrama de Fuerzas Rueda de Tracción Motriz**

Donde:

$R$  = Es la resultante kN

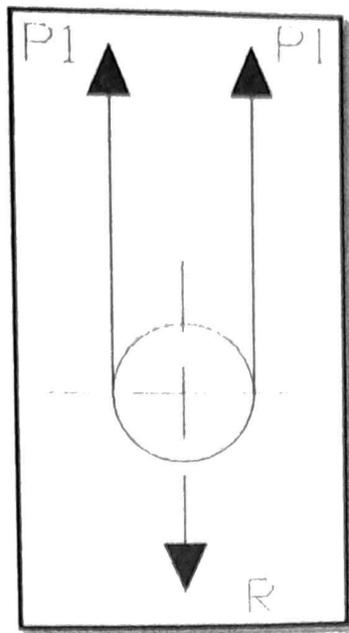
$P_m$  = Tensión producida por las partes móviles, peso de accesorios, cadenas y cangilones 65.7 kN

$P_1$  = Tensión del lado flojo 31.8 kN

$W$  = Peso 0.6 kN

**Resultante en la Rueda Motriz:**

En la ecuación 2 se calcula la resultante en la rueda de cola:



**Figura 2 Diagrama de Fuerzas Rueda de Tracción de Cola**

Donde:

**R = Es la resultante kN**

**P1 = Tensión necesaria para el lado Flojo 31.8 kN**

**Cálculo del diámetro de los ejes del Tambor**

Por medio de la norma CEMA – ANSI B105.1 se procede al cálculo del diámetro de los ejes:

Por medio de la Fórmula:

$$\frac{M}{S_r} + \frac{T}{S_t} = \frac{\pi}{32} d^3$$

Donde:

**F.S.= Factor de Seguridad, seleccionamos un factor de 3**

**M = Momento Flector, lbs-pulg.**

**S<sub>r</sub> = Factor corregido de fatiga.**

**T = Momento Torsor, lbs-pulg.**

Se tiene la siguiente fórmula para el momento torsor:

$$M = \frac{R \times A}{2} \quad \text{ec. 3.1}$$

Donde:

R = Es la Fuerza resultante que actúa en la polea, lbs.

A = Brazo flector de la polea, in.

Se tiene la siguiente Fórmula para el Factor corregido

$$S_f = k_a k_b k_c k_d k_e k_f k_g S_f^* \quad \text{ec. 3.2}$$

Donde:

$K_a$  = Factor superficial = 0.8 para eje mecanizado.

$K_b$  = Factor de Tamaño =  $(D)^{-0.19}$

$K_c$  = Factor de confiabilidad 0.897

$K_d$  = Factor de Temperatura = 1.0 para temperaturas de -70 a + 400°F

$K_e$  = Factor de ciclo de servicio = 1.0

$K_f$  = Factor de concentración de esfuerzo de fatiga =

0.63 para acero (BHN<200) con chaveta perfilada

0.77 para acero (BHN<200) con chaveta corrediza

0.50 para acero (BHN>200) con chaveta perfilada

0.63 para acero (BHN>200) con chaveta corrediza

El acero AISI C1045 es considerado debajo de 200 BHN con chaveta perfilada por lo que se escoge el factor 0.63.

$K_g$  = Factor mixto = 1.0 para servicio normal del transportador

$S_f^*$  = 0.5 esfuerzo ultimo de tensión tabulado, para el acero AISI C1045 es 41000 PSI.

Se tiene  $S_y$ , es el esfuerzo de fluencia que para el acero AISI C1045 es 45000 PSI.

Se tiene la siguiente Fórmula para el momento torsor, lbs-pulg:

$$T = \frac{HP * 63000}{(RPM)} \quad \text{ec. 3.3}$$

Donde:

HP = Potencia calculada de 67.6 Hp

RPM = Velocidad de la rueda motriz 32 RPM

El Diagrama de Fuerzas Para todas los Ejes es:

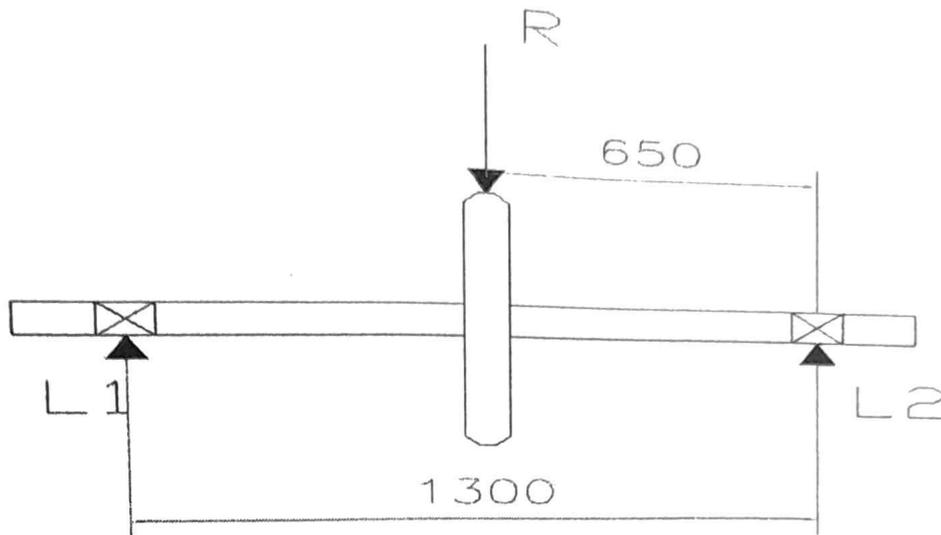


Figura 3 Diagrama de Fuerzas en el eje de los Tambores

### Rueda Motriz

De la Ecuación 3.3 tenemos:

$$T = \frac{67.6 * 63000}{(32)} = 133100 \text{ lbs} - \text{in}$$

De la Ecuación 3.1 se tiene:

$$M = \frac{RxA}{2} = \frac{22052.9 * 30}{2} = 330793.5 \text{ lbs.in}$$

De la Ecuación 3.2 tenemos:

$$K_b = (5.44)^{-0.19} = 0.73$$

$$S_f = 0.8 * 0.74 * 0.897 * 1 * 1 * 0.63 * 1 * 41000 = 13531 \text{ PSI}$$

De la Ecuación 3 se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{330793.5}{13531}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{133100}{45000}\right)^2}} = 7.9 \text{ in}$$

Se tiene un diámetro de 7.9 in se escoge un valor estándar de 8 in (200 mm).

### Rueda de Cola

De la Ecuación 3.1 se tiene:

$$M = \frac{RxA}{2} = \frac{282918 * 30}{2} = 4243770 \text{ lbs.in}$$

De la Ecuación 3.2 tenemos:

$$K_b = (5.44)^{-0.19} = 0.73$$

$$S_f = 0.8 * 0.74 * 0.897 * 1 * 1 * 0.63 * 1 * 41000 = 13531 \text{ PSI}$$

De la Ecuación 3 se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 2}{\pi} * \frac{4243770}{13531}} = 18.6 \text{ in}$$

Se tiene un valor de 18.6 in, se selecciona un valor estándar de 19 in (470 mm)

### **Cálculo de la Carga Dinámica para los Rodamientos**

Se tiene la ecuación 8 para el cálculo de la carga dinámica:

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 * W_t} \left(\frac{C_d}{P_d}\right)^3 \quad \text{ec. 5}$$

Donde:

$L_{10h}$  = Vida nominal en horas de servicio, 30000 horas.

$W_t$  = RPM del tambor

$P_d$  = Fuerza resultante. (N)

$C_d$  = Carga dinámica. (N)

Exponente 3 para rodamientos de bolas.

De la Ecuación 8 se tiene:

$$C_d = P_d * \sqrt[3]{1.8 * W_t}$$

### Rueda Motriz

Donde la Fuerza resultante es:

$$P_d = \frac{98.1}{2} = 49.1 \text{ kN}$$

Los RPM de la rueda:

$$W_t = 32 \text{ RPM}$$

De la Ecuación 5 tenemos:

$$C_d = 49.1 \sqrt[3]{1.8 * 32} = 189.6 \text{ kN}$$

Se lo multiplica por un factor de seguridad de 2 y obtenemos un valor de 379.2 kN.

### Rueda de Cola

Donde la Fuerza resultante es:

$$P_d = \frac{63.6}{2} = 31.8 \text{ kN}$$

Los RPM de la rueda:

$$W_t = 32 \text{ RPM}$$

De la Ecuación 8 tenemos:

$$C_d = 31.8 * \sqrt[3]{1.8 * 32} = 122.81 \text{ kN}$$

Se lo multiplica por un factor de seguridad de 2 y obtenemos un valor de 245.62 kN.

## Selección del Reductor tipo B3

in	n1	n2	Tipo de Unidad reductora										
			504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514
<b>31.5</b>	1800	57	42	68	99	127	165	212	277	357	476	595	720
	1500	48	35	57	82	106	137	177	231	297	397	496	600
	1200	38	28	46	66	85	110	141	185	238	317	397	480
	1000	32	23	38	55	70	91	118	154	198	265	330	400
<b>35.5</b>	1800	51	37	63	86	116	149	192	245	334	413	548	658
	1500	42	31	52	72	96	124	160	204	278	344	457	548
	1200	34	25	42	57	77	99	128	163	222	275	366	439
	1000	28	21	35	48	64	83	107	136	185	229	305	366
<b>40</b>	1800	45	34	55	79	103	132	172	220	298	368	480	576
	1500	38	28	46	66	85	110	144	183	248	307	400	480
	1200	30	23	37	53	68	88	115	147	199	246	320	384
	1000	25	19	31	44	57	73	96	122	166	205	267	320
<b>45</b>	1800	40	30	49	69	90	120	150	199	261	345	428	531
	1500	33	25	41	57	75	100	125	166	217	287	357	443
	1200	27	20	33	46	60	80	100	133	174	230	285	354
	1000	22	17	27	38	50	67	83	111	145	191	238	295
<b>50</b>	1800	36	26	43	64	80	106	135	179	233	308	375	465
	1500	30	22	36	53	67	89	112	149	194	256	313	387
	1200	24	18	29	42	53	71	90	119	155	205	250	310
	1000	20	15	24	35	45	59	75	99	129	171	208	258
<b>56</b>	1800	32	24	39	56	73	94	122	156	211	269	340	415
	1500	27	20	33	46	60	78	102	130	176	224	284	346
	1200	18	16	26	37	48	62	81	104	141	179	227	277
	1000	29	13	22	31	40	52	68	86	117	150	189	230
<b>63</b>	1800	24	21	-	50	-	83	-	140	-	240	-	363
	1500	19	18	-	41	-	69	-	116	-	200	-	303
	1200	16	14	-	33	-	55	-	93	-	160	-	242
	1000	25	12	-	28	-	46	-	78	-	134	-	202
<b>71</b>	1800	21	-	-	44	-	75	-	127	-	218	-	329
	1500	17	-	-	36	-	63	-	106	-	182	-	275
	1200	14	-	-	29	-	50	-	84	-	145	-	220
	1000	23	-	-	24	-	42	-	70	-	121	-	183
<b>80</b>	1800	19	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-
	1500	15	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-
	1200	13	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-
	1000	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-

Referencia: FLENDER SIG, Standard Industrial gear unit Catalog MD30.1 – 2011

## APÉNDICE AA

Tamaño de Producto	Tipo de Malla y Forma de la Abertura			
	Metálica/cuadrada	Metálica/rectangular (1/3)	Plástico, goma, Placa de acero/cuadrada	Plástico, goma, Placa de acero/rectangular (1/3)
mm	mm	mm	mm	mm
4	5	3x9	7	4x12
5	6.5	4x12	8.5	5x15
6	8	5x15	9.5	6x18
8	10	6x18	12	8x24
10	12.5	8x24	14.5	10x30
12	15	9.4x30	17	12x36
14	17	11x33	19	14x42
16	19	12x36	21.5	16.5x50
18	21	13.5x40	23.5	18.5x58
20	23	15x45	25.5	21x60
22	25	16.5x50	27	22x65
28	32.5	21x63	36.5	28x85
30	35	22.5x70	39	31x90
32	37		41	
34	40		44	
36	42		48	
40	46		50	
44	51		55	
64	75		80	
68	80		85	
72	84		90	
76	88		94	
80	94		100	
84	98		105	
88	103		110	
92	107		115	
100	117		125	

Referencia: Selection Guideline, Metso Opti-Flo Range <sup>[56]</sup>

Tamices ASTM E-11/87

DESIGNACIÓN TAMIZ		Abertura nominal del tamiz (pulg)	Variación permisible respecto a la abertura promedio de la designación del tamiz standard mm	Tamaño máximo de abertura para no más de 5% de aberturas mm	Máxima abertura individual mm	Diámetro Nominal del alambre mm
Standard mm	Alternativa					
100	4	4	3	100	100.8	6.3
90	3.5	3.5	2.7	93.6	94.4	6.08
80	3	3	2.2	80.1	80.7	6.8
50	2	2	1.5	52.1	52.6	5.05
13.2	0.53	0.53	0.41	13.83	14.05	2.75
12.5	1/2	0.5	0.39	13.1	13.31	2.67
9.5	3/8	0.375	0.3	9.97	10.16	2.27
8	5/16	0.312	0.25	8.41	8.58	2.07
6.7	0.265	0.265	0.21	7.05	7.2	1.87
6.3	1/4	0.25	0.2	6.64	6.78	1.82
5.8	No. 3 1/2	0.223	0.18	5.9	6.04	1.68
4.75	No. 4	0.187	0.15	6.02	5.14	1.54
4	No. 5	0.157	0.163	4.23	4.35	1.37
3.35	No. 6	0.132	0.11	3.55	3.66	1.23
2.8	No. 7	0.111	0.095	2.975	3.07	1.1
2.36	No. 8	0.0937	0.08	2.515	2.6	1
2	No. 10	0.0787	0.07	2.135	2.215	0.9
1.7	No. 12	0.0661	0.06	1.82	1.89	0.81
1.4	No. 14	0.0555	0.05	1.505	1.565	0.725
1.18	No. 16	0.0469	0.045	1.27	1.33	0.65
1	No. 18	0.0394	0.04	1.08	1.135	0.58

Referencia: ASTM E 11-87 Permissible Variations for Wire Cloth of Standard Test Sieves (U.S.A.) Standard Series. <sup>[57]</sup>

## APÉNDICE BB

### Esfuerzos en la Tolva de Puzolana

Z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0	0	0	0
1	7406.35	2029.34	1091.79
1.5	10794.44	2957.68	1591.23
2	13988.43	3832.83	2062.06
2.5	16999.45	4657.85	2505.92
3	19837.97	5435.60	2924.35
3.5	22513.88	6168.80	3318.82
4	25036.49	6860.00	3690.68
4.5	27414.60	7511.60	4041.24
5	29656.46	8125.87	4371.72
5.5	31769.89	8704.95	4683.26
6	33762.26	9250.86	4976.96
6.5	35640.48	9765.49	5253.83
7	37411.10	10250.64	5514.85
7.5	39080.29	10708.00	5760.90
8	40653.86	11139.16	5992.87
8.5	42137.28	11545.62	6211.54
9	43535.72	11928.79	6417.69
9.5	44854.05	12290.01	6612.02
10	46096.85	12630.54	6795.23
10.5	47268.46	12951.56	6967.94
11	48372.94	13254.19	7130.75
12	29722.01	49046.35	26386.94
12.5	22301.23	44001.27	23672.68
13	16019.83	38956.19	20958.43
13.5	10780.03	33911.10	18244.17
14	6467.70	28866.02	15529.92
14.5	2941.65	23820.93	12815.66
15	0.00	18775.85	10101.41

## Esfuerzos en la Tolva de Clínker

Z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0	0	0	0
1	16953.72	43709.10	25832.08
1.25	20911.21	44983.41	26585.19
1.5	24762.33	46223.47	27318.07
1.75	28509.93	47430.20	28031.25
2	32156.80	48604.49	28725.25
2.25	35705.65	49747.22	29400.61
2.5	39159.10	50859.23	30057.80
2.75	42519.73	51941.35	30697.34
3	45790.02	52994.39	31319.68
3.1	45790.02	52994.39	31319.68
4	34808.71	101791.19	37552.84
4.25	32244.70	99769.33	36357.92
4.5	29748.10	97747.47	35163.00
4.75	27315.91	95725.61	33968.08
5	24945.05	93703.74	32773.16
5.1	24013.18	92895.00	32295.19
5.25	22632.37	53431.88	31578.24
5.5	20374.62	51410.02	30383.32
5.75	18168.44	49388.16	29188.40
6	16010.37	47366.30	27993.48
6.25	13896.82	45344.43	26798.56
6.5	11824.01	43322.57	25603.64
6.75	9788.01	41300.71	24408.72
7	7784.63	39278.85	23213.80
7.25	5809.40	37256.99	22018.88
7.5	3857.42	35235.12	20823.96
7.75	1923.19	33213.26	19629.04
8	0.00	31191.40	18434.12

## Esfuerzos en la Tolva de Yeso

z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0	0.00	0.00	0.00
1.0	14785.10	4099.91	1899.57
1.2	17601.63	4880.93	2261.43
1.3	18992.94	5266.74	2440.19
1.5	21286.99	27876.88	12915.92
1.6	23325.42	28442.14	13177.81
1.8	25339.33	29000.60	13436.56
1.9	27329.01	29552.33	13692.19
2.0	28424.03	29875.97	13732.87
2.1	28719.32	63178.70	17676.82
3.0	26563.84	57638.30	15299.98
3.1	26220.17	57084.26	15062.30
3.2	25846.18	56530.22	14824.62
3.3	25441.46	55976.18	14586.94
3.4	25005.57	55422.14	14349.25
3.9	22341.54	30677.94	13160.84
4.0	21707.99	30123.90	12923.15
4.1	21039.43	29569.86	12685.47
4.2	20335.13	29015.82	12447.79
4.3	19594.36	28461.78	12210.10
4.7	16248.92	26245.62	11259.37
4.8	15311.87	25691.58	11021.69
4.9	14332.11	25137.54	10784.00
5.0	13308.18	24583.50	10546.32
5.1	12238.40	24029.46	10308.64
5.2	11120.86	23475.42	10070.96
5.3	9953.32	22921.38	9833.27
5.4	8733.11	22367.34	9595.59
5.5	7456.96	21813.30	9357.91
5.6	6120.74	21259.26	9120.22
5.7	4718.95	20705.22	8882.54
5.8	3243.67	20151.18	8644.86
5.9	1681.80	19597.14	8407.17
6.0	0.00	19043.10	8169.49

