

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Proyecto de un Sistema Mecánico para la Recepción,
Almacenamiento y Extracción de Carbón Mineral usado como
Combustible Industrial”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Patricio Daniel Moreno Altamirano

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

AGRADECIMIENTO

Agradezco antes que nada ni nadie a DIOS, todo lo que soy y tengo se lo debo a Él.

A mi mamá y mis hermanas, que siempre han estado a mi lado, en las buenas y las malas, han sabido ayudarme y darme ánimos para seguir adelante. Ellas son lo mejor que Dios a puesto en mi camino. Gracias por ser parte de mi vida.

A mis amigos y compañeros, que desinteresadamente han sabido acompañarme, ellos de una u otra manera son parte de este logro en mi vida. No creo que hubiera podido terminar mi carrera sin tenerlos cerca, ya sea para terminar una tarea o proyecto, estudiar para una lección o examen o simplemente para jugar cartas, gracias panas.

Agradezco en forma especial al Ing. Federico Camacho, que supo ser un excelente guía, no solamente en el desarrollo de mi tesis sino en mi carrera como profesional. Gran parte de mi formación se la debo al él.

DEDICATORIA

Esta Tesis la dedico a mi mamá y mis hermanas, Vivi y Patty. Ellas me dan fuerza, son la razón por la cual yo puedo salir adelante, con ellas a mi lado cualquier problema es superable.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Mario Patiño A.
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Federico Camacho B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL

Patricio Daniel Moreno Altamirano

RESUMEN

El carbón es el combustible fósil más abundante en el planeta y estará disponible aún después de que el petróleo y el gas natural escaseen. Es el combustible principal para producir electricidad en Estados Unidos y el más usado para la producción de clinker (50% y en aumento).

Una gran ventaja es su costo, el carbón es el combustible más barato por unidad de energía en comparación con el gas natural y el petróleo. Aunque, como todo combustible fósil, es contaminante, existen sistemas para disminuir su impacto ambiental a niveles tolerables y dentro de los límites permisibles. Además se están desarrollando nuevas tecnologías para la obtención de combustibles “limpios” a partir del carbón con costos razonables.

Uno de los mayores inconvenientes de un sistema que utiliza carbón como combustible es el elevado costo inicial de la instalación, por lo que solamente industrias grandes, con una alta capacidad de inversión, pueden optar por esta alternativa.

Todo lo expuesto anteriormente hace prever que el carbón seguirá siendo utilizado en el futuro, y aún más, su consumo aumentará.

Aunque en el Ecuador este combustible industrial no es muy utilizado se estima que, debido al aumento del precio del petróleo y a la estabilidad del precio del carbón, su consumo también aumentará; por tanto es necesario que se prevea de manera clara y objetiva todas las consideraciones necesarias para el transporte, almacenamiento, manipuleo y procesamiento del mismo, siguiendo las normas y recomendaciones establecidas para estos fines.

El objetivo de la presente Tesis es el desarrollo del proyecto completo de un sistema para la recepción, almacenamiento y extracción del carbón de su lugar de almacenamiento, con una capacidad de 100 toneladas por hora.

Primeramente se expondrá información general acerca de los combustibles utilizados, haciendo énfasis en el carbón mineral, sus propiedades y aplicaciones; además de las consideraciones ambientales y de seguridad que se tomarán en cuenta para poder desarrollar el proyecto.

Luego se describirán las opciones existentes para los diferentes sistemas que componen nuestro proyecto y se seleccionará el conjunto más adecuado. La tesis incluirá el diseño de: Sistema de Pesaje del Producto Recibido, Tolvas de Recepción y Alimentación al Proceso, Bandas Transportadoras y Nave de Almacenamiento. El resto de los equipos serán seleccionados de aquellos disponibles en el mercado.

El diseño de los sistemas y equipos será de acuerdo a las normas y disposiciones aplicables en cada caso, a saber: AISC, AWS, ASTM, OSHA.

Finalmente se presentará el análisis de costos el cual incluirá la construcción e importación de equipos, montaje y puesta en marcha y costos de operación.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	III
SIMBOLOGÍA.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.....	2
1. COMBUSTIBLES INDUSTRIALES.....	2
1.1. Generalidades.....	4
1.2. Costos Comparativos para la Obtención de Energía.....	7
1.3. El Carbón Mineral.....	10
1.3.1. Definición y Clasificación.....	11
1.3.2. Propiedades Químicas y Físicas.....	13
1.3.3. Consideraciones Ambientales.....	22
1.4. Normas para Almacenamiento y Transporte de Carbón Mineral.....	24

CAPÍTULO 2.....	40
2. SISTEMAS PARA RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN.....	40
2.1. Recepción.....	40
2.2. Almacenamiento.....	54
2.3. Extracción.....	59
2.4. Conjunto Seleccionado.....	63
 CAPÍTULO 3.....	 68
3. SISTEMA DE RECEPCIÓN.....	68
3.1. Descripción.....	69
3.2. Diseño y Selección de Equipos.....	71
3.2.1. Sistema de Pesaje.....	71
3.2.2. Tolva de Recepción.....	87
3.2.3. Bandas Transportadoras.....	111
3.2.4. Sistema de Desempolvado.....	129
 CAPÍTULO 4.....	 135
4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	135
4.1. Descripción.....	135
4.2. Diseño y Selección de Equipos.....	136
4.2.1. Apilador.....	138
4.2.2. Nave para Almacenamiento.....	141

CAPÍTULO 5.....	161
5. SISTEMA DE EXTRACCIÓN.....	161
5.1. Descripción.....	161
5.2. Diseño y Selección de Equipos.....	162
5.2.1. Extractor.....	162
5.2.2. Tolva de Alimentación.....	163
CAPÍTULO 6.....	171
6. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	171
6.1. Descripción.....	171
6.2. Selección de Dispositivos.....	176
CAPÍTULO 7.....	183
7. ANÁLISIS DE COSTOS.....	183
7.1. Costos de Fabricación e Importación de Equipos.....	183
7.2. Costos de Montaje y Puesta en Marcha.....	187
CAPÍTULO 8.....	192
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	192