## Esfuerzos en la Tolva de Caliza

z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0	0.00	0.00	0.00
1.0	15993.02	2566.56	1563.34
1.2	19075.48	3061.23	1864.66
1.3	20602.57	3306.30	2013.93
1.5	23126.99	27255.42	16601.82
1.6	25376.98	27616.50	16821.76
1.8	27606.35	27974.27	17039.69
1.9	29815.28	28328.76	17255.61
2.0	3033.70	28374.79	17574.72
2.1	32039.96	52366.25	21895.75
3.0	20349.39	55514.68	18031.46
3.1	19436.44	54829.52	17645.03
3.2	18548.10	54144.36	17258.60
3.3	17683.45	53459.20	16872.17
3.4	16841.55	52774.05	16485.75
3.5	16021.48	52088.89	16099.32
4.0	12216.43	25119.10	14167.17
4.1	11508.12	24433.94	13780.74
4.2	10815.26	23748.79	13394.31
4.3	10136.96	23063.63	13007.89
4.8	6933.13	19637.84	11075.74
4.9	6323.79	18952.68	10689.31
5.0	5722.93	18267.53	10302.88
5.1	5129.70	17582.37	9916.46
5.2	4543.26	16897.21	9530.03
5.3	3962.80	16212.05	9143.60
5.4	3387.49	15526.90	8757.17
5.5	2816.53	14841.74	8370.74
5.6	2249.13	14156.58	7984.31
5.7	1684.52	13471.42	7597.88
5.8	1121.94	12786.27	7211.45
5.9	560.66	12101.11	6825.02
6.0	0.00	11415.95	6438.60

## Esfuerzos en la tolva Pulmón de Cemento

z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	11398.90	3670.45	2569.31
1.25	13869.93	4466.12	3126.28
1.50	16205.82	5218.27	3652.79
1.75	18413.95	5929.29	4150.50
2.00	20501.32	6601.42	4621.00
2.25	22474.52	7236.80	5065.76
2.50	24339.81	7837.42	5486.19
2.75	26103.08	8405.19	5883.63
2.80	26443.99	59526.96	41668.87
3.00	27769.91	59953.91	41967.74
3.25	29345.59	60461.28	42322.90
3.50	30835.08	60940.90	42658.63
3.75	32243.12	61394.28	42976.00
4.00	33574.24	61821.87	43276.01
4.10	33540.38	95252.01	33763.01
5.00	1747.58	88144.94	25993.06
5.20	1539.10	85923.53	24438.07
5.40	1361.65	32690.11	22883.08
5.60	1190.44	30468.70	21328.09
5.80	1020.25	28247.28	19773.10
6.00	850.20	26025.87	18218.11
6.20	680.16	23804.46	16663.12
6.40	510.12	21583.04	15108.13
6.60	340.08	19361.63	13553.14
6.80	170.04	17140.21	11998.15
7.00	0.00	14918.80	10443.16

## Esfuerzos en la tolva de Recolección de Cemento

z	Esfuerzo Vertical (Pa)	Esfuerzo de Pared (Pa)	Esfuerzo Cortante (Pa)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	10268.69	3306.52	2314.56
1.20	11822.90	3806.97	2664.88
1.40	13243.07	4264.27	2984.99
1.60	14540.76	4682.13	3277.49
1.80	15726.54	5063.95	3544.76
2.00	16810.05	5410.00	3780.00
2.10	16825.96	5410.00	3780.00
3.00	425.10	12315.00	11894.12
3.10	340.08	11379.68	11566.76
3.15	297.57	10912.02	11403.08
3.30	170.04	9509.04	10912.03
3.45	42.51	8106.06	10420.99
3.50	0.00	7638.40	10257.31

# APÉNDICE CC

## Coeficiente de Pérdidas en Tuberías

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 fpm
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	0.1928	0.1825	35	0.0048	0.0043	0.0041
2	0.1500	0.1364	0.1291	36	0.0048	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	0.0019	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

Referencia: [75] Handbook Industrial Ventilation, 22 edición, Cincinnati 1995

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ANTER, Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclado de Firmes.
- [2] Folleto Técnico, El Cemento Pórtland Puzolánico Tipo IP, LAFARGE CEMENTOS ECUADOR.
- [3] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 152:2010, Cemento Portland. Requisitos.
- [4] USER'S GUIDE TO ASTM SPECIFICATION C 94 ON READY-MIXED CONCRETE, CHAPTER 5 MATERIALS, Section 5.1.1, Page 23.
- [5] USER'S GUIDE TO ASTM SPECIFICATION C 94 ON READY-MIXED CONCRETE, CHAPTER 5 MATERIALS, Section 5.1.1, Page 21.
- [6] Catálogo, Cementos Bio Bio.
- [7] Portland Cement: Composition, Production and Properties, Composition of Portland Cement 1.2, Nomenclature 1.2.1
- [8] Cement Chemistry por Harry F. W. Taylor, section 1.1.1 Portland Cement: general
- [9] Cementos (rc-08), Universidad de Castilla LA MANCHA, sección 2.1 Componentes de los cementos.
- [10] Norma ASTM C 150, Especificación Normalizada para Cemento Portland
- [11] Composición Química del Cemento, Seminario, por Ing. José Carlos Flores Cerna, Universidad Nacional de Cajamarca.
- [12] BINDERS FOR DURABLE AND SUSTAINABLE CONCRETE, Pierre – Calude Aitcin, Modern Concrete Technology, Volumen 10 , Apéndice V page 449 determination of the Bogue potencial composition.
- [13] Holcim Venezuela C.A., autor: Ing. Henry Gonzáles, Indicadores de Uniformidad.
- [14] NTE INEN 2380:2010, CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS

- [15] MATEST, Material Testing Equipment, Electronic Blaine Air Permeability Apparatus.
- [16] IBERTESTINT, Aguja de Vicat Manual.
- [17] Determinación de la Expansión en Autoclave del Cemento Pórtland, Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas” UCA, Materiales de Construcción.
- [18] PRODUCCIÓN DE CEMENTO HS CON CLINKER TIPO V Y PUZOLANAS ACTIVADAS, Ing. Julio A. Luján Túpez Cementos Pacasmayo S.A.A.
- [19] SI metric, Density of materials, Bulk Materials.
- [20] NORMA NTE INEN 490:2011 QUINTA REVISIÓN, Cementos Hidráulicos Compuestos.
- [21] International Cement Review
- [22] USGS: Mineral Commodity Summary 2011.
- [23] INECYT, Mercado de Cemento Gris y Consumo per cápita a para del 2000.
- [24] INECYT, Estadística de la Comercialización de Cemento Gris en el Ecuador, Histórico de la participación en el mercado por empresa a partir del año 2000.
- [25] El Mercurio, Inversión para mejorar la Productividad, 28 de Septiembre del 2011.
- [26][27][28] CEMBAREAU BAT REFERENCE DOCUMENT CHAPTER 3
- [29] Cement, A reference book for the industry.
- [30] Cementos Lima S.A. WALSH, Proyecto de Modernización de la Planta Industrial Sección 3.6 Proceso de Fabricación.
- [31] ALMACENADORA SUR S.A. Control de Ambientes Explosivos en terminals graneleras.
- [32] CEMBUREAU, 1997
- [33] MINISTERIO DEL AMBIENTE, Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria, Quito – Ecuador, diciembre 2002

- [34] CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials pag. 45.
- [35] CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials pag. 86, Table 6-8.
- [36] CEMA Belt Conveyors for Bulk Materials Vol 2. Pag. 189 Table 7-8.
- [37] Voith Turbo GmbH & Co. KG, Crailsheim, Modern drive Technology with hydrodynamic couplings for Coal-Mine Applications, paper for Klaus Maier.
- [38] DENTADRAULIC Acoplamiento Hidrodinámico.
- [39] Catálogo Voith Turbo Fluid Couplings with Constant Fill.
- [40] REXNORD, FALK Ultramite UW Right-angle helical Worm gear drive.
- [41] MARTIN, SPROCKET & GEAR INC, Catálogo
- [42] Manual técnico Optibelt, para correas de transmisión trapezoidales.
- [43] MARTIN ENGINEERING, Heavy Duty Belt Cleaner Catalogue.
- [44] ORTHMAN Conveying Systems, Belt conveyor catalog, screw take-up tail terminals page 10.
- [45] DODGE, Take-up Frames and Base Plates catalog
- [46] Norma DIN 22101 Continuous mechanical handling equipment, the belt conveying bulk materials based on calculation and design.
- [47] GOODYEAR RUBBER , Correas Plylon EP
- [48] REXNORD, Falk True Hold Low Speed Backstops.
- [49] Norma UNE 58-222-87
- [50] DUNLOP, CONVEYOR BELT TECHNIQUE DESIGN AND CALCULATION
- [51] AUMUND Foerdertechnik GmbH, Bucket Elevator
- [52] MARTIN, Bucket Elevators Catalog

[53] REXNORD AND LINK-BELT CONVEYOR, Elevator and Drive Chains Catalog

[54] REXNORD, Elevator and Drag Chains / Cement Industry Chains and Accessories.

[55] FLENDER SIG, Standard Industrial gear unit Catalog MD30.1 – 2011

[56] ASTM E 11-87 Permissible Variations for Wire Cloth of Standard Test Sieves (U.S.A.) Standard Series.

[57] METSO, manual de trituración y cribado.

[58] Allis- Chalmers Corporation.

[59] AGGREGATES Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes, Geological society Engineering Geology Special Publication No.17.

[60] Vásquez Wilmer, Micronización de Caliza en un Molino de Bolas, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador, 1999, pág. 11 – 12.

[61] HAZEMAG, APS, APSM, APSH – Secondary Impactors.

[62] HOLGER SCHROTH, Load State of Column Supported Steel Silos, Alemania 2002.

[63] PERRY, Manual del Ingeniero Químico 6ta edición.

[64] DIN 1055-6:2005-03: Design loads for buildings. Loads in silo bins.

[65] ACI313R-97 Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular materials.

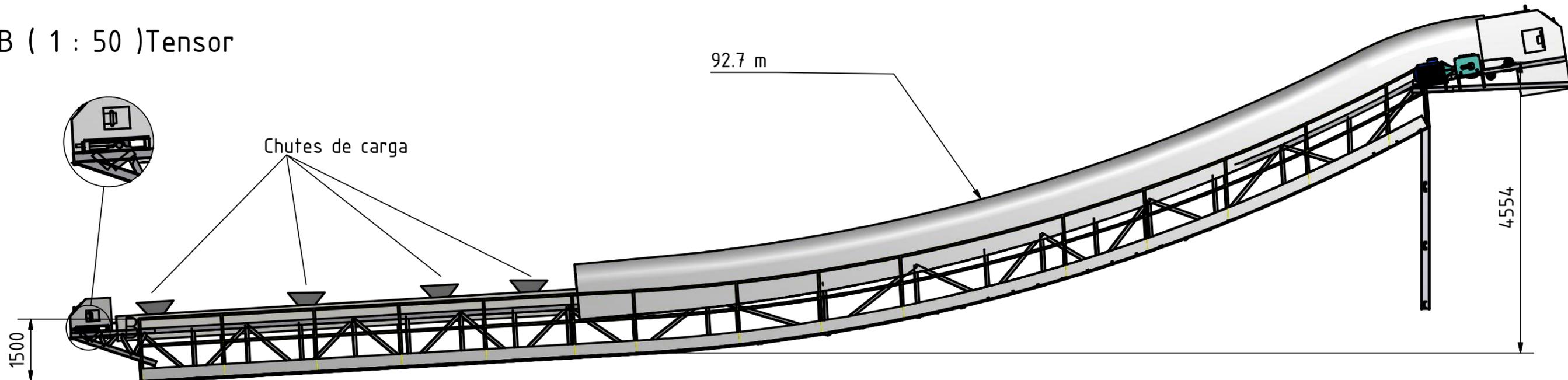
[66] Jenike, A.W., "Storage and Flow of Solids"

[67] UNE-ENV 1991-4, Acciones en Silos y Depósitos

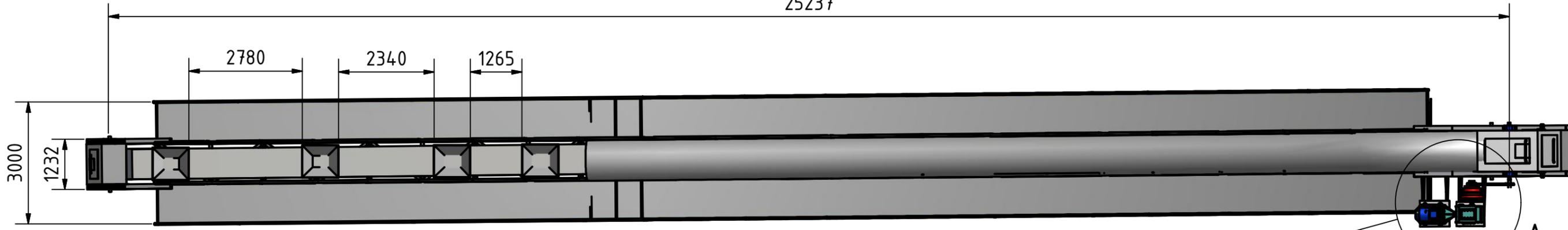
- [68] Multiphase Flow Handbook, Chapter 9 Dry Powder Flows, Gabriel I. Tardos; Paul R. Mort.
- [69] KAI HERZIG, Carrying Capacity of Single Supported Steel Silos UIT Bracing Members.
- [70] AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2011.
- [71] MANUAL AISC, Load and Resistance Factor Design.
- [72] BinEx rotary Bin Discharger, Shenckprocess
- [73] GOSAG, Unipersonal Grupo ALLGAIER.
- [74] HGRS LTD., Holcim Design Criteria. Standard Design Criteria, Basic Requirements, 2001.
- [75] Hanbook Industrial Ventilation, 22 edición, Cincinnati 1995
- [76] LOREN COOK COMPANY, Compute A-Fan Version 9.2
- [77] GE Energy, Fabric Filter Bags and Cages Fact sheet.
- [78] Design of Pollution Control Equipment, Ms. Kakoli Shaw, Mr R.C. Dohare.
- [79] INTENSIV, Catalogo de Fitlros 1997, Alemania.
- [80] US AIR FILTRATION Inc, Air to Media Guide.
- [81] KINDER, Bulk materials handling solutions, magnetic separator.
- [82] WAGNER MAGNETE, Metal detector tandem system, reliable protection of machines and plants.
- [83] Compact Ring-Torsion Load Cells RTN, SchenckProcess.
- [84] EKOSNEGOCIOS, Cemento, infomercados.

[85] Tasa mínima de aceptación de proyectos. Blog de evaluación de proyectos. Apuntes 2009.

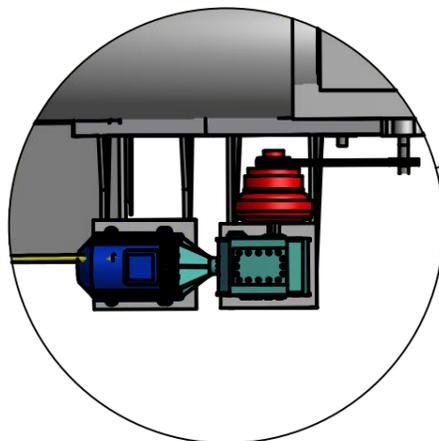
B ( 1 : 50 )Tensor



25237

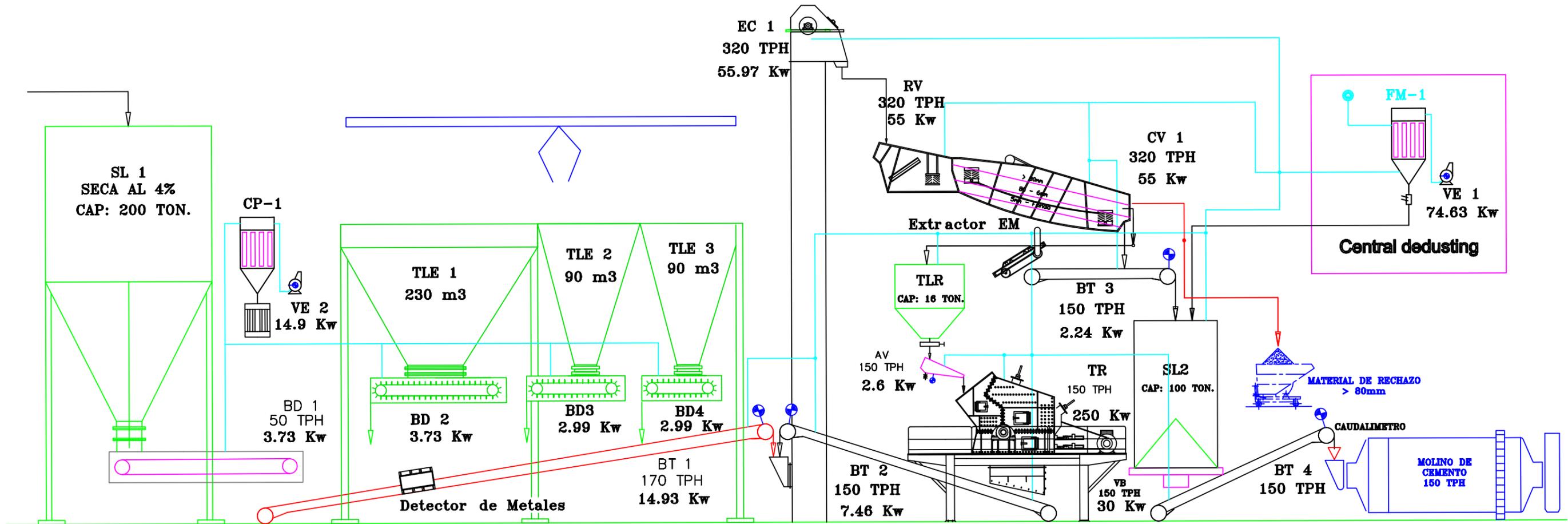


A ( 1 : 50 )Motor, acople y reductor



Fecha: 8/4/2013	Peso: 6800 Kg	Escala: 1:100	Lámina: SIPRE-ME01-BT1-02
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho B.	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Banda BT1	

# DIAGRAMA DE FLUJO PRE-MOLIENDA



TLE 1: Tolva de Clinker 1  
 TLE 2: Tolva de Yeso 2  
 TLE 3: Tolva de Caliza 3  
 BT 1: Banda Transportadora 1  
 BT 2: Banda Transportadora 2

BT 3: Banda Transportadora 3  
 BT 4: Banda Transportadora 4  
 BD 1: Banda Dosificadora 1  
 BD 2: Banda Dosificadora 2  
 BD 3: Banda Dosificadora 3  
 BD 4: Banda Dosificadora 4

CV 1: Criba Vibratoria 1  
 CV 2: Criba Vibratoria 2  
 AV : Alimentador Vibratorio  
 RV: Repartidor Vibratorio  
 TLR: Tolva de Recoleccion  
 TR: Trituradora

EC 1: Elevador de Cadena 1  
 FM 1: Filtro de Manga 1  
 SL1: Silo de Pulzolana Seca al 4%  
 SL 2: Silo de Almacenamiento  
 VE 1: Ventilador 1  
 VE 2: Ventilador 2

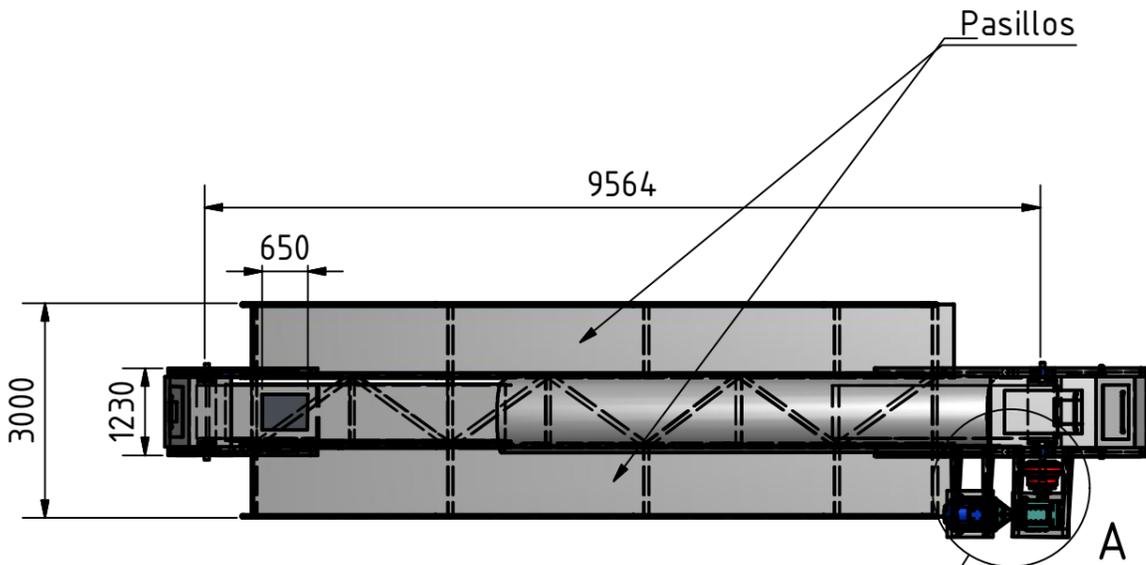
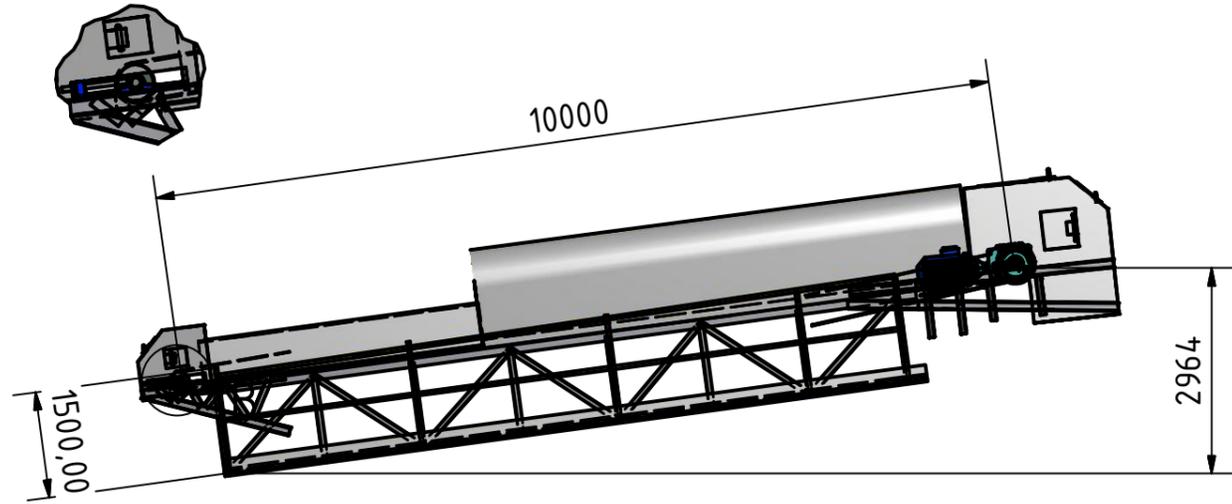
CP-1: Colector de Polvo 1

NOTA: EQUIPOS EN AZUL NO ESTÁN INCLUIDOS EN EL PROYECTO

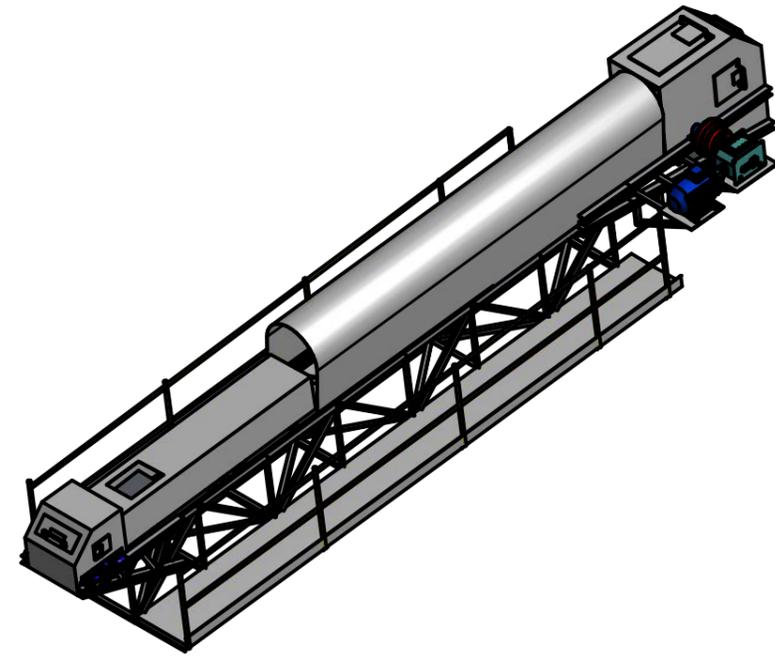
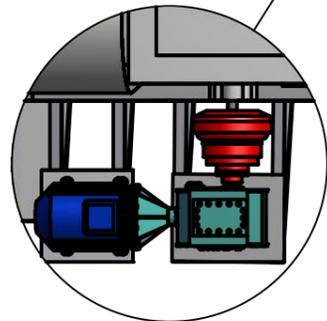
Fecha: 8/4/2013	Peso:	Escala: 1:1	Lámina: SIPRE-ME00-DFS-1
Diseño: Juan Coello C.		Revisado por: Ing. Federico Camacho	
Proyecto: Sistema de Pre-molienda de Clinkery Aditivos		Contiene: Diagrama de Flujo	Revisión: 01

**ESPOL**

B ( 1 : 50 )Tensor

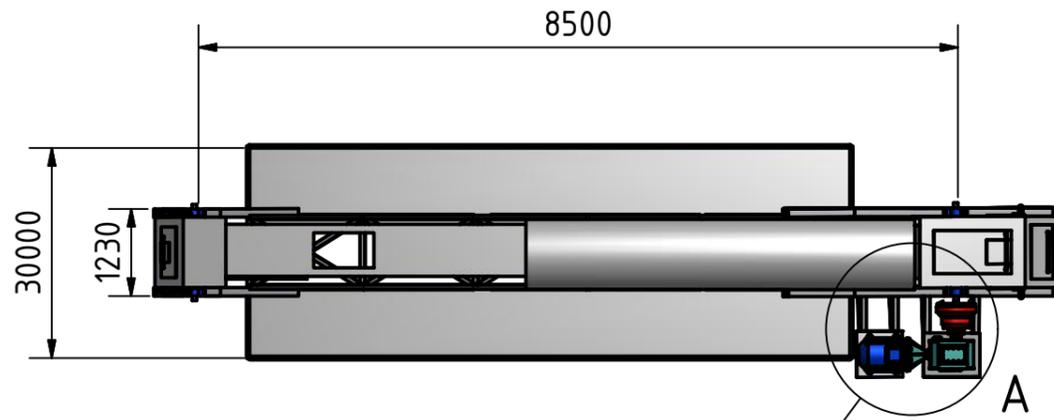
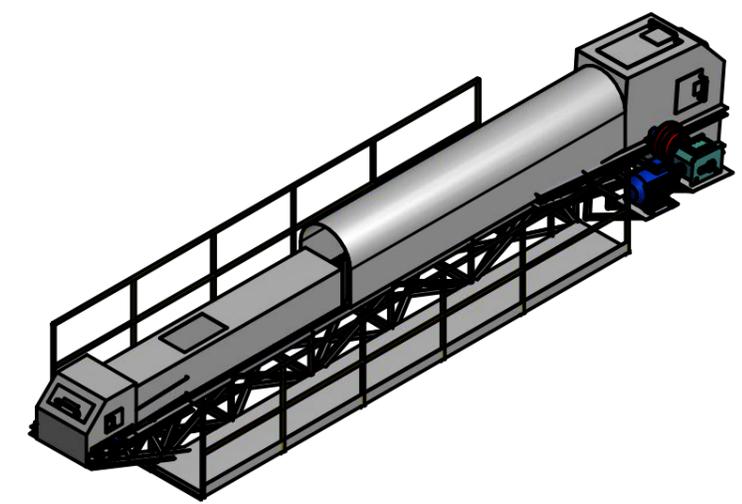
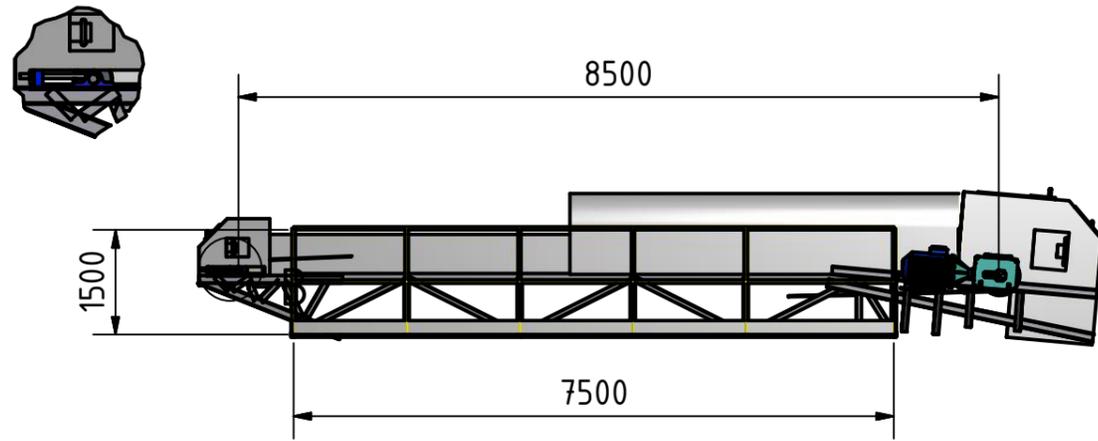


A ( 1 : 50 )Motor, acople y reductor

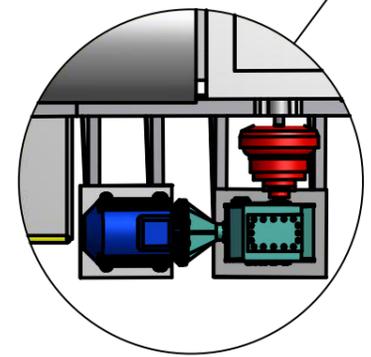


Fecha: 8/4/2013	Peso: 4900 Kg	Escala: 1:100	Lámina: SIPRE-ME01-BT2-3
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Banda BT2	

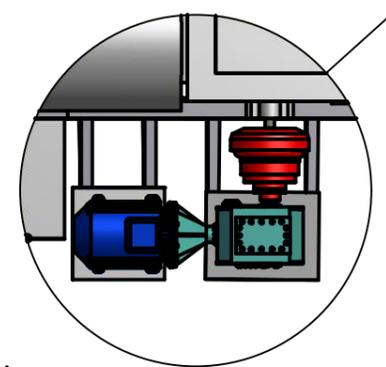
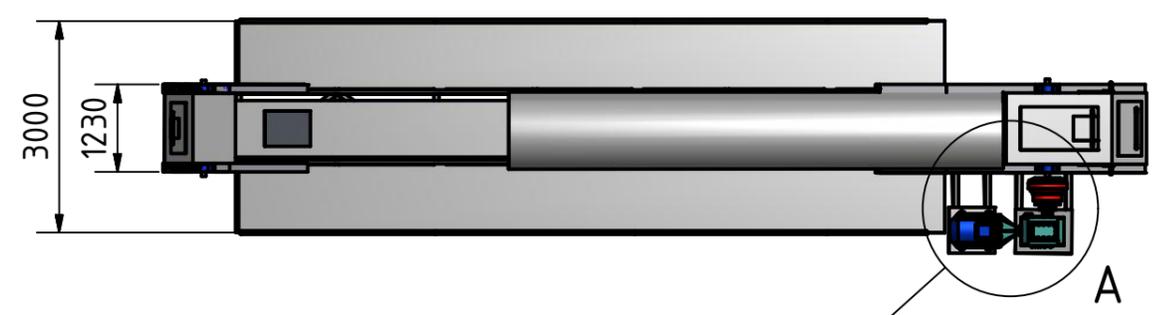
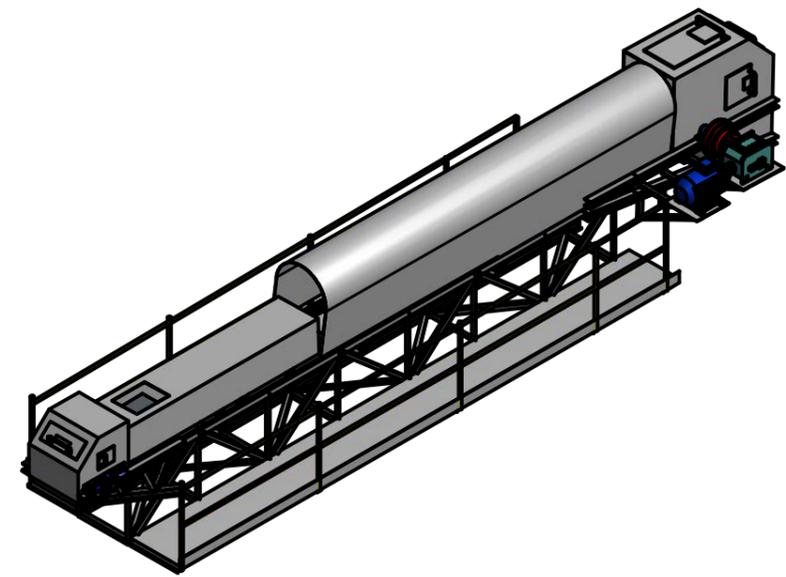
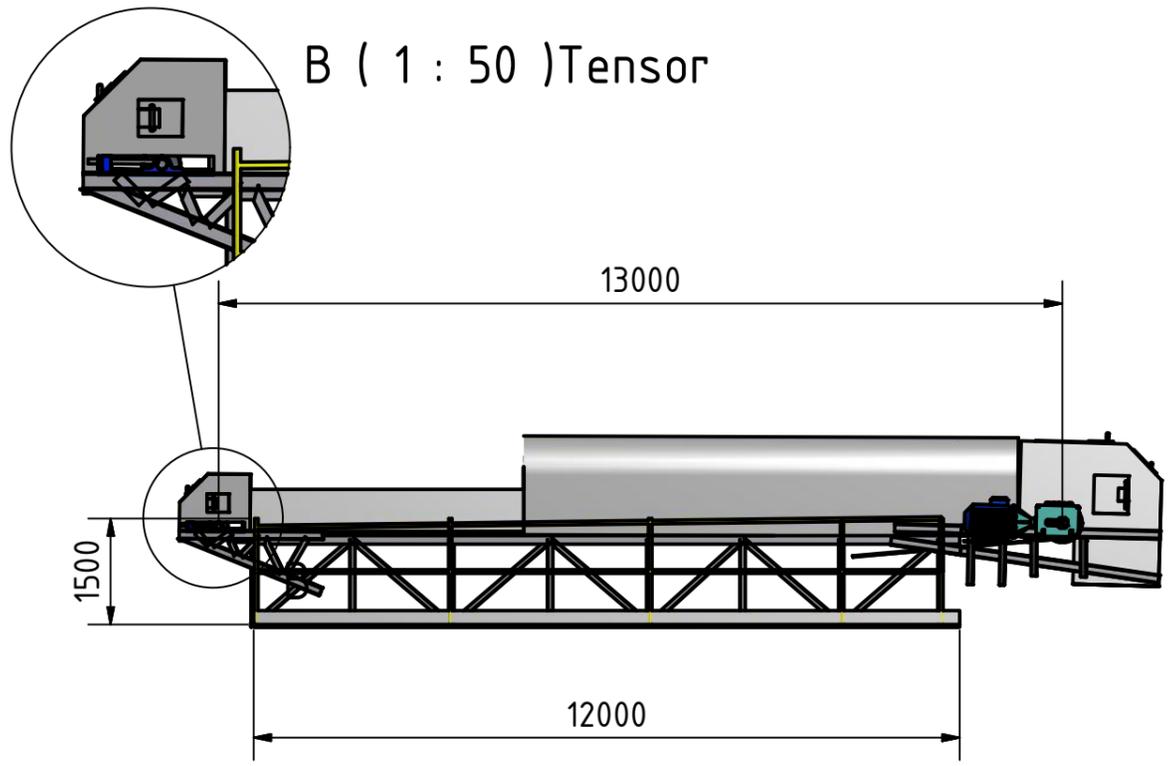
B ( 1 : 50 ) Tensor