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados o Celsius
°F	Grados Fahrenheit
°K	Grados Kelvin
AISC	Instituto Americano de Constructores de Acero (American Institute of Steel Constructors)
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
ASCE	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers)
ASTM	Sociedad Americana de Prueba de Materiales (American Society of Testing Materials)
BACT	Mejor tecnología de limpieza disponible (Better Available Clean Technology)
bbf	Barril
BTU	Unidad térmica inglesa (british thermal unit)
BTU/ft ³	Mega Joules sobre pie cúbico
BTU/lb	Unidad térmica inglesa sobre libra
BTU/lb °F	Unidad térmica inglesa sobre libras grado Fahrenheit
BTU/US Ton	Unidad térmica inglesa sobre tonelada americana
CaO	Óxido de calcio
CEMA	Asociación de Fabricantes de Equipos Eléctricos (Conveyor Equipment Manufacturers Association)
CFM	Pie cúbico sobre minuto (Cubic Feet per Minut)
CO ₂	Óxido de Carbono
DIN	Norma de Estándares Alemana
EPA	Asociación de Protección Ambiental (Environment Protecting Association)
Fe ₂ O ₃	Óxido de Hierro
FeS ₂	Sulfuro Férrico
ft	Pie
ft ²	Pie cuadrado
ft ³	Pie cúbico

g	Gramo
Gb	Giga barriles (10^9 barriles)
Hp	Caballo de potencia
J	Joules
K ₂ O	Óxido de potasio
kg	Kilogramo
kg/m ²	Kilogramo sobre metro cuadrado
kg/m ³	Kilogramo sobre metro cúbico
kgf	Kilogramo fuerza
kJ/kg °K	Kilo Joules sobre kilogramo grado Kelvin
kN	Kilo Newton
kW	Kilo Watt
l	Litro
lb	Libra
lb/ft ³	Libra sobre pie cúbico
LRFD	Diseño por factores de carga y resistencia (Load and Resistance Factor Desing)
m	Metro
m/s	Metro sobre segundo
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico sobre hora
m ³ /min	Metro cúbico sobre minuto
MgO	Óxido de magnesio
MJ	Mega Joules (10^6 Joules)
MJ/kg	Mega Joules sobre kilogramo
MJ/m ³	Mega Joules sobre metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
N	Newton
N/m	Newton sobre metro
N/m ²	Newton sobre metro cuadrado
N/mm	Newton sobre milímetro
NaO ₂	Óxido de sodio
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (National Electrical Manufacturers Association)
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra Incendios (National Fire Protecting Association)
NOx	Óxidos de nitrógeno

Pa	Pascal
Pa s	Pascal por segundo
ppm	Partes por millón
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundo
SiO ₂	Óxido de silicio
SO ₃	Óxido de azufre
TM / h	Tonelada métrica sobre hora
TM/m ₃	Tonelada métrica sobre metro cúbico
US gal	Galón americano
US Ton	Tonelada americana o corta (2000 libras)
USD	Dólar americano
USD/MJ	Dólar americano sobre Mega Joules
W	Carga uniformemente distribuida
WCI	Instituto Mundial del Carbón (World Coal Institute)
ZJ	10 ²¹ Joules

SIMBOLOGÍA

A	Área de sección transversal de la tolva Área de sección transversal del ducto
A_b	Área proyectada
A_g	Área de la sección transversal de vigas
α	Ángulo de inclinación de la tolva con respecto a la vertical
A_N	Área neta de la sección transversal de vigas
AP	Apilador
A_t	Área de la tela del colector de polvo Área tributaria
A_v	Área de corte
A_w	Área del alma
b	Ancho del ala de sección I Ancho de la pila de carbón
B	Ancho de la tolva
β	Ángulo de inclinación de la tolva con respecto a la horizontal
BT1	Banda Transportadora 1
BT2	Banda Transportadora 2
BT3	Banda Transportadora 3
CM	Carga muerta
CP	Colector de polvo
C_p	Factor de forma aerodinámica
CV	Carga viva
CW	Carga de viento
d	Diámetro del pin
D	Diámetro de Tubería
δ	Deflexión de la viga
ΔP_1	Caída de presión debido a fricción en tuberías
ΔP_2	Caída de presión en las mangas
EX	Extractor
f	Factor de fricción en tuberías

ϕ	Factor para la resistencia de elementos estructurales Ángulo de fricción interna del carbón.
ϕ_w	Ángulo de fricción entre paredes de tolva y carbón
f_s	Relación tela/aire para colector de polvo
FSI	Índice de hinchamiento libre
g	Aceleración de la gravedad
G	Factor de respuesta por ráfaga
h	Altura de la pila de carbón Altura del alma de sección I Distancia entre centro de masa del camión y paredes de la tolva
H	Altura de la tolva
HGI	Índice de molturabilidad Hardgroove
I	Factor de importancia
Kz	Coefficiente de exposición por presión de velocidad
Kzt	Factor topográfico
L	Longitud de viga para puente de pesaje
λ	Constante de Jansen
LNG	Gas natural licuado
L_T	Longitud de tubería
M	Masa de la pila de carbón
M_{MAX}	Momento flector máximo
μ	Viscosidad absoluta del aire
n	Relación de reducción de velocidad
NA	Nave para almacenamiento
ω_2	Velocidad de rotación del tambor motriz
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
P_D	Carga sobre eje delantero de camión
p_H	Presión horizontal sobre paredes verticales
p_{HI}	Presión horizontal al inicio de la tolva
p_I	Presión de impacto
P_n	Resistencia de diseño para elementos estructurales
p_N	Presión normal sobre paredes de la tolva
PP	Puente para pesaje
p_s	Sobrepresión debido al cambio de inclinación según normas DIN
P_T	Carga sobre eje trasero de camión
P_u	Carga de diseño sobre elementos estructurales