A ( 1 : 50 ) Motor, acople y reductor

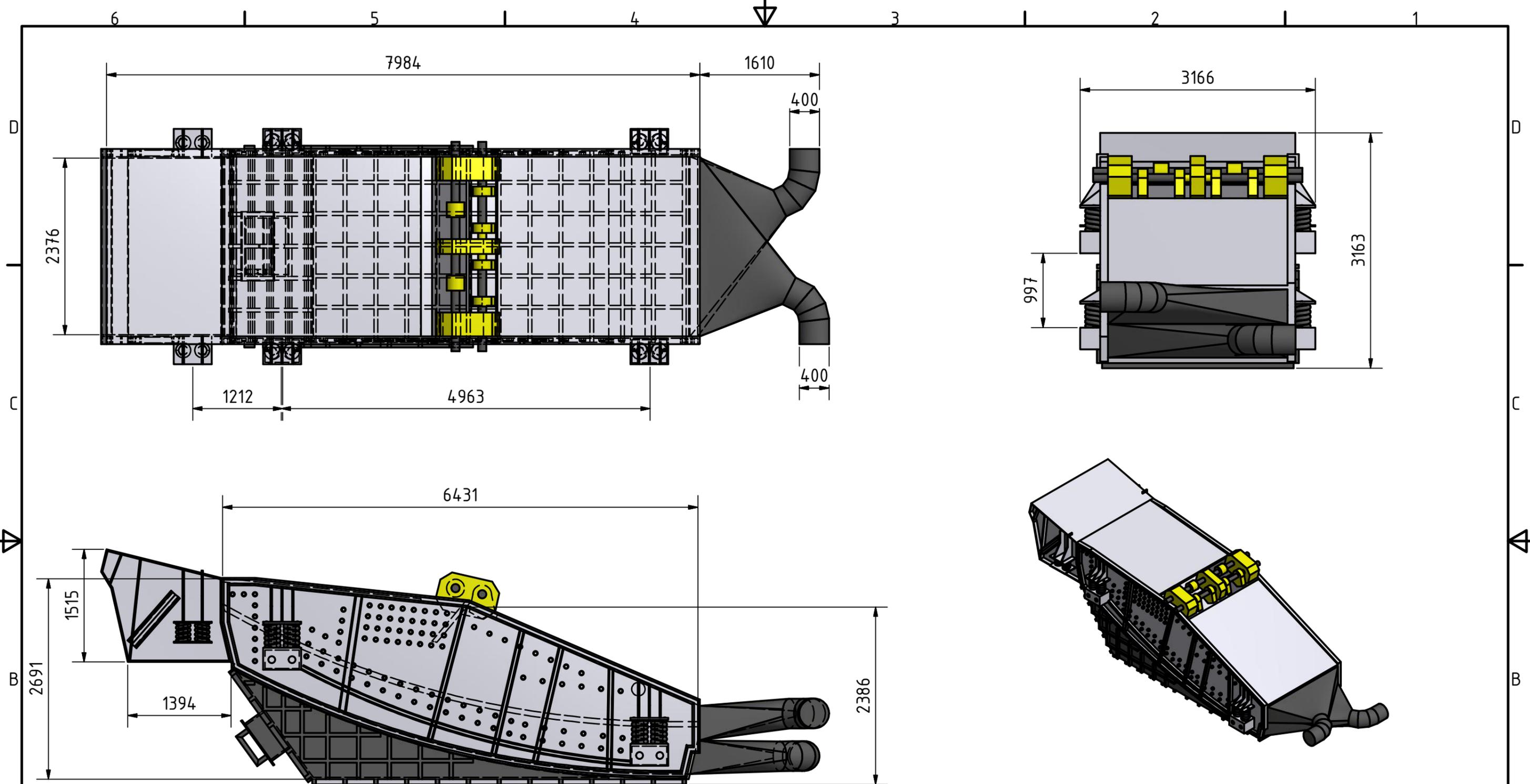


Fecha: 8/4/2013	Peso: 4140 Kg	Escala: 1:100	Lámina: SIPRE-ME01-04
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Banda BT3	

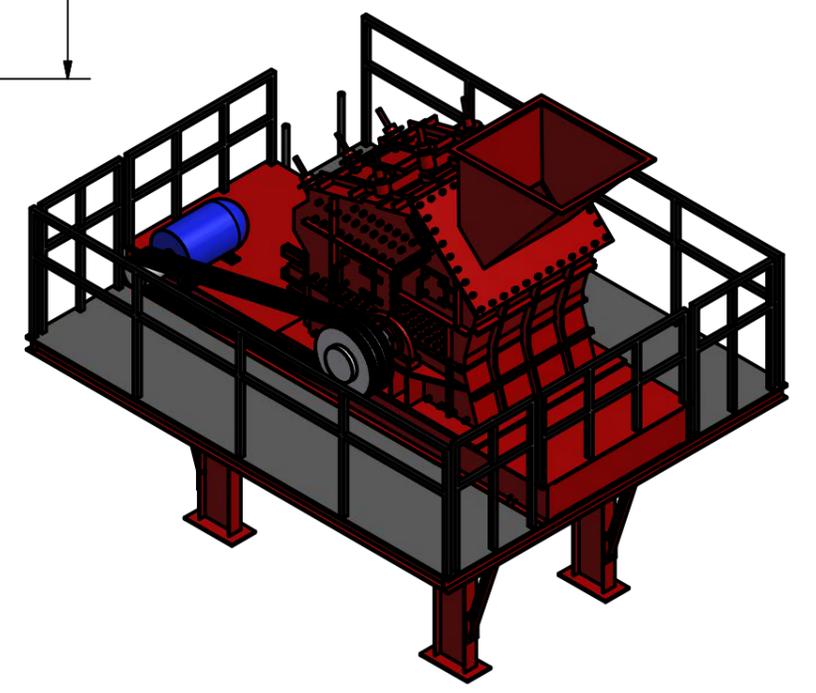
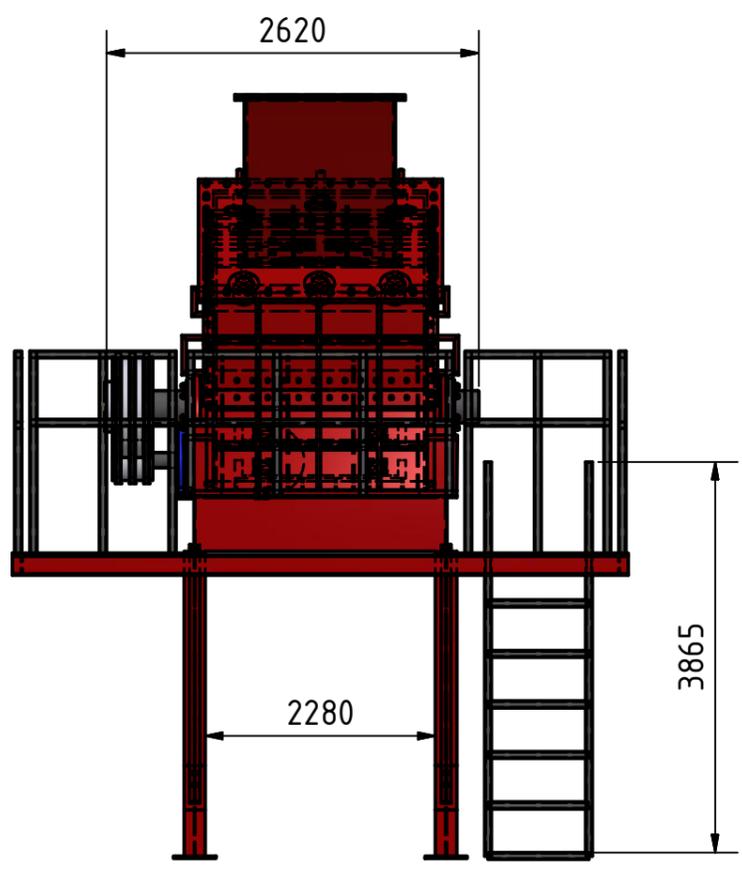
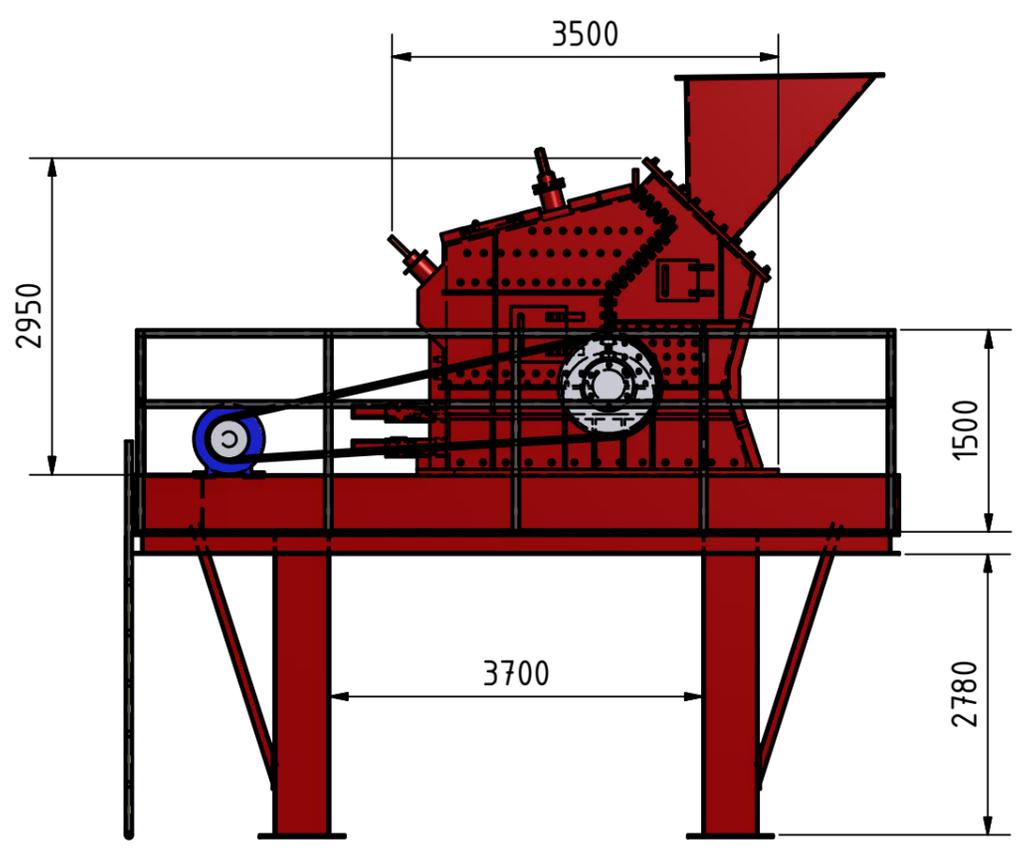
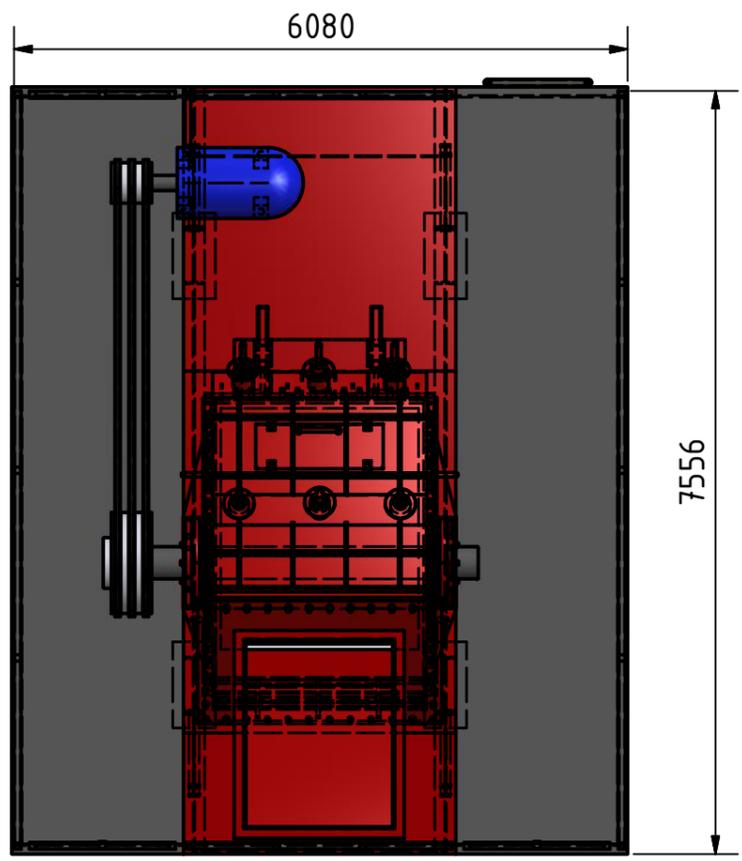


A ( 1 : 50 ) Motor, acople y reductor

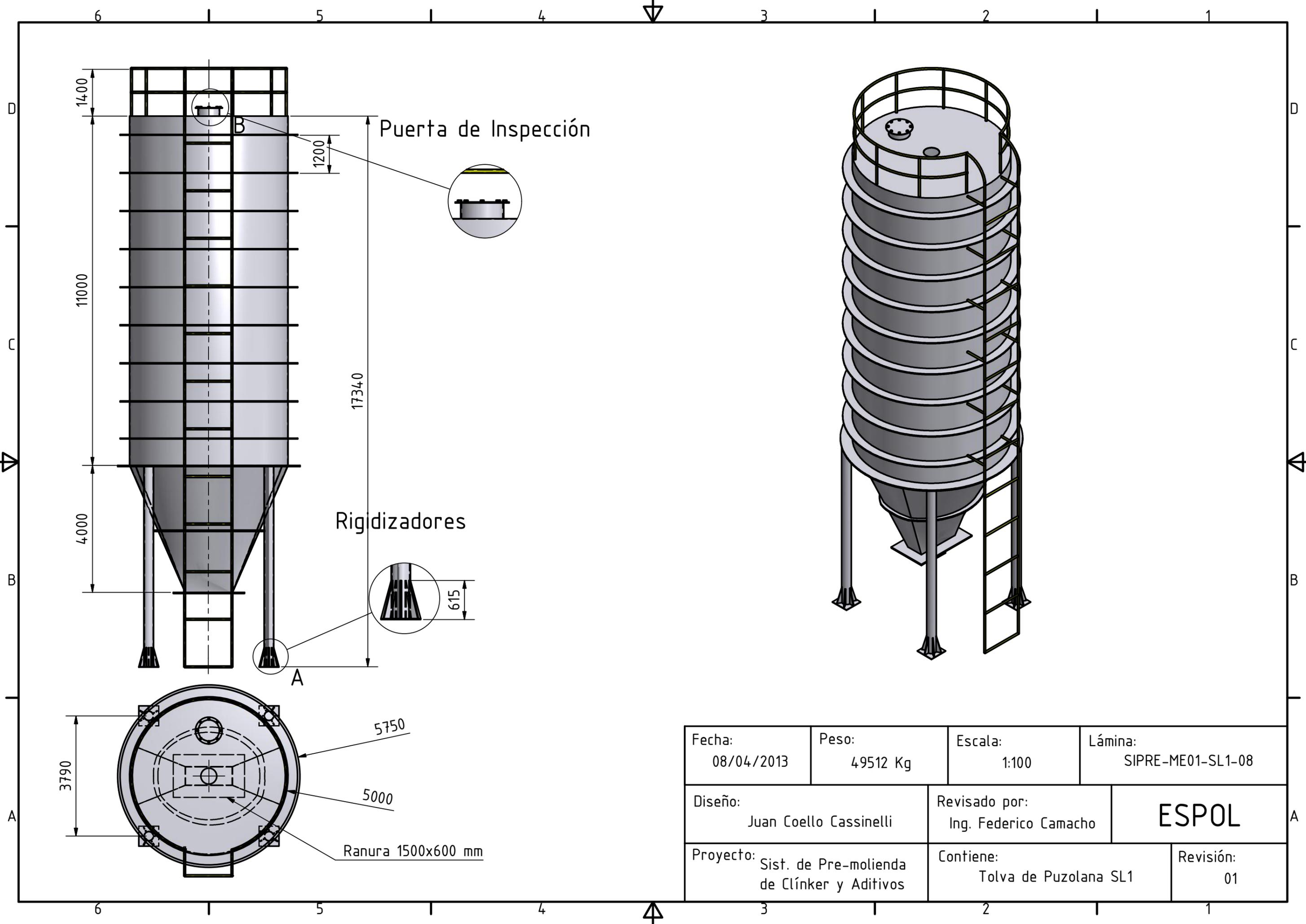
Fecha: 08/04/2013	Peso: 6335 Kg	Escala: 1:100	Lámina: SIPRE-ME01-BT4-05
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Banda BT4	