p_Y	Presión vertical sobre el material de la tolva
p_{YH}	Presión vertical a la altura H
p_{YO}	Presión vertical inicial
Q	Caudal requerido por el colector de polvo
q	Presión de referencia por velocidad
Q_h	Poder calorífico superior
Q_l	Poder calorífico inferior
q_Z	Presión de referencia por velocidad a una altura Z
R	Radio del tambor motriz
R	Carga sobre apoyo pivotante
R_1	Factor de reducción de carga viva debido a área tributaria
R_2	Factor de reducción de carga viva debido a pendiente del techo
Re	Constante de Reynolds
ρ	Densidad aparente del carbón
	Densidad del aire
S_{UT}	Resistencia máxima a la tensión
S_Y	Esfuerzo de fluencia
τ_w	Esfuerzo cortante sobre paredes de tolva
TA	Tolva de alimentación
TC	Tripper car
TD	Transportador de derrame
θ	Ángulo de impacto
t_f	Espesor del ala de sección I
TM	Tonelada métrica
TR	Tolva de recepción
tw	Espesor del alma de sección I
U	Perímetro de la sección transversal de la tolva
∇_1	Volumen de parte cónica de la pila de carbón
∇_2	Volumen de parte central de la pila de carbón
$\nabla_{DISEÑO}$	Volumen de diseño de tolva de recepción
$\nabla_{NOMINAL}$	Volumen nominal de tolva de recepción
∇_P	Volumen de la pila de carbón
V	Velocidad de impacto
	Velocidad lineal de la banda transportadora
V_c	Velocidad de captura
V_{MAX}	Fuerza cortante máxima
V_n	Resistencia al cortante para elementos estructurales
V_u	Fuerza cortante de diseño para elementos estructurales

W_{TOTAL} Peso total del camión para carbón
 x Distancia desde el apoyo izquierdo hasta el punto de aplicación de la carga en el puente de pesaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Consumo Mundial de Carbón	4
Figura 1.2	Variación del Precio del Petróleo	9
Figura 1.3	Gráfico General del Agotamiento del Petróleo y Gas Natural	9
Figura 1.4	Carbón Mineral	11
Figura 1.5	Proceso de Transformación del Carbón	21
Figura 2.1	Puente de Pesaje para Camiones	42
Figura 2.2	Tolva de Flujo de Masa	43
Figura 2.3	Tolva de Flujo de Embudo	44
Figura 2.4	Tolva con Alimentador de Tornillo	46
Figura 2.5	Tolva con Alimentador de Banda	47
Figura 2.6	Tornillo Transportador	48
Figura 2.7	Transportador de Banda	50
Figura 2.8	Elevador de Cangilones	51
Figura 2.9	Clasificación de Transportadores Vibratorios	52
Figura 2.10	Parques Rectangulares de Almacenamiento	54
Figura 2.11	Parque Circular de Almacenamiento	55
Figura 2.12	Disposiciones de Descarga	55
Figura 2.13	Apilador Comercial	57
Figura 2.14	Apilador de dos Cuerpos	58
Figura 2.15	Carro de Descarga Comercial	58
Figura 2.16	Almacenamiento y Extracción por Transportador de Banda	59
Figura 2.17	Extractor de Rueda de Cangilones	60
Figura 2.18	Extractor Lateral	61
Figura 2.19	Extractor de Semipórtico	62
Figura 2.20	Extractor de Pórtico	62
Figura 2.21	Esquema del Proyecto Completo para el Sistema de Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón	63

Figura 2.22	Esquema Final del Proyecto Completo	63
Figura 3.1	Espacio Disponible para el Proyecto	69
Figura 3.2	Esquema del Sistema de Recepción	70
Figura 3.3	Puente de Pesaje	72
Figura 3.4	Diagrama de Cuerpo Libre Situación 1	74
Figura 3.5	Diagrama de Cortante y Momento Situación 1	75
Figura 3.6	Línea de Influencia de Fuerza Cortante en Apoyo Izquierdo	76
Figura 3.7	Línea de Influencia de Momento Flector en Punto de Aplicación de la Carga	76
Figura 3.8	Diagrama de Cuerpo Libre Situación 2	77
Figura 3.9	Diagrama de Cuerpo Libre Situación 3	78
Figura 3.10	Momento Flector Máximo	79
Figura 3.11	Fuerza Cortante Máxima	79
Figura 3.12	Elemento FRAME	81
Figura 3.13	Modelo Utilizado para Puente de Pesaje	82
Figura 3.14	Secciones de Vigas Seleccionadas	82
Figura 3.15	Relaciones Carga/Resistencia para Puente de Pesaje	84
Figura 3.16	Celda de Carga Seleccionada	86
Figura 3.17	Descarga de Camiones	88
Figura 3.18	Ángulo Necesario para Flujo de Masa	90
Figura 3.19	Arcos Formados en Tolva	91
Figura 3.20	Medidas Principales de Tolva de Recepción	92
Figura 3.21	Figura 3.21: Comparación entre Presiones de Fluido y Sólido	93
Figura 3.22	Estado de Esfuerzos Activo y Pasivo	94
Figura 3.23	Punto de Referencia para "y" en la Tolva	96
Figura 3.24	Presiones en Estado Activo de Esfuerzos	97
Figura 3.25	Presiones en Estado Pasivo de Esfuerzos	98
Figura 3.26	Presiones Debido al Material en la Tolva	98
Figura 3.27	Presiones Debido al Material sobre la Tolva	99
Figura 3.28	Sobrepresión en el Cambio de Sección	101
Figura 3.29	Presiones Según Normas DIN 1055	101
Figura 3.30	Presión de Impacto en la Tolva	103
Figura 3.31	Elemento SHELL	104
Figura 3.32	Esfuerzos en Tolva de Recepción	105
Figura 3.33	Diseño de Forma Válvula de Pines	106
Figura 3.34	Diagrama de Cuerpo Libre del Pin	107