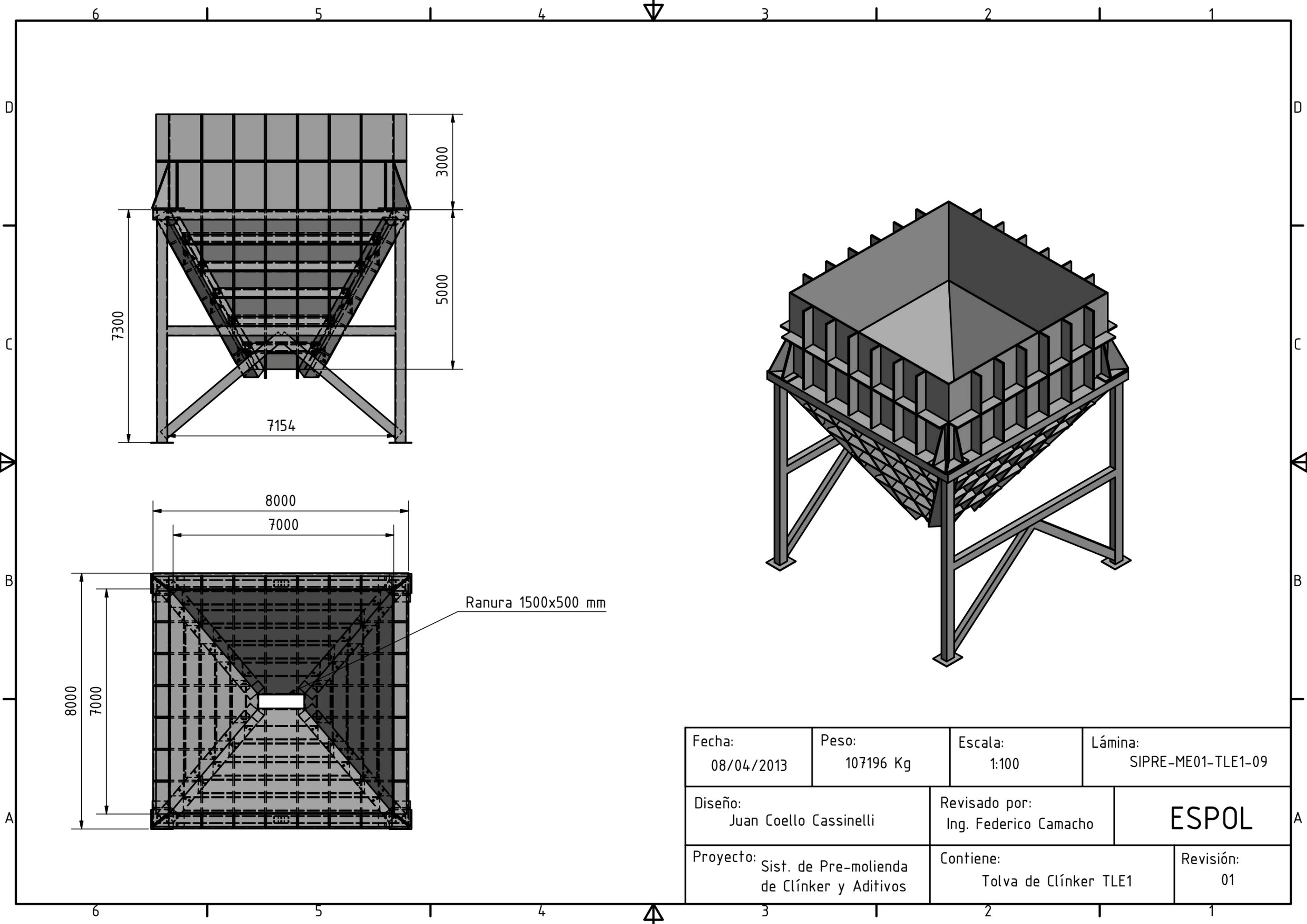
Fecha: 08/04/2013	Peso: 21350 Kg	Escala: 1:50	Lámina: SIPRE-ME01-CV1-06
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Criba CV1	

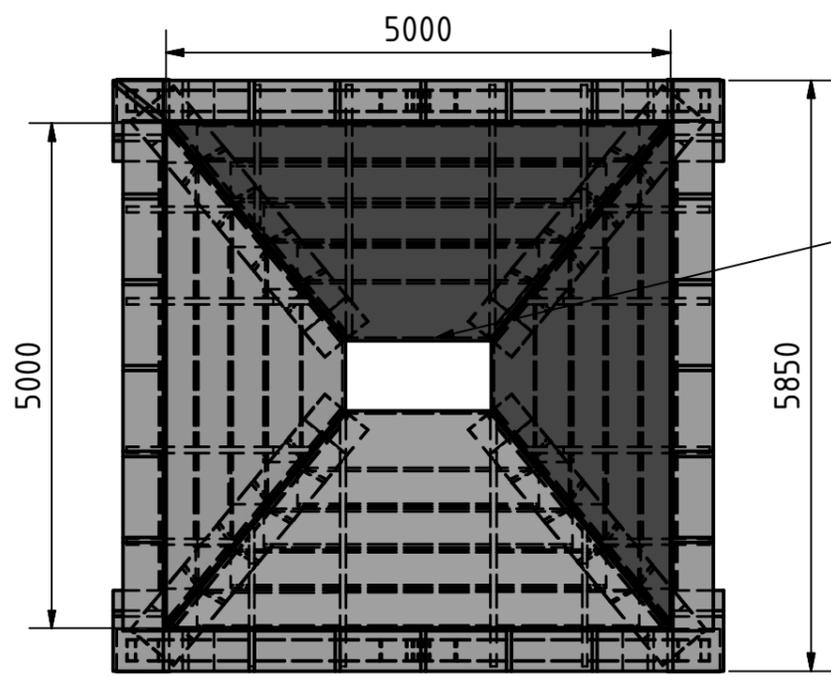
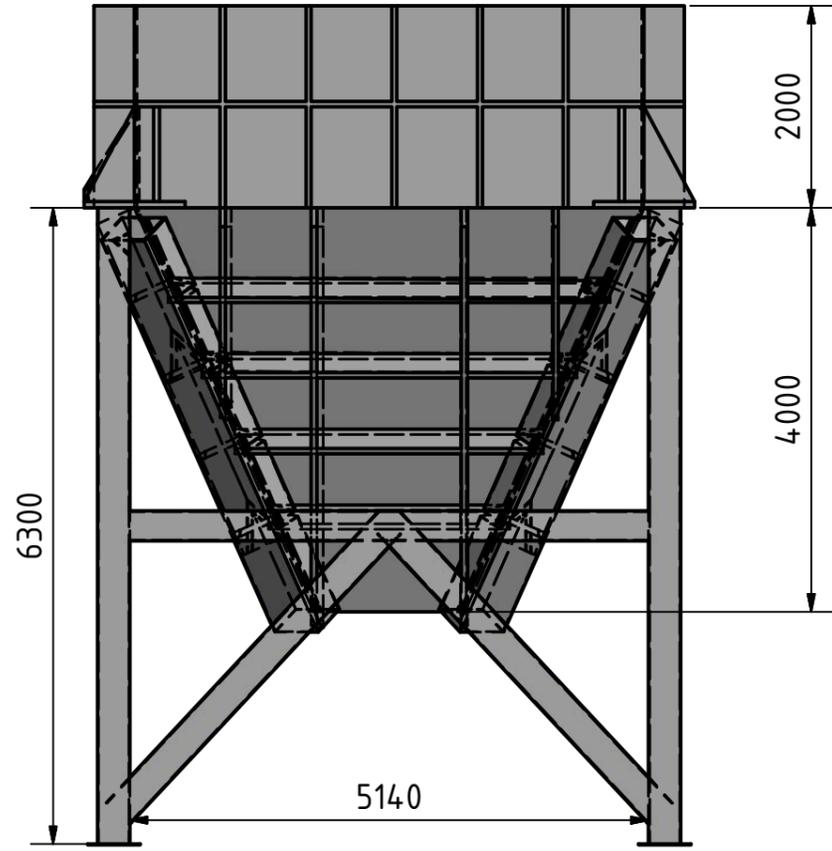


Fecha: 8/4/2013	Peso: 9770 Kg	Escala: 1:70	Lámina: SIPRE-ME01-TR-07
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: TRITURADOR TR	

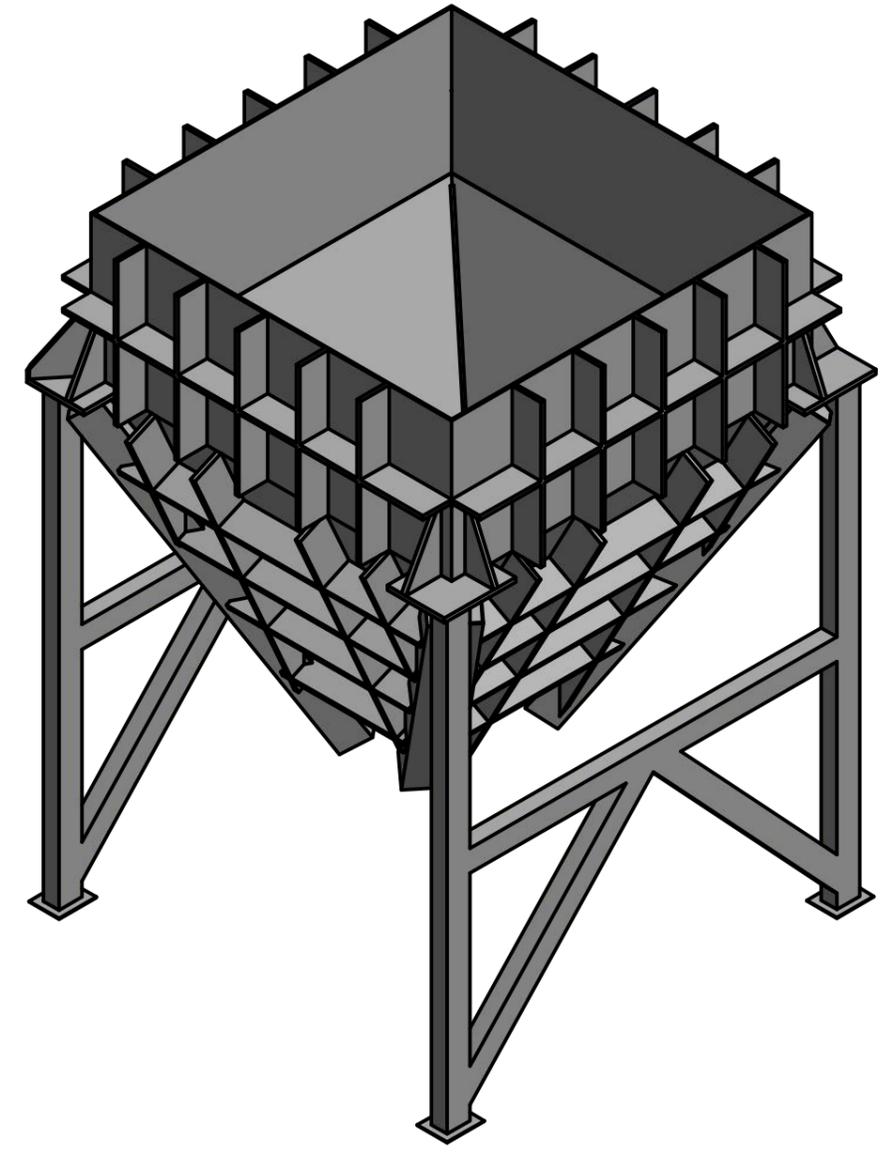


Fecha: 08/04/2013	Peso: 49512 Kg	Escala: 1:100	Lámina: SIPRE-ME01-SL1-08
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Tolva de Puzolana SL1	

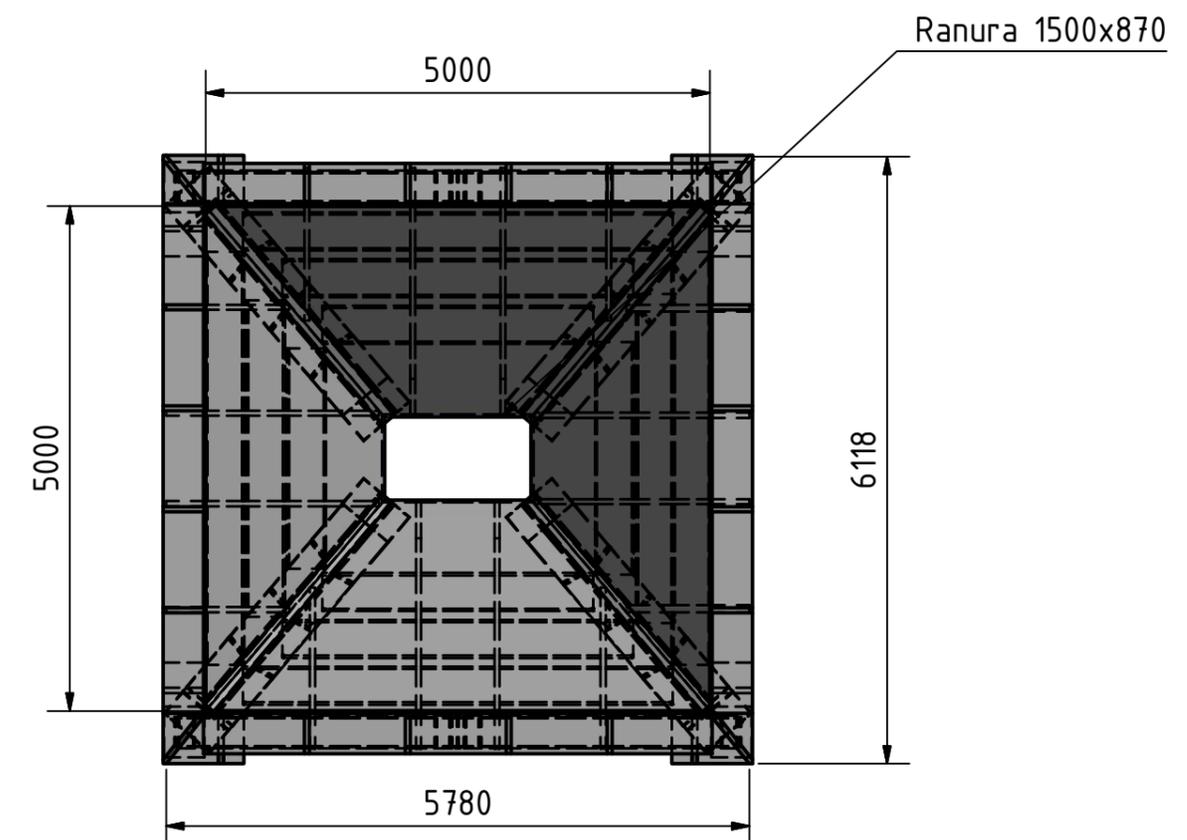
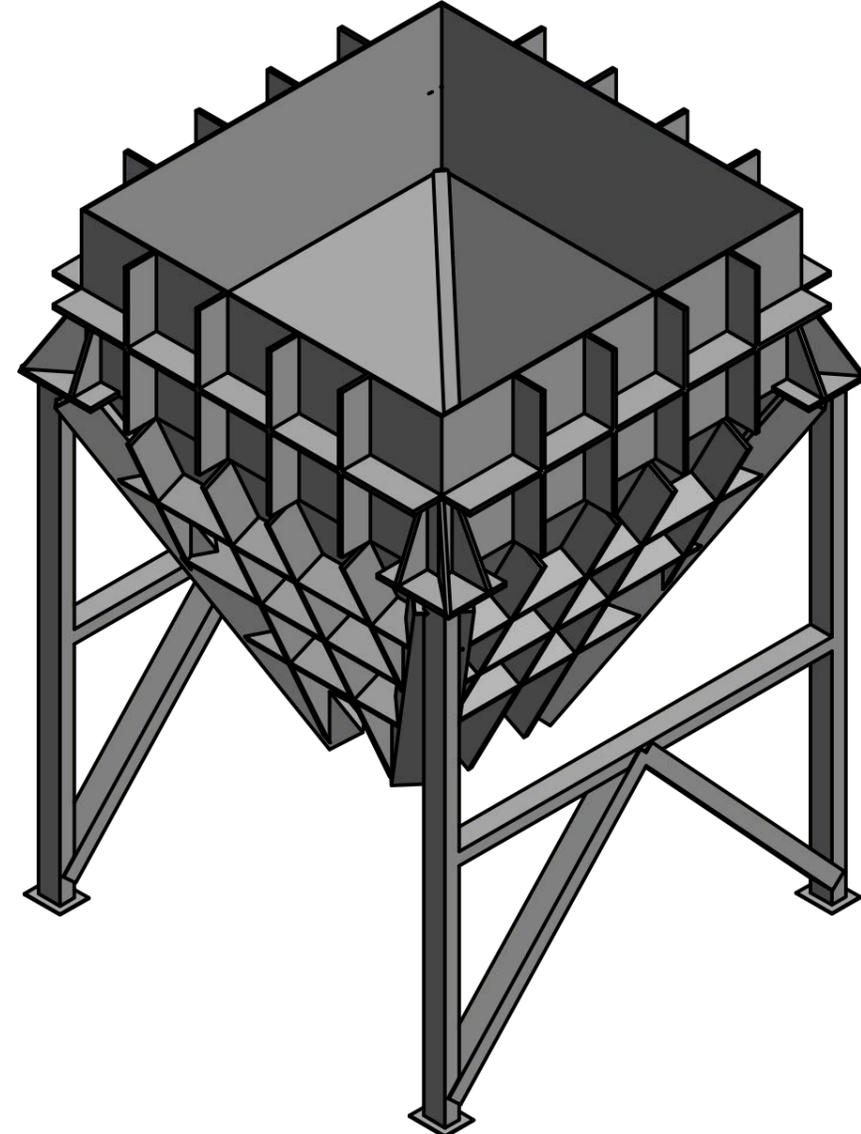
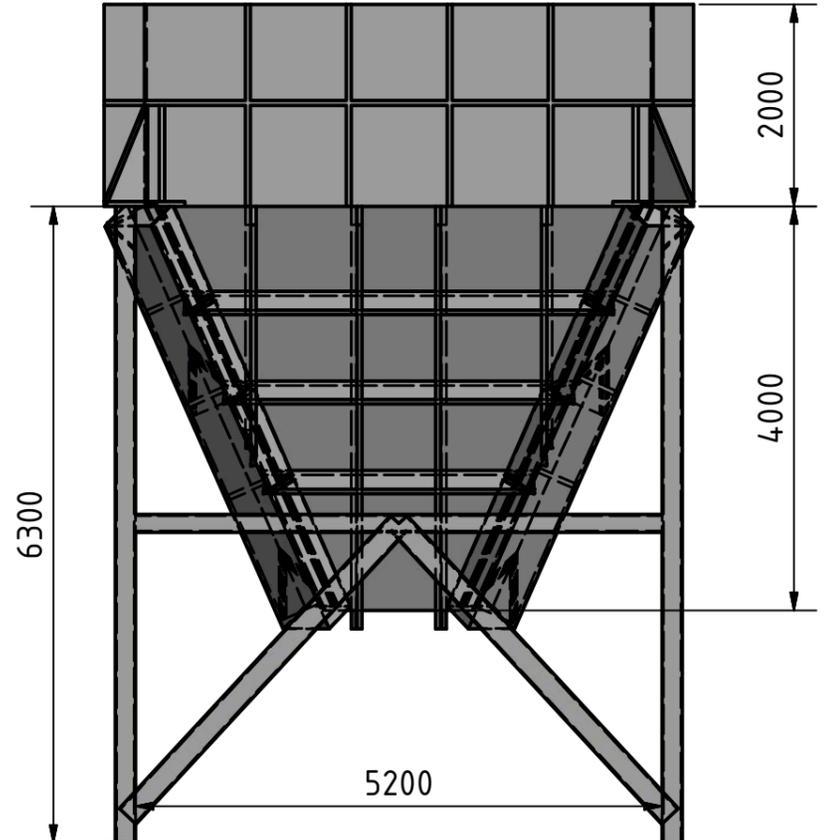
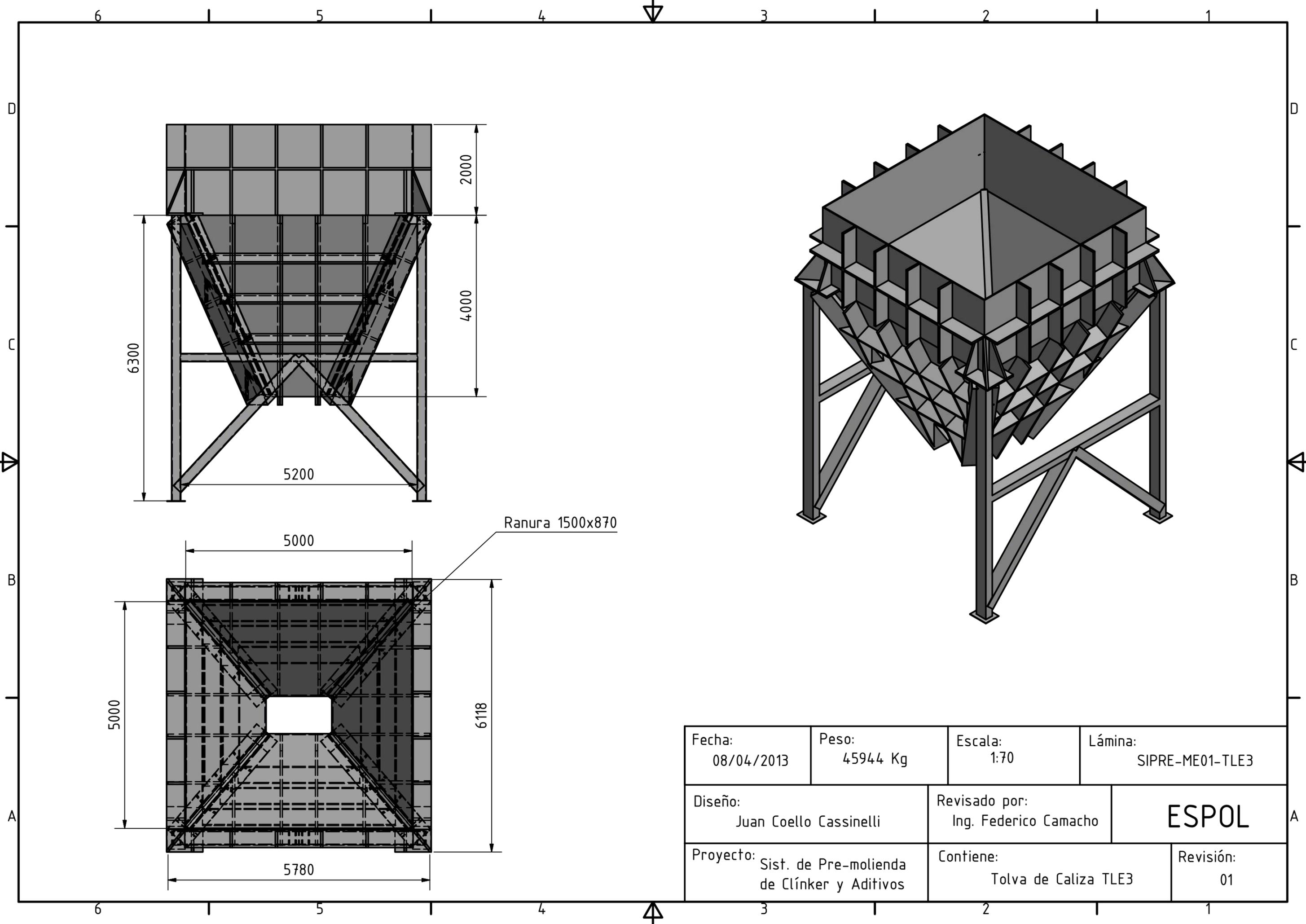




Ranura 1500x750 mm

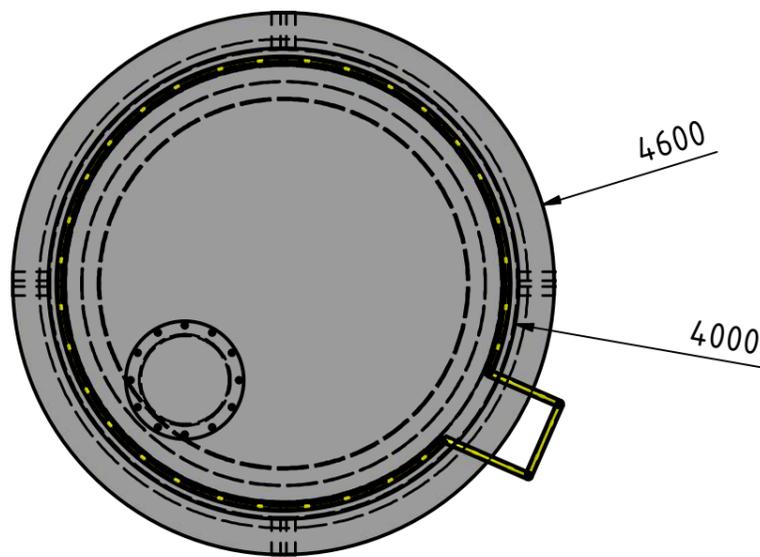
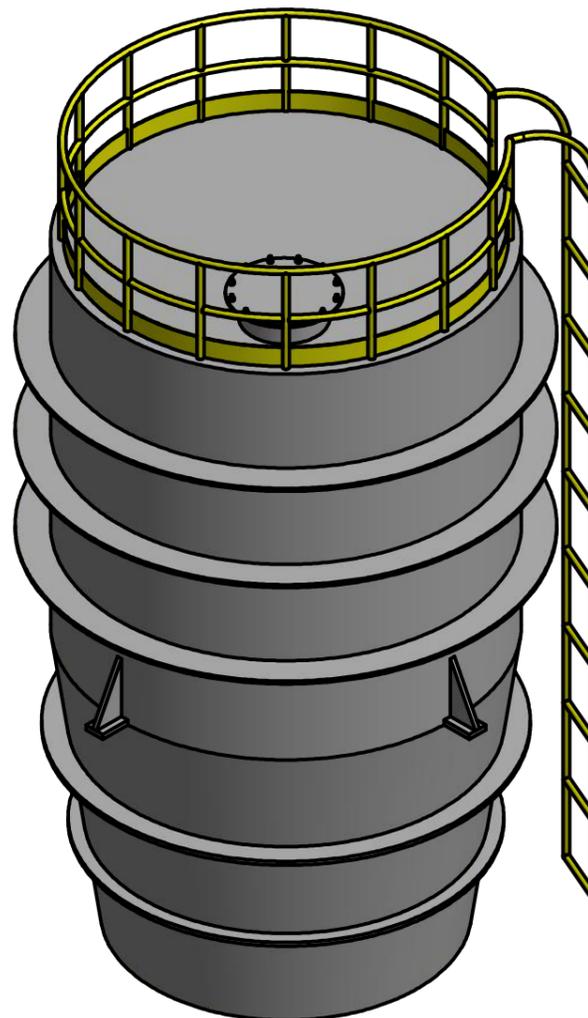
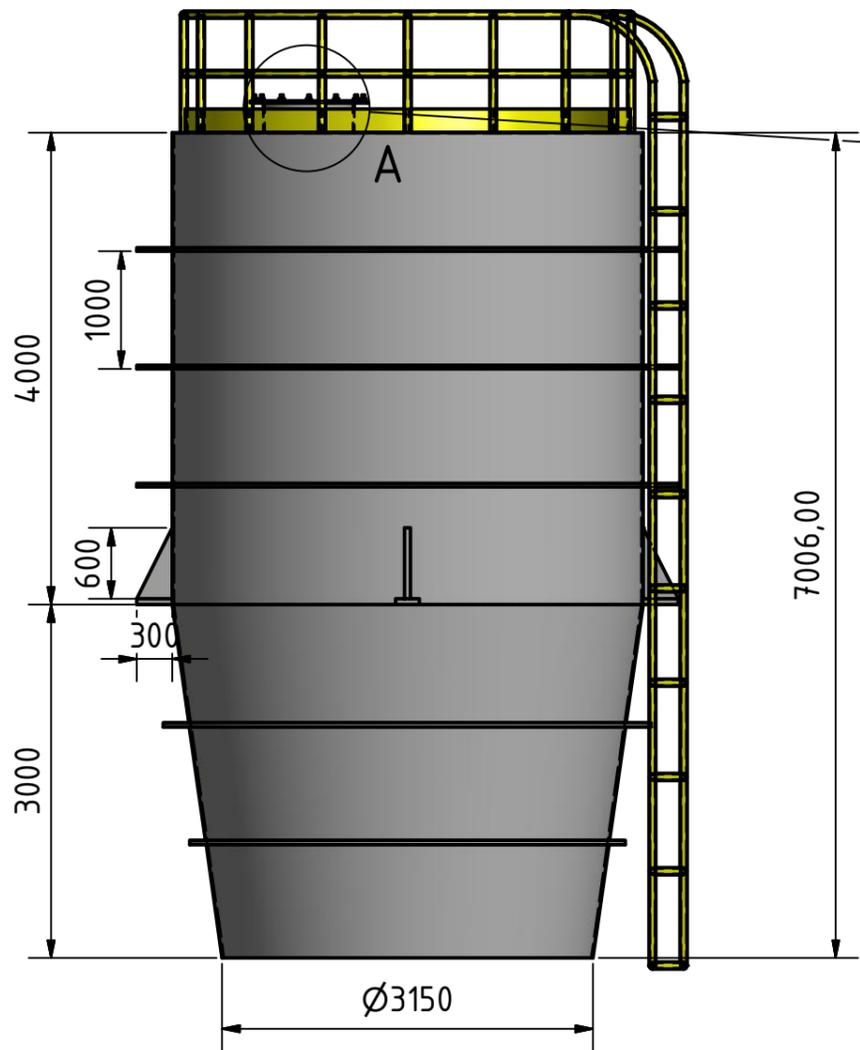


Fecha: 08/04/2013	Peso: 51902 Kg	Escala: 1:70	Lámina: SIPRE-ME01-TLE2
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Tolva de Yeso TLE2	



Fecha: 08/04/2013	Peso: 45944 Kg	Escala: 1:70	Lámina: SIPRE-ME01-TLE3
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Tolva de Caliza TLE3	

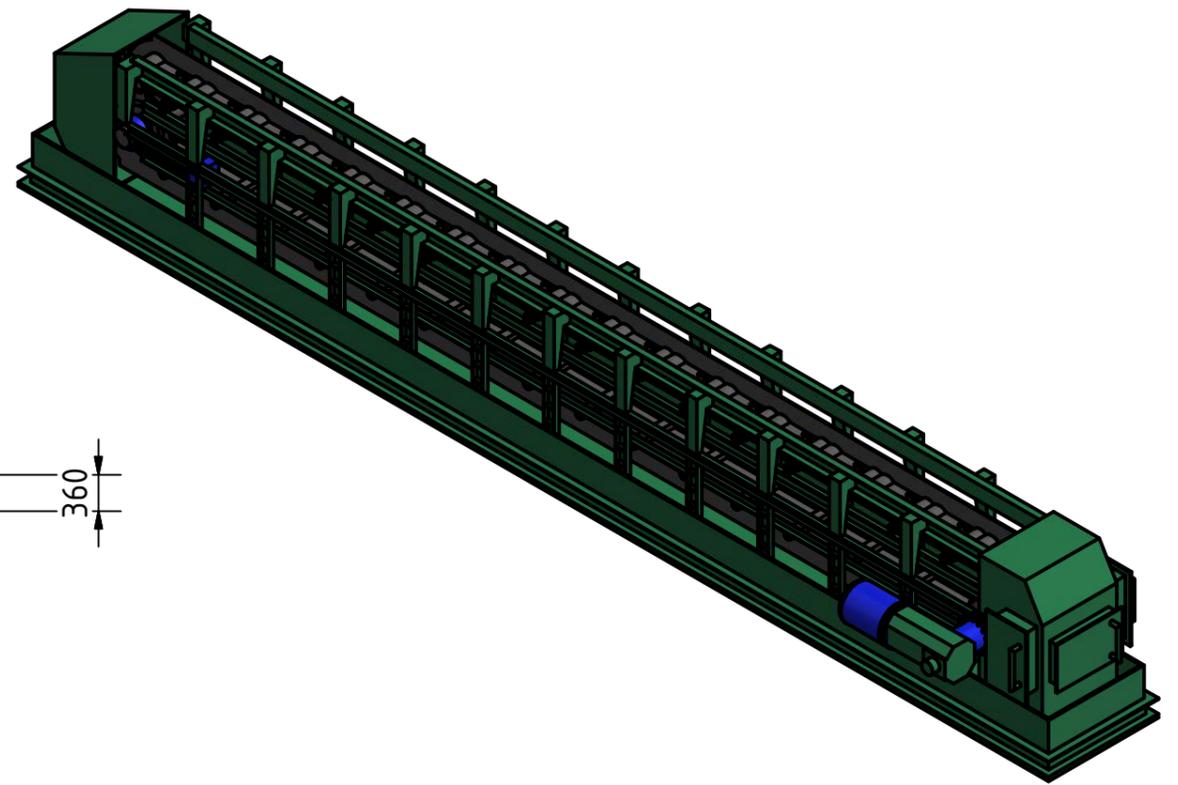
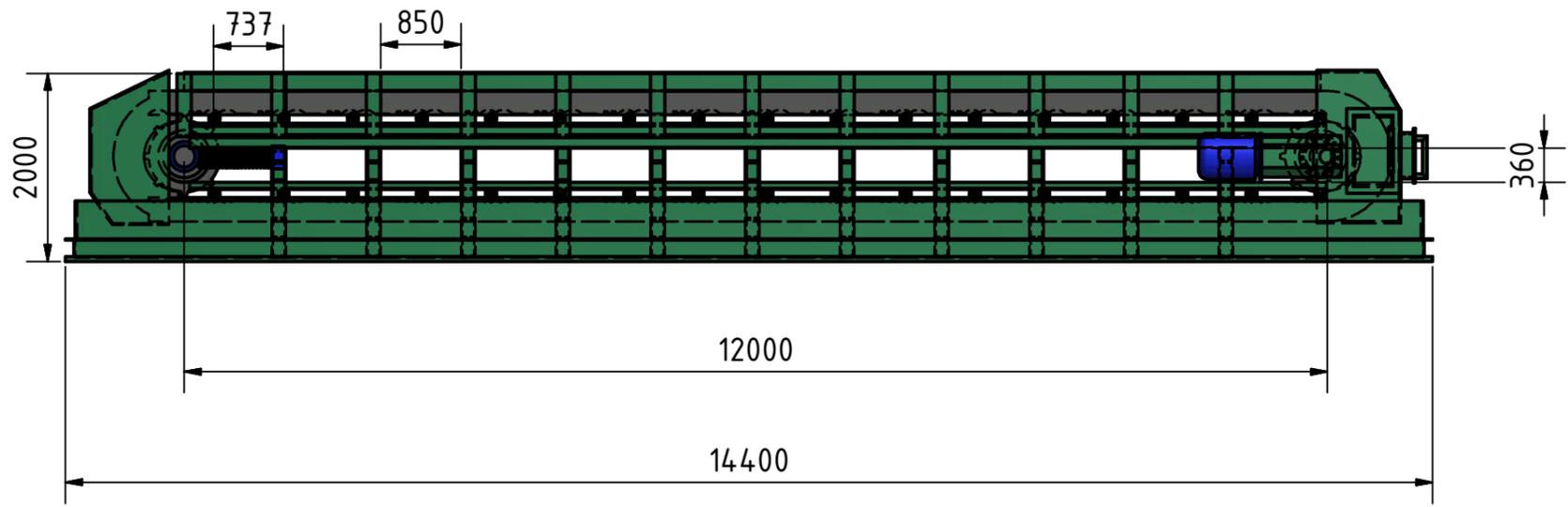
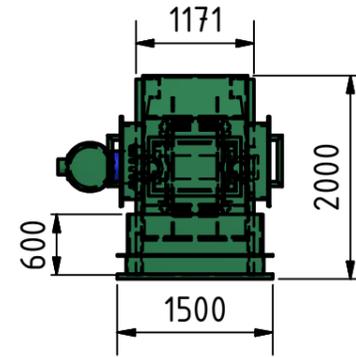
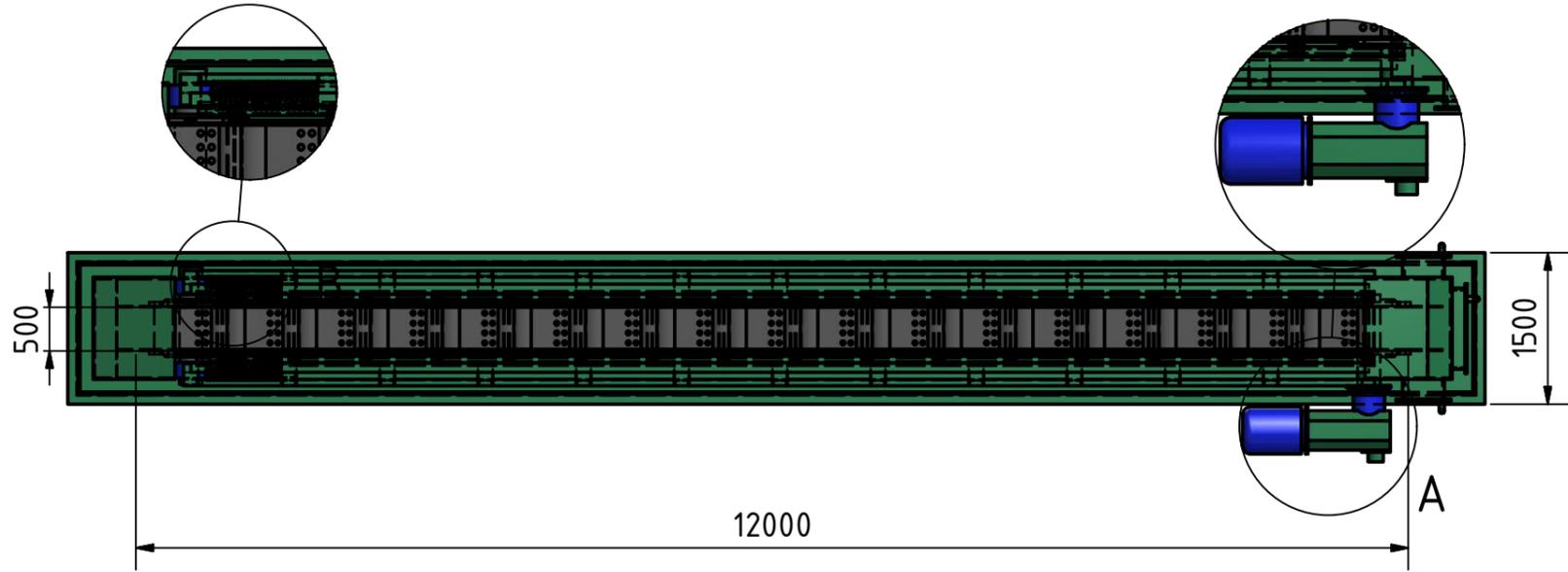
# Tapa de Inspección