Figura 3.35	Diseño de Forma de Estructura de Soporte de Tolva de Recepción	110
Figura 3.36	Diseño de Forma Banda BT1	112
Figura 3.37	Diseño de Forma Banda BT2	121
Figura 3.38	Poleas en Banda BT2	122
Figura 3.39	Desempolvado de Tolva de Recepción	130
Figura 3.40	Filtro de Mangas	131
Figura 3.41	Ubicación de Colector de Polvo	131
Figura 3.42	Curva de Operación del Ventilador	134
Figura 4.1	Esquema del Sistema para Almacenamiento de Carbón	135
Figura 4.2	Sección Transversal de la Pila	136
Figura 4.3	Pila de Carbón	138
Figura 4.4	Apilador (Stacker)	139
Figura 4.5	Carro de Descarga (Tripper Car)	140
Figura 4.6	Longitud de Rieles para Apilador y Carro de Descarga	141
Figura 4.7	Tipos de Estructuras para Cubiertas	143
Figura 4.8	Medidas Principales para Nave de Almacenamiento	144
Figura 4.9	Área Tributaria de Cercha	146
Figura 4.10	Carga de Viento sobre Techos y Muros	150
Figura 4.11	Modelo de Arco	153
Figura 4.12	Apoyo Pivotante	156
Figura 5.1	Sistema de Extracción para Pila de Carbón	161
Figura 5.2	Extractor	163
Figura 5.3	Espacio Disponible para Tolva de Alimentación	164
Figura 5.4	Medidas Principales de Tolva de Alimentación	164
Figura 5.5	Presión en Estado Activo de Esfuerzos en Tolva de Alimentación	165
Figura 5.6	Presión en Estado Pasivo de Esfuerzos en Tolva de Alimentación	166
Figura 5.7	Presión según Normas DIN 1055	167
Figura 5.8	Presión de Impacto	168
Figura 5.9	Modelo de Tolva de Alimentación	169
Figura 5.10	Esfuerzos en Tolva de Alimentación	170
Figura 6.1	Esquema Final del Proyecto Completo	172
Figura 6.2	Simbología de Botoneras de Marcha y Parada	177
Figura 6.3	Simbología de Relés y Contactos	180

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Reservas de energía en EEUU	3
Tabla 2:	Contenido energético de combustibles	3
Tabla 3:	Evolución de precios con el tiempo de combustibles fósiles	8
Tabla 4:	Clasificación del carbón mineral	12
Tabla 5:	Composición química del carbón mineral	16
Tabla 6:	Composición química de las cenizas del carbón	17
Tabla 7:	Densidad del carbón	18
Tabla 8:	Calor específico del carbón bituminoso y antracita	19
Tabla 9:	Calor específico medio de escoria y cenizas del carbón	
Tabla 10:	Técnicas de control de la contaminación	23
Tabla 11:	Altura recomendada de pilas de carbón	33
Tabla 12:	Características principales de tolvas de flujo de masa y de flujo de embudo	45
Tabla 13:	Transportadores para materiales a granel	53
Tabla 14:	Especificaciones técnicas banda transportadora BT1	119
Tabla 15:	Especificaciones técnicas banda transportadora BT1	122
Tabla 16:	Especificaciones técnicas banda transportadora BT1	126
Tabla 17:	Coeficiente de exposición	148
Tabla 18:	Factor de Importancia	149
Tabla 19:	Coeficiente C_p de presión sobre muros	150
Tabla 20:	Coeficiente C_p de presión sobre techos para usarse con q_h	151
Tabla 21:	Carga de viento en estructura de nave	152
Tabla 22:	Tiempo que tarda el material en recorrer bandas	174
Tabla 23:	Cálculo del valor CIF	184
Tabla 24:	Costos de equipos e importación	185

Tabla 25:	Costos de fabricación	186
Tabla 26:	Costos de montaje	188
Tabla 27:	Costo total del proyecto	190

INTRODUCCIÓN

La presente tesis trata acerca el desarrollo de un “Proyecto de un Sistema Mecánico para la Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón Mineral Usado como Combustible Industrial”, con lo cual se pretende establecer de una manera clara y precisa todas las consideraciones que hay que tomar en cuenta para la manipulación de este combustible en forma segura.

Debido al aumento de los precios del petróleo y gas natural y la estabilidad del precio del carbón (por motivo de su abundancia), se puede prever que el consumo de este combustible aumentará en un futuro no muy lejano. Un claro ejemplo es la Industria Cementera, en la cual la utilización del carbón mineral como combustible industrial ha venido en aumento para la producción de clinker.

Al inicio de dará información general acerca del carbón mineral, exponiendo toda la información necesaria para poder desarrollar el Proyecto del cual es objeto la presente tesis. Luego de escogerá el conjunto más adecuado para nuestras necesidades y se presentará de manera detallada cada uno de los sistemas que componen el Proyecto. Finalmente se hará el análisis de costos de Fabricación, importación y montaje.

CAPÍTULO 1

1. COMBUSTIBLES INDUSTRIALES.

Las fuentes mundiales probadas de energía son grandes. Las reservas más importantes existentes que se conocen de petróleo, que se utiliza fundamentalmente para producir carburantes para el transporte, están localizadas en el Medio Oriente, a lo largo del ecuador, y la antigua Unión Soviética. Existen grandes reservas de gas natural en la antigua Unión Soviética y en el Oriente Medio.

El carbón es el combustible más abundante en la tierra y el combustible principal para producir electricidad en Estados Unidos. El consumo anual mundial de energía es aún inferior a 1% de las reservas mundiales combinadas de combustibles fósiles.

Las fuentes y reservas de los principales combustibles fósiles en los Estados Unidos de América (carbón, petróleo y gas natural) son las que se indican a continuación:

TABLA 1
RESERVAS DE ENERGÍA EN EEUU

Combustible	Reservas Probadas (ZJ)	Reservas Probables (ZJ)	Reservas Posibles (ZJ)
Carbón	7.3		110
Petróleo	0.15	0.31	
Gas natural	0.19	0.43	

ZJ = 10^{21} J (Para convertir a 10^{18} BTU, multiplicar por 0.948)

Referencia: Manual del Ingeniero Químico (Robert H. Perry), 2001.