Fecha: 08/04/2013	Peso: 15579 Kg	Escala: 1:60	Lámina: SIPRE-ME01-SL2
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Tolva pulmón SL2	Revisión: 01

B ( 1 : 50 ) Tensor

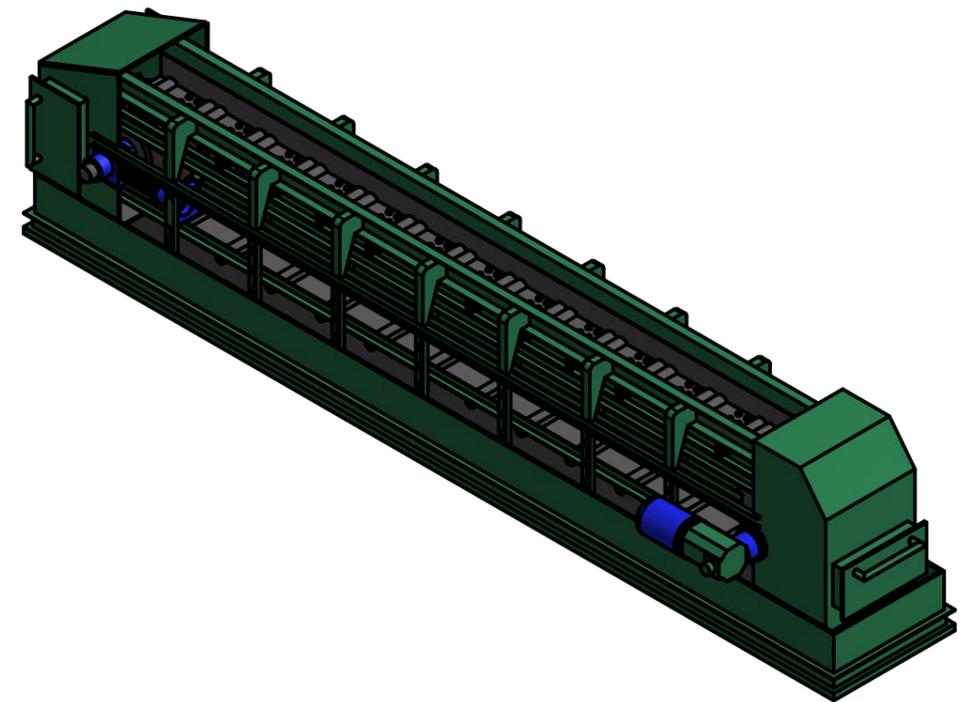
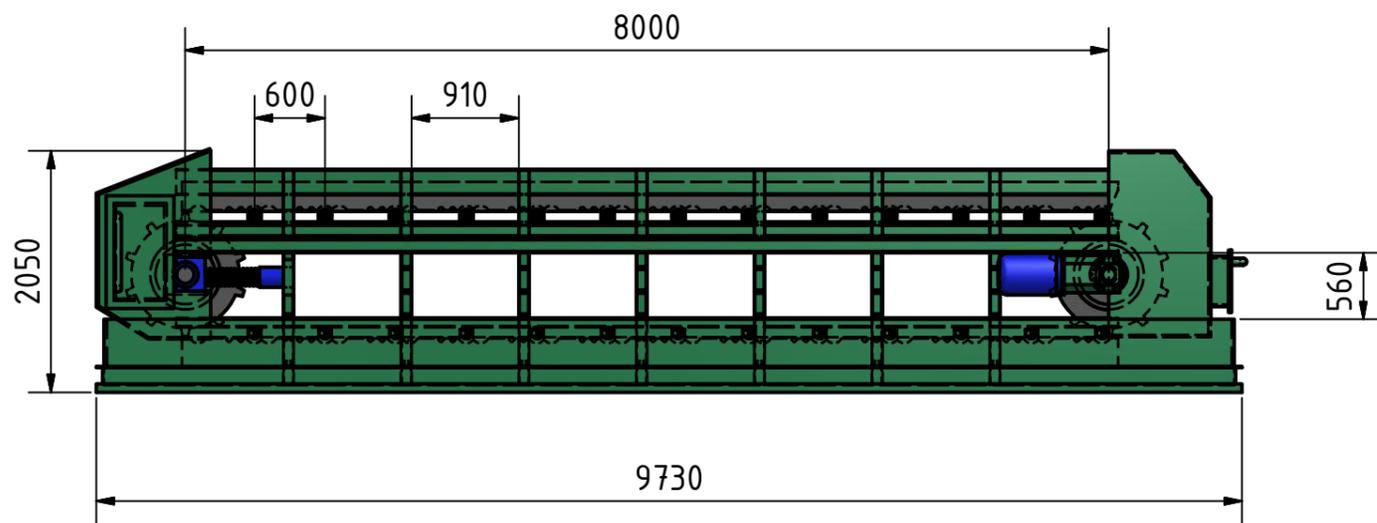
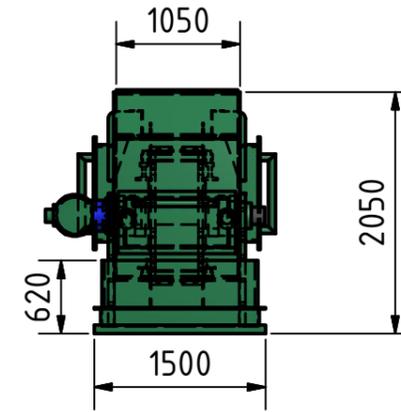
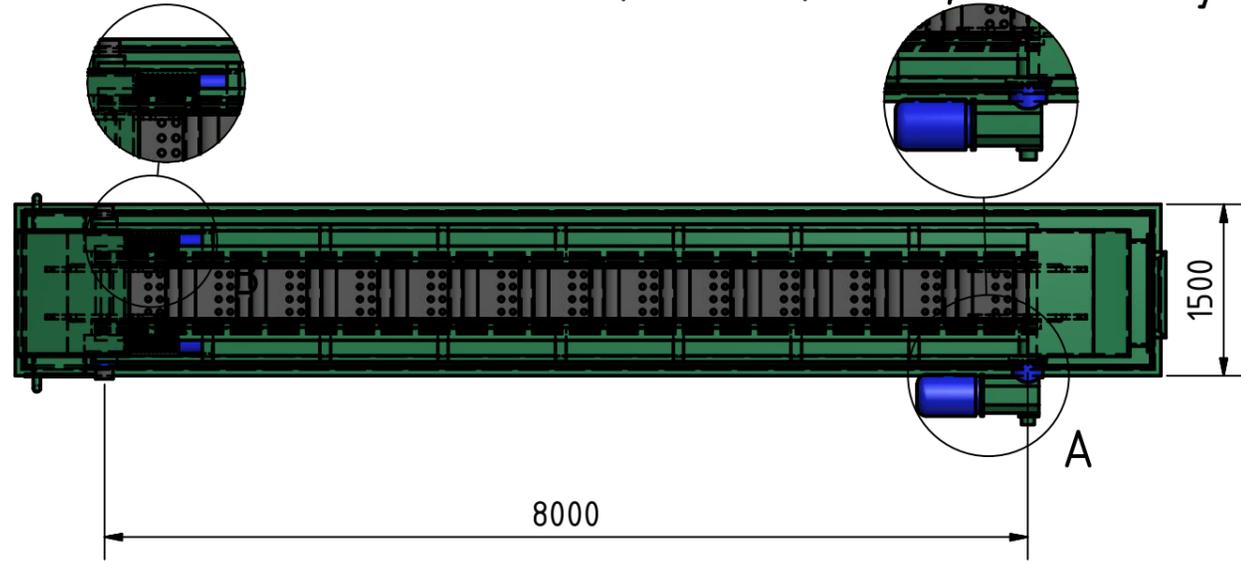
A ( 1 : 50 ) Motor, Reductor y Acople



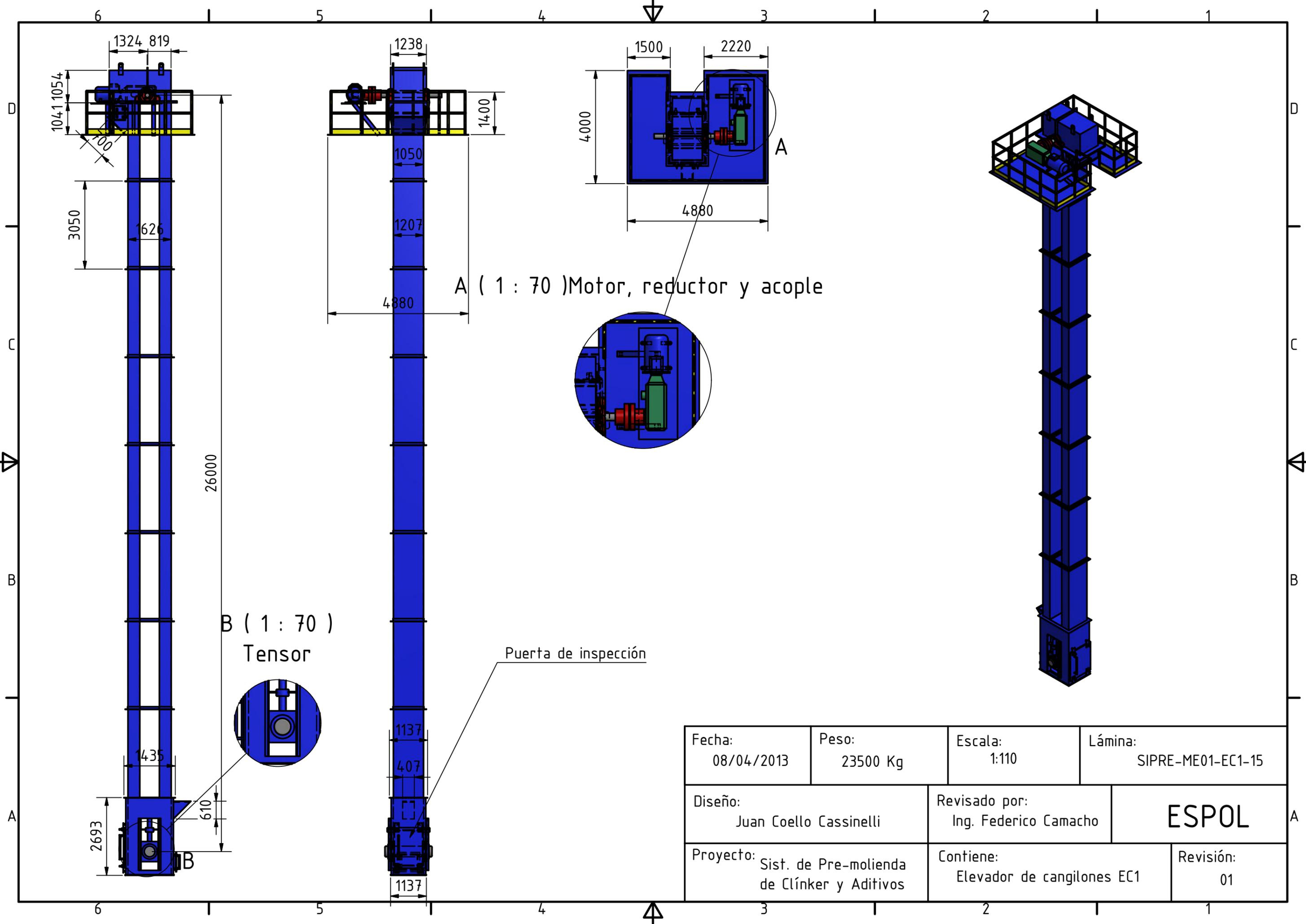
Fecha: 08/04/2013	Peso: 31043 kg	Escala: 1:70	Lámina: SIPRE-ME01-BD1-13
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Banda dosificadora BD1	