El contenido energético de los combustibles fósiles, medido en cantidades de uso común, es el siguiente:

TABLA 2
CONTENIDO ENERGÉTICO DE COMBUSTIBLES (1)

Carbón bituminoso y antracita	30.2 MJ/kg	26×10^6 Btu/US ton
Carbón sub-bituminoso y lignito	23.2 MJ/kg	20×10^6 Btu/US ton
Petróleo Crudo	44.3 MJ/kg	38×10^6 Btu/US ton
Gas natural	38.4 MJ/m ³	1032 Btu/ft ³

1 bbl = 42 US gal = 159 l = 0.159 m³

Referencia: Manual del Ingeniero Químico (Robert H. Perry), 2001.

La figura 1.1 muestra el consumo mundial de carbón en millones de toneladas cortas o US ton (2000 lb).

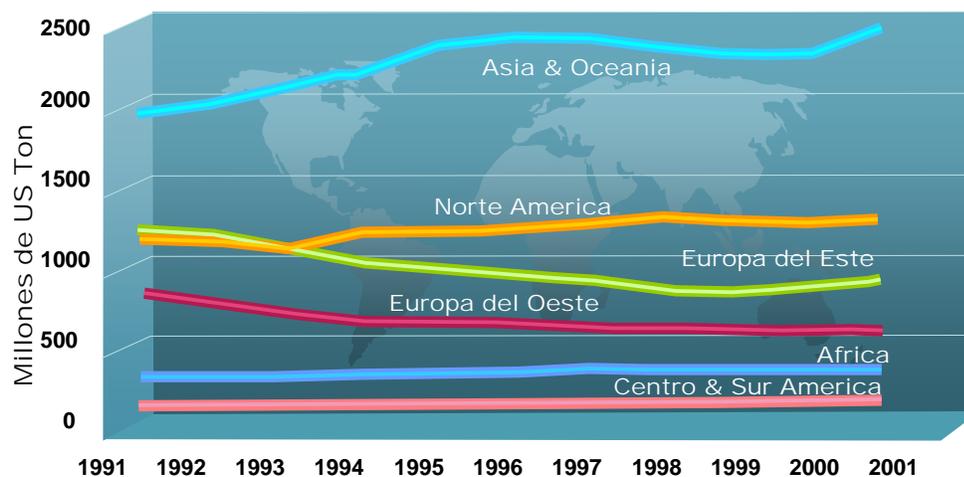


Figura 1.1: Consumo Mundial de Carbón

1.1. Generalidades.

Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo.

Los principales combustibles líquidos derivados del petróleo se obtienen mediante la destilación fraccionada del petróleo crudo (una mezcla de hidrocarburos y derivados de hidrocarburos que se encuentran en el intervalo desde el metano hasta compuestos bituminosos pesados). Desde un cuarto hasta la mitad de las moléculas del petróleo crudo pueden contener átomos de azufre y algunas contienen nitrógeno, oxígeno, vanadio, níquel o arsénico. Algunas fracciones escogidas se pueden someter a desulfuración, hidrogenación, descomposición térmica (a un peso molecular mas bajo) y otros procesos de refino, antes de mezclarse y venderse como carburantes.

Los combustibles derivados del petróleo contienen primordialmente parafinas, isoparafinas, productos aromáticos y naftenos; además derivados de azufre, oxígeno y nitrógeno, que no se retiraron mediante el refino. Las olefinas se encuentran ausentes o en proporciones despreciables, excepto cuando se crean mediante un refino severo. Los destilados de torres de vacío con un punto de ebullición final equivalente de 730 a 840°K (850 a 1050°F) a presión atmosférica, pueden contener de 0.1 a 0.5 ppm de vanadio y níquel.

Los fondos (residuos) negros y viscosos de las torres de destilación se pueden tomar directamente del destilador y quemarse como combustibles industriales sin enfriamiento por debajo de 200 °C o más; o se pueden mezclar con combustibles residuales comerciales. Al diluirse 5 al 20% de destilado se producen aceites combustibles del número 4 y 5, para usos comerciales. Las mezclas de residuos y destilados se usan también como carburantes diesel en los grandes motores estacionarios y marinos. Sin embargo, los destilados con un poder disolvente inadecuado hacen que se precipiten asfaltenos y otros coloides de peso molecular elevado de los residuos de viscorreducción.

El aceite combustible del número 6 contiene de 10 a 500 ppm de vanadio y níquel en moléculas orgánicas complejas, principalmente porfirinas, que no se pueden refinar económicamente, excepto incidentalmente durante una hidrodeshulfuración intensa.

También puede haber sales, arena, herrumbre y polvo, que le dan al combustible número 6 un contenido usual de cenizas de 0.01 a 0.5% en peso.

Combustibles Gaseosos

Gas Natural. El gas natural es un combustible que se obtiene de rocas porosas del interior de la corteza terrestre, y que se encuentra mezclado con el petróleo crudo cerca de yacimientos del mismo. La manera más común en que se encuentra este combustible es atrapado entre el petróleo y una capa rocosa impermeable.

El gas natural se compone de hidrocarburos con un punto de ebullición muy bajo. El metano es el principal constituyente de este combustible con un punto de ebullición -154°C . El etano, con un punto de ebullición de -89°C , puede estar presente en cantidades de hasta 10%; el propano, cuyo punto de ebullición es de hasta -42°C , hasta 3%. El butano, pentano, hexano, heptano y octano también pueden estar presentes.

Gas Natural Licuado.- Las ventajas de almacenar en forma licuada se derivan del hecho que $0,035\text{ m}^3$ de metano líquido a -162°C es aproximadamente igual a 18 m^3 de metano gaseoso. El LNG se almacena dentro de recipientes de hormigón pretensado o de paredes metálicas dobles, dentro de tierra congelada, en cavernas naturales o dentro de minas agotadas.

Gas Licuado de Petróleo.- El término gas licuado de petróleo se aplica a ciertos hidrocarburos específicos que se pueden licuar a presiones moderadas y temperaturas normales, pero que son gaseosos en condiciones atmosféricas normales. Los principales constituyentes del gas licuado de petróleo son propano, propileno, butano, butileno e isobutano. Estos gases se utilizan mucho para servicios domésticos y se suministran en bombonas o mediante líneas de tuberías.

Combustibles Sólidos.

Carbón Mineral.

El carbón es un tipo de roca formada por el elemento químico carbono mezclado con otras sustancias. Es una de las principales fuentes de energía, en 1990, por ejemplo, el carbón suministraba el **27,2% de la energía eléctrica comercial** del mundo. Además de la generación de energía, las industrias que más lo utilizan son la del acero y del cemento. Más adelante se hablará en detalle de su clasificación y propiedades.

1.2. Costos Comparativos para la Obtención de Energía.

El carbón es el combustible fósil más abundante y estará disponible aún después de que el petróleo y el gas natural escaseen. Los esfuerzos actuales de investigación, desarrollo y demostración tienen como objetivos implementar las mejoras técnicas, económicamente viables, de algunos procesos antiguos o de primera generación.

Además se buscan nuevos caminos con el fin de lograr los mismos objetivos: procesos baratos y limpios para la conversión del carbón.

En la tabla 3 se puede observar claramente que el carbón es el combustible fósil más barato por unidad de energía, además el precio de este es estable y en la última década con tendencia a la baja.

TABLA 3
EVOLUCIÓN DE PRECIOS CON EL TIEMPO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Año	Carbón bituminoso y lignito Centavos de USD/MJ	Gas Natural Centavos de USD/MJ	Petróleo Centavos de USD/MJ
1975	0.091	0.041	0.13
1980	0.11	0.15	0.35
1985	0.12	0.23	0.39
1990	0.10	0.16	0.33
1993	0.094	0.19	0.22
2005*	0.15	0.51	0.82

* Los precios son medias del primer trimestre del año obtenidas en el mercado internacional.

Referencia: Annual Energy Review 1994, Energy Information Administration, Julio 1995. Los precios son medias nacionales en el año indicado en EEUU.

En la figura 1.2 se muestra la evolución del precio del barril de petróleo en los últimos años, como es sabido, este se ha disparado hasta bordear valores por encima de los USD 40.00.

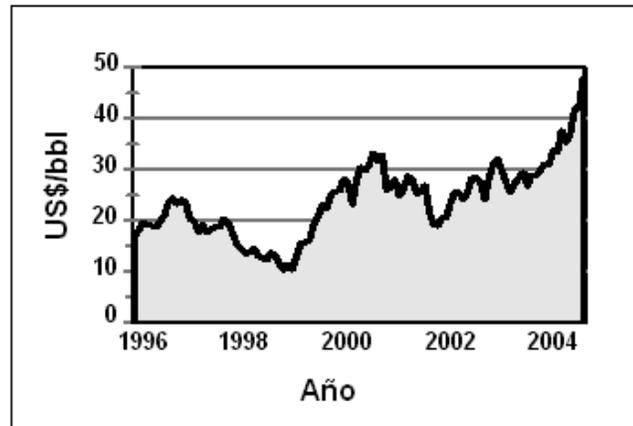


Figura 1.2: Variación del Precio del Petróleo (2)

Estudios realizados muestran que el petróleo y el gas natural están llegando a su cenit, el cual ocurrirá en esta década. La figura 1.3 muestra cual es la tendencia de la producción mundial del petróleo. De acuerdo al gráfico para el año 2050 se tendrá una producción de petróleo menor a la mitad a la actual.

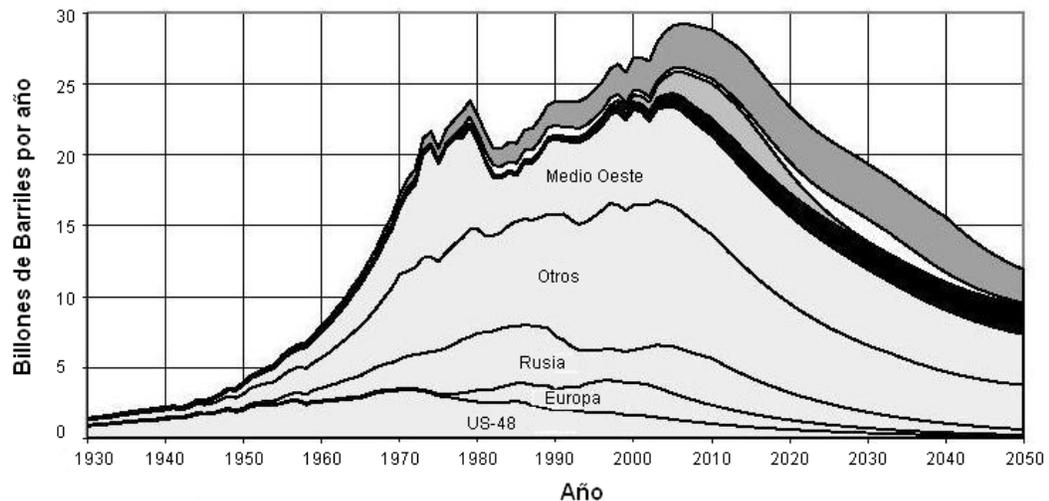


Figura 1.3: Gráfico General del Agotamiento del Petróleo y Gas Natural

La perforación exploratoria ha ido cayendo debido a la falta de resultados, mostrando una curva de descubrimientos con tendencia plana frente a las perforaciones exploratorias.