B ( 1 : 50 )Tensor

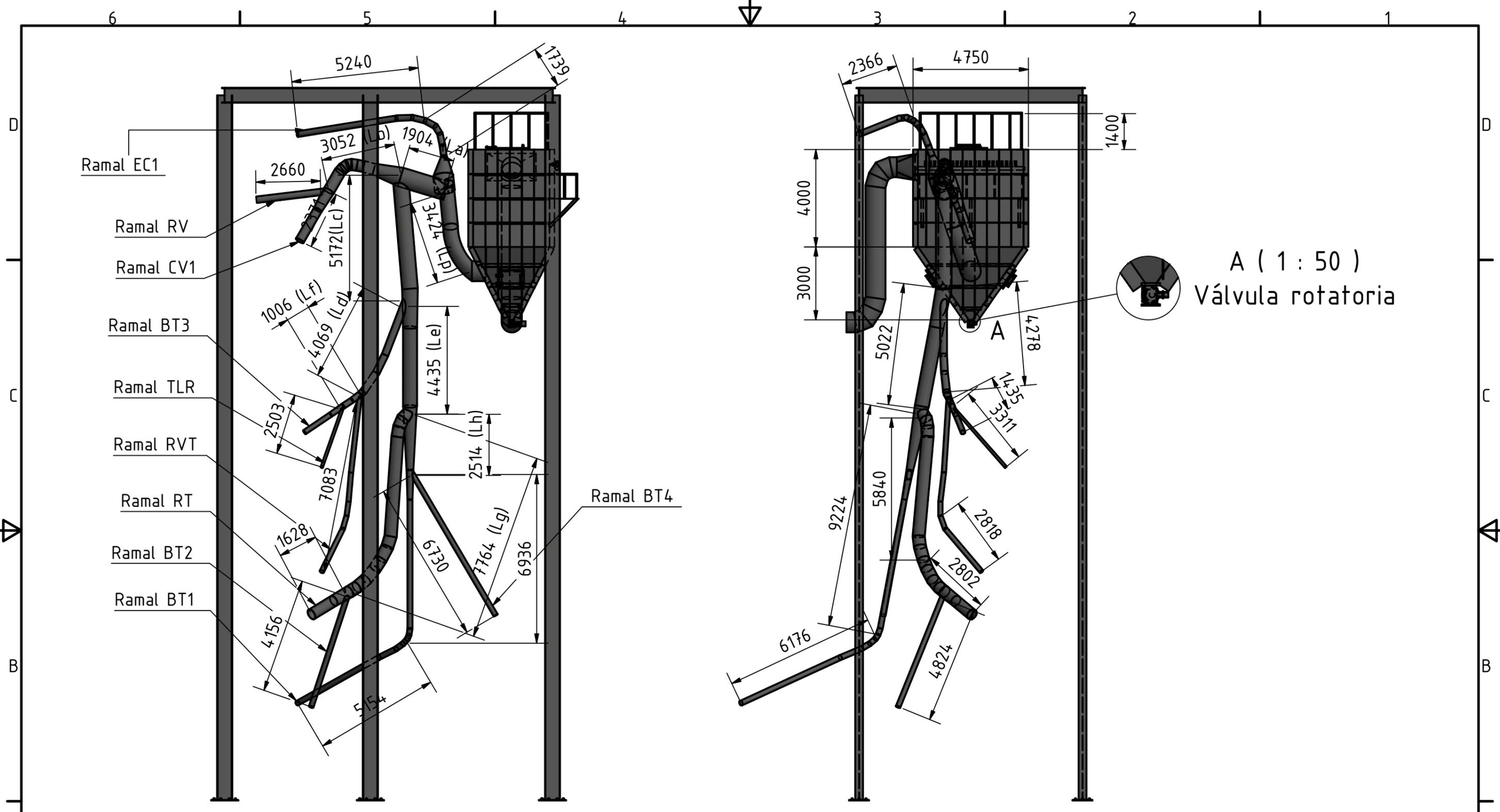
A ( 1 : 50 )Motor, reductor y acople



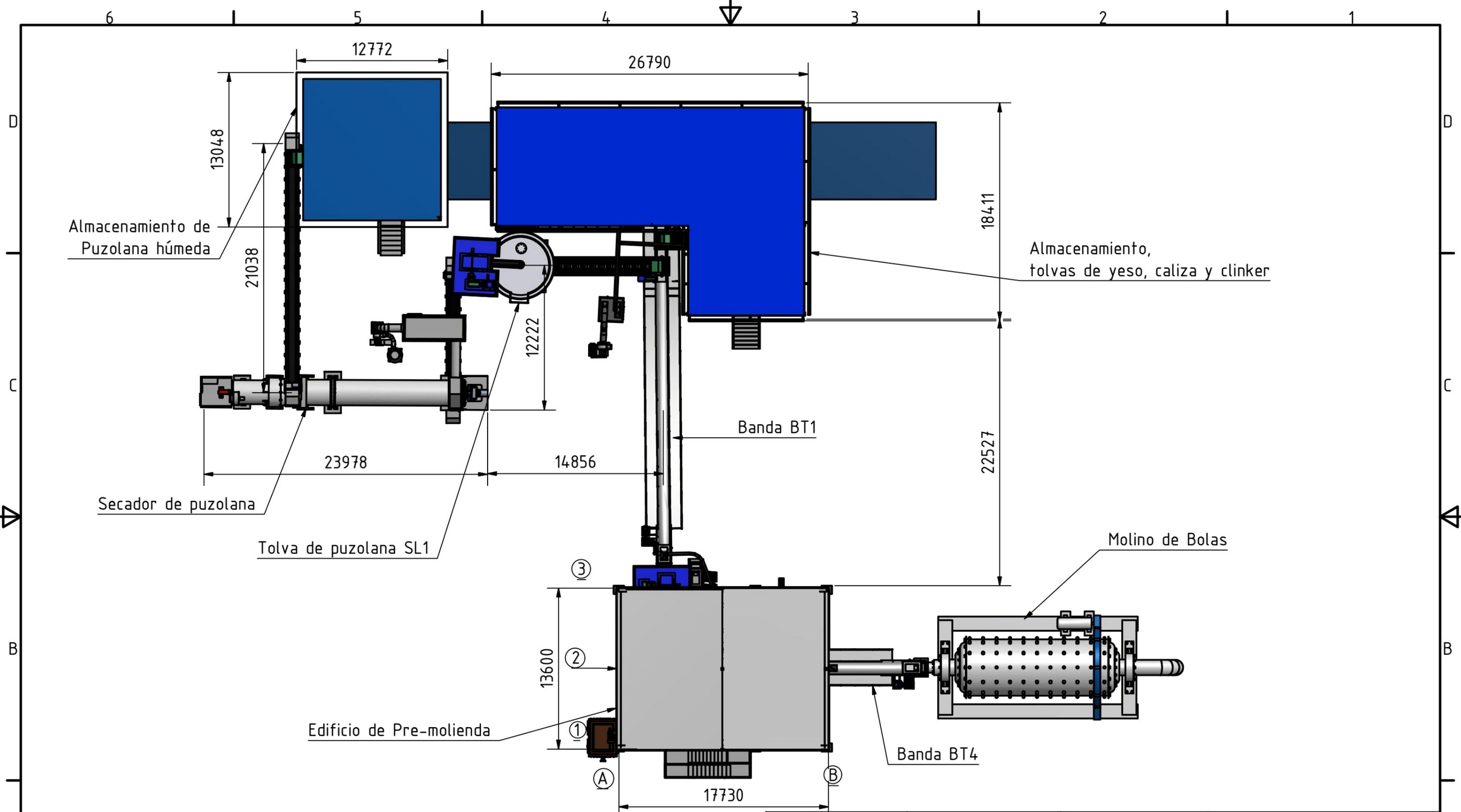
Fecha: 08/04/2013	Peso: 20980 Kg	Escala: 1:60	Lámina: SIPRE-ME01-BD2/3/4-14
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Bandas dosificadoras 2, 3 y 4	



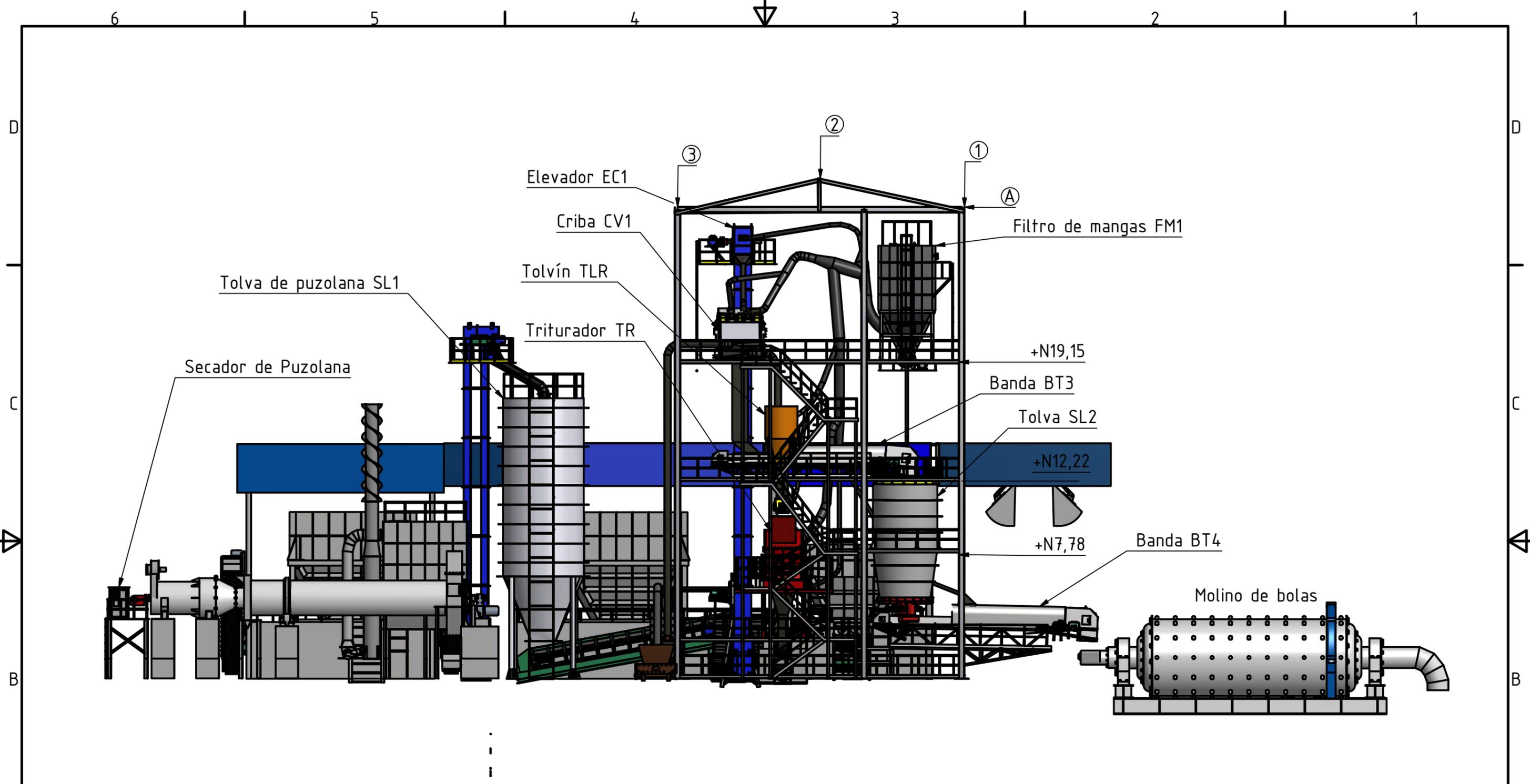
Fecha: 08/04/2013	Peso: 23500 Kg	Escala: 1:110	Lámina: SIPRE-ME01-EC1-15
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Elevador de cangilones EC1	



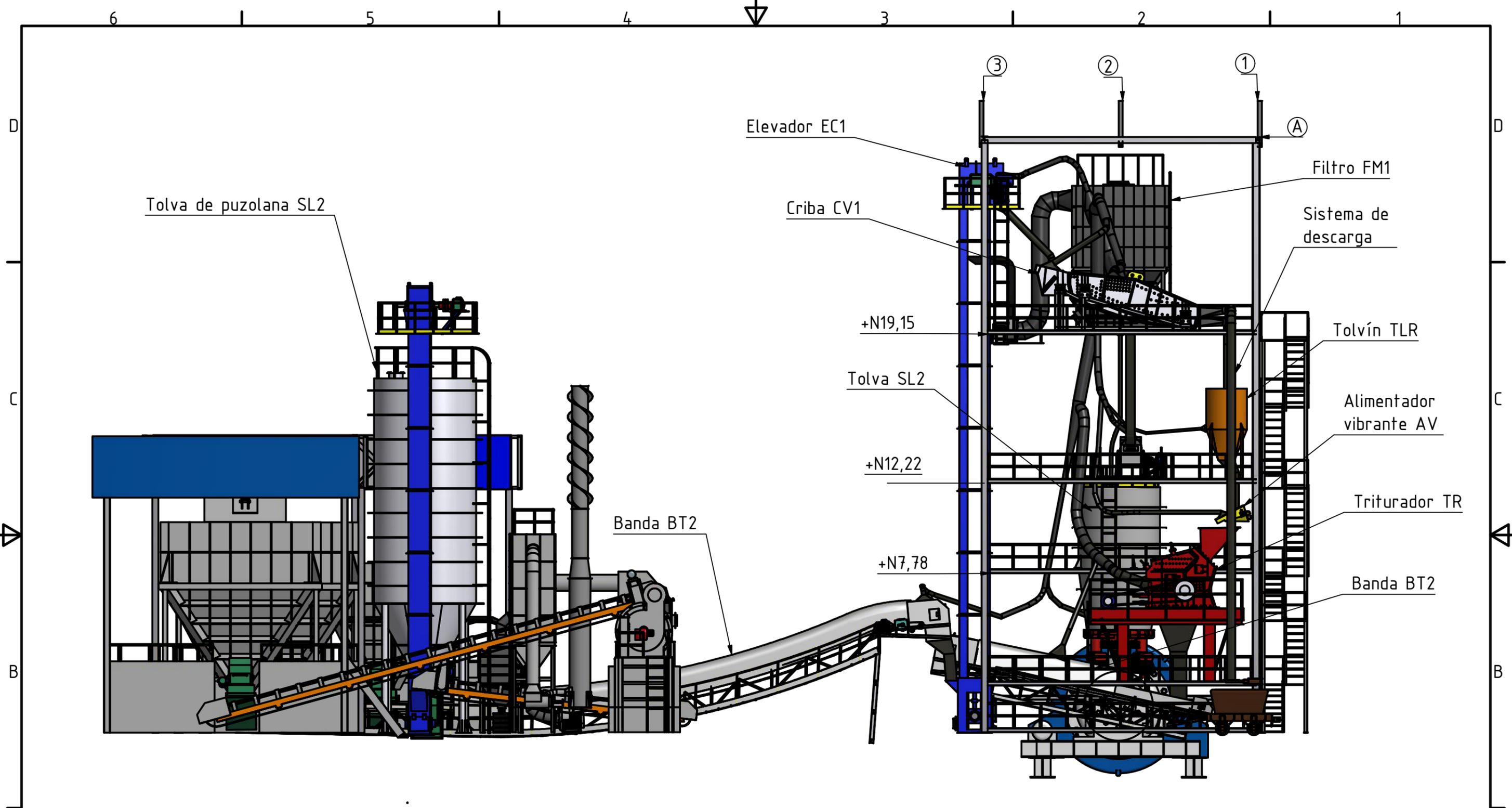
Fecha: 08/04/2013	Peso: 5677 Kg	Escala: 1:150	Lámina: SIPRE-ME01-FM1-16
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Filtro de desempolvado FM1	Revisión: 01



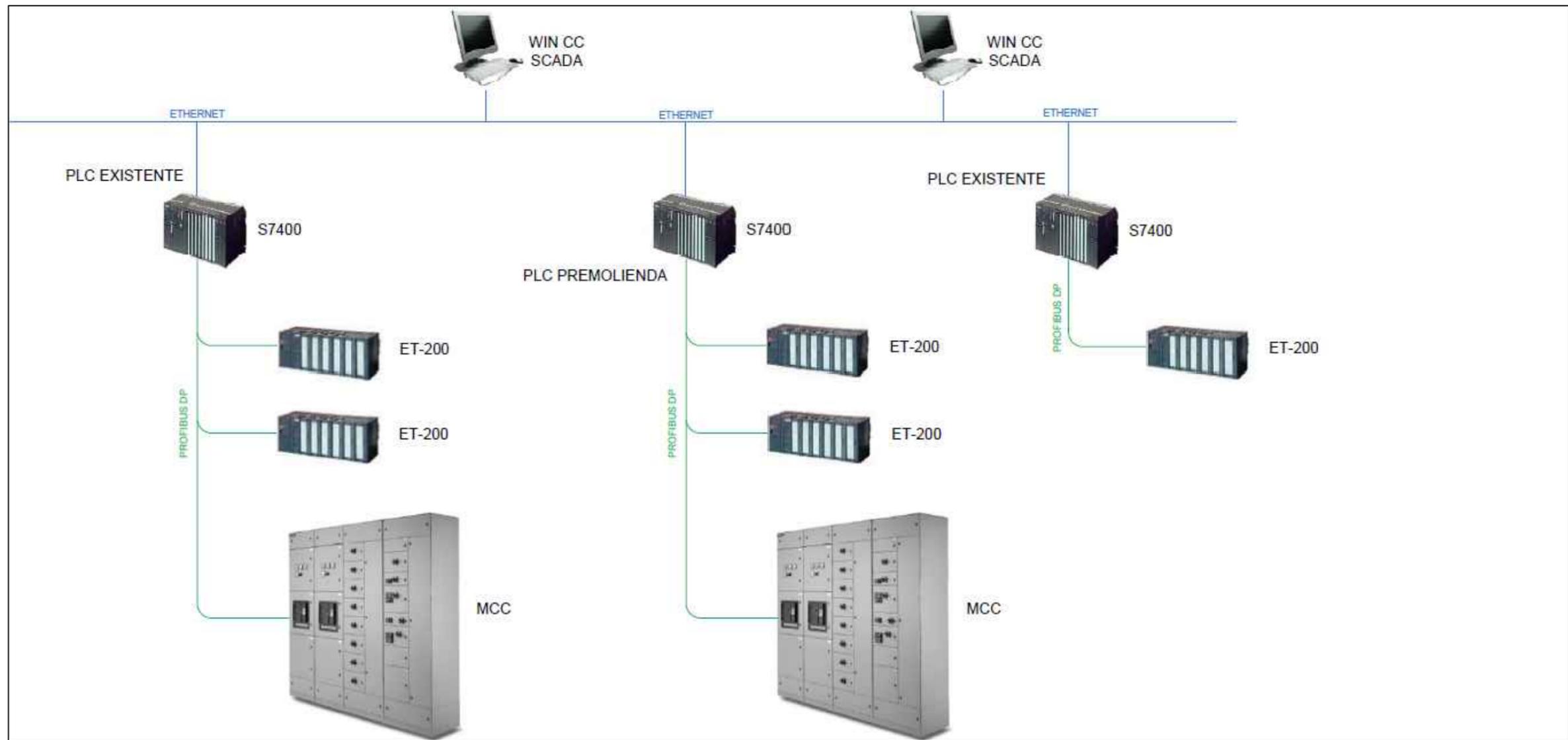
Fecha: 08/04/2013	Peso:	Escala: 1:300	Lámina: SIPRE-ME01-EDIFPRE-17
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Edificio de Pre-molienda vista de planta	Revisión: 01



Fecha: 08/04/2013	Peso:	Escala: 1:300	Lámina: SIPRE-ME01-EDIFPRE-18
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Edificio de Pre-molienda vista frontal	



Fecha: 08/04/2013	Peso:	Escala: 1:180	Lámina: SIPRE-ME01-EDIFPRE-19
Diseño: Juan Coello Cassinelli		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sist. de Pre-molienda de Clínker y Aditivos		Contiene: Edificio de Pre-molienda vista lateral	



Fecha: 8/4/2013	Peso:	Escala: 1:1	Lámina: SIPRE-SC01-ARQ-20
Diseño: Juan Coello C.		Revisado por: Ing. Federico Camacho	<b>ESPOL</b>
Proyecto: Sistema de Pre-molienda de Clinker y Aditivos		Contiene: Sistema de Control	Revisión: 01