Unas 75.000 perforaciones han proporcionado unos 2.250 Gb de petróleo y gas, al extrapolar la curva se sugiere que si se llegasen a realizar en el futuro tantas perforaciones exploratorias como en el pasado, el total de los descubrimientos difícilmente excedería de los 22,5 billones de barriles de petróleo equivalente (3). La mayor parte de la producción prevista para el 2030 tendrá que provenir de la “capacidad aún no establecida”, mostrando que la capacidad actual está en rápido declive. Otro aspecto a tomar en cuenta es que los campos sauditas existentes están destinados a caer a un ritmo de un 6% anual. La hipotética inversión total necesaria para desarrollar la producción prevista para el 2030 se estima en 3 billones de dólares, pero ciertos factores podrían desanimar las inversiones (3).

1.3. El Carbón Mineral.

El carbón se originó a partir de los restos, en descomposición interrumpida, de árboles, arbustos, helechos, musgos, lianas y otras formas de vida vegetal, que florecen en lodazales y pantanos enormes, hace muchos millones de años, durante periodos prolongados de clima húmedo y tropical y con precipitaciones pluviales abundantes.

El precursor del carbón fue la turba, que se formó mediante la acción bacteriana y química sobre los desechos de plantas. Las acciones subsiguientes del calor, la presión y otros fenómenos físicos transformaron la turba para convertirla en las diversas clases de carbón que se conocen en la actualidad. Debido a los diversos grados de cambios metamórficos durante este proceso, el carbón no es una sustancia uniforme; no hay dos carbones iguales en ningún aspecto.



Figura 1.4: Carbón Mineral

1.3.1. Definición y Clasificación.

Definición.

El carbón es un combustible sólido, de color pardo o negro, principalmente de origen vegetal. El carbón mineral que se extrae en la actualidad se emplea principalmente en las grandes ciudades termoeléctricas, en la obtención de coque metalúrgico y en industrias carboquímicas, para la fabricación de plásticos, desinfectantes, y productos farmacéuticos.

Clasificación.

Los carbones se clasifican por categorías, o sea, según el grado de metamorfismo en la serie que va desde el lignito a la antracita. En la tabla 4 se muestra el sistema de clasificación adoptado por la American Society for Testing Materials (D 388-92^a).

TABLA 4
CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN MINERAL

Clase / Grupo	Límites de carbono fijo * %		Límites de materia volátil * %		Límites del poder calorífico bruto (húmedo pero libre de ganga) †				Aglomerabilidad
	≥	<	≥	<	MJ/kg		Btu/lb		
					≥	<	≥	<	
Antracitas:									No aglomerante
Metaantracita	98	--	--	2	--	--	--	--	
Antracita	92	98	2	8	--	--	--	--	
Semiantracita **	86	92	8	14	--	--	--	--	
Bituminosos (hullas):									Generalmente aglomerante [‡]
Bituminoso bajo en volátiles	78	86	14	22	--	--	--	--	
Bituminoso medio en volátiles	69	78	22	31	--	--	--	--	
Bituminoso A alto en volátiles	--	69	31	--	32.6	--	14000 [§]	--	
Bituminoso B alto en volátiles	--	--	--	--	30.2	32.6	13000 [§]	14000	
Bituminoso C alto en volátiles	--	--	--	--	26.7	30.2	11500	13000	
					24.4	26.7	10500	11500	Aglomerantes
Subbituminosos (hullas):									No aglomerante
Subbituminoso A	--	--	--	--	24.4	26.7	10500	11500	
Subbituminoso B	--	--	--	--	22.1	24.4	9500	10500	
Subbituminoso C	--	--	--	--	19.3	22.1	8300	9500	
Lignitos:									
Lignito A	--	--	--	--	14.7	19.3	6300	8300	
Lignito B	--	--	--	--	--	14.7	--	6300	

Datos procedentes del libro anual 1994 de normas ASTM, vol. 5, D 388 (1994).

* Base seca y libre de ganga

† Humedad se refiere al contenido natural de humedad en el carbón pero no incluye el agua visible sobre la superficie

** Si es aglomerante, clasificar en el grupo de bajos volátiles de la clase subbituminosa.

§ Carbones que contienen un 69% o más de carbono fijo sobre base seca y libre de mineral, se clasifica de acuerdo con el contenido en carbono fijo, sin tener en cuenta el poder calorífico bruto

‡ Se reconoce que puede haber variedades no aglomerantes en estos grupos de clase bituminosa, y hay excepciones notables en el grupo de carbón bituminoso C

Referencia: Manual del Ingeniero Químico (Roberth H. Perry).

El poder calorífico se considera sobre base húmeda y el carbón fijo sobre base seca, ambas están libres de materia mineral (ganga).

Los carbones de categoría más baja se clasifican según el poder calorífico J/kg (Btu/lb) sobre base húmeda libre de material mineral. El carácter de aglomeración se utiliza para establecer diferencias entre grupos adyacentes. Se considera que los carbones se aglomeran si la muestra restante de coque, en la prueba para detectar materia volátil, soporta un peso de 500 g, si la muestra se dilata o si tiene una estructura celular porosa.

1.3.2. Propiedades Químicas y Físicas.

Composición y poder calorífico.

La composición del carbón se da en general de dos modos distintos: el análisis aproximado y el final, expresados en porcentajes de peso.

El ***análisis aproximado*** es la determinación, por métodos prescritos, de la humedad, la materia volátil, el carbono fijo y las cenizas. La humedad total en el carbón se compone de humedad inherente o ligada y de humedad libre.

La humedad inherente, conocida también como de fondo y de equilibrio, existe como indicativo de la calidad del carbón en su base natural.

La humedad libre, denominada también superficial, es la parte de humedad total que se pierde cuando el carbón es secado con aire en condiciones normalizadas.

La **materia volátil** es la porción del carbón que, cuando se calienta éste en ausencia de aire y en condiciones prescritas, se libera en forma de gases y vapores. En el carbón no existe materia volátil por si misma, con excepción de un poco de metano absorbido, pero aquello se produce debido a la descomposición térmica de las sustancias del carbón.

El **carbono fijo** es el residuo que queda después de que se retira la materia volátil y se calcula restando de 100 los porcentajes de humedad, materia volátil y cenizas obtenidas del análisis aproximado. Además del carbono el residuo puede contener varias décimas por ciento de hidrógeno y oxígeno, 0.4 a 1.0% de nitrógeno y cerca de la mitad del azufre que había antes de retirar la materia volátil.

Las **cenizas** son los residuos inorgánicos que permanecen después de que se quema el carbón, en condiciones especificadas, y se compone, en gran parte, de compuestos de silicio, aluminio, hierro y calcio y cantidades pequeñas de compuestos de magnesio, sodio, potasio y titanio. Las cenizas pueden variar considerablemente, a partir de la materia mineral original; en su mayor parte son caolinita, illita, montmorillonita, cuarzo, piritas y yeso.

El **análisis final** es la determinación, por métodos prescritos, de los contenidos de cenizas, carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno (por diferencia) y azufre. Junto con estos análisis se determina el poder calorífico, que se expresa en Joules por kilogramo (Btu/lb).

El poder calorífico es el calor producido, a volumen constante, por la combustión completa de una cantidad unitaria de carbón en un calorímetro de bomba de oxígeno en condiciones específicas. El resultado incluye el calor latente de vaporización del agua en los productos de combustión y se denomina calentamiento bruto o **poder calorífico superior** (PCS = HHV), Q_h . Cuando el agua no se ha vaporizado, el poder calorífico se denomina **poder calorífico inferior** (PCI = LHV), Q_l .

Azufre. Los esfuerzos hechos para reducir la contaminación atmosférica atrajeron una atención considerable hacia el contenido en azufre del carbón, puesto que la combustión da como resultado la descarga a la atmósfera de óxidos de azufre. El azufre se presenta en el carbón en tres formas: como piritas (FeS_2); como azufre orgánico, que es parte de las sustancias del carbón y como azufre en sulfatos. El azufre en sulfatos comprende, cuando mucho, unas cuantas centésimas de porcentaje de carbón. El azufre orgánico puede representar del 20% al 80% del azufre total.

Puesto que el azufre orgánico está enlazado químicamente a las sustancias del carbón de manera compleja, se requiere un tratamiento drástico para romper los enlaces químicos antes de poder separar el azufre. No se conoce en la actualidad ningún método económico que permita eliminar el azufre orgánico, pero se han hecho grandes progresos. El azufre pirítico se puede eliminar parcialmente con equipos normales para el lavado de carbón.

El grado de eliminación depende del tamaño del carbón y del tamaño y distribución de las partículas de piritas.

A continuación se muestra una tabla con la composición del carbón de acuerdo a su lugar de origen.

TABLA 5
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CARBÓN MINERAL

	CARBÓN BITUMINOSO			LIGNITA
	ALEMANIA	AUSTRALIA	USA	ALEMANIA
AGUA, %	5 – 15	9 – 10	1 – 16	50 – 60
CENIZAS, %	5 – 28	10 – 12	3 – 19	2 – 8
VOLATILES, %	6 – 35	28 – 32	15 – 36	55 – 61
AZUFRE, %	0.6 – 1.3	0.6 – 0.8	0.6 – 3.0	0.3 – 3.4
CARBONO, %	75 - >90			65 - 74

Características y composición de las cenizas de carbón.

Cuando el carbón se debe quemar o gasificar, suele ser importante determinar la fusibilidad de las cenizas, que comprenden las temperaturas de deformación inicial, de ablandamiento y de fluidez.

La diferencia entre las temperaturas de ablandamiento y deformación inicial se denomina intervalo de ablandamiento y la que existe entre la temperatura de fluidez y la de ablandamiento se llama intervalo de fluido.

La temperatura de ablandamiento se usa frecuentemente como vía cualitativa aproximada para determinar la conducta de las cenizas en una parrilla y en las superficies de transferencia térmica en un horno, con relación a la tendencia de formar grandes masas de cenizas fundidas o sinterizadas, que obstaculizan la transferencia de calor e impiden el flujo de gas. De modo similar, la temperatura de fluidez y el intervalo de fluido son guías cualitativas para la capacidad de flujo de las cenizas en los hornos con eliminación de escoria.

TABLA 6
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS DE CARBÓN

Si O ₂	20 – 60%
Al ₂ O ₃	10 - 35%
Fe ₂ O ₃	5 - 35%
Ca O	1 - 20%
Mg O	0.3 – 4%
Ti O ₂	0.5 – 2.5%
Na ₂ O y K ₂ O	1 – 4%
S O ₃	0.1 – 1.2%

Propiedades Físicas.

El ***índice de hinchamiento libre*** (FSI) mide la tendencia del carbón a inflarse cuando se quema o gasifica en un lecho fijo o fluidizado.

Por lo común, se puede esperar que los carbones con un índice elevado de hinchamiento libre (>4) provoquen dificultades en esos lechos. Se dan detalles sobre el análisis en ASTM D 720.

El **índice de molturabilidad Hardgrove** (HGI) indica la facilidad (o dificultad) para moler el carbón y tiene una relación compleja con propiedades físicas como la dureza, la resistencia a la fractura y a la tensión. Se utiliza, por lo común, la máquina Hardgrove (ASTM D 409) para determinar la molturabilidad relativa o facilidad de pulverización del carbón, en comparación con un carbón normalizado, al que se le asigna un valor de 100.

La **densidad de masa** del carbón desmenuzado varía según la densidad relativa, la distribución de tamaños y el contenido de humedad, así como también con la cantidad de asentamiento cuando el carbón se encuentra amontonado. A continuación se dan aproximaciones útiles de la densidad de masa de varias categorías de carbón.

TABLA 7
DENSIDAD DEL CARBÓN

	Kg/m³	Lb/ft³
Antracita	800-930	50-58
Bituminoso (hulla)	670-910	42-57
Lignito	640-860	40-54

La **estabilidad de tamaño** se refiere a la capacidad que tiene el carbón para resistir las roturas durante el manejo y el transporte. Se determina dejando caer dos veces una muestra de carbón de 22.7 kg (50 lb) desde una altura de 1.83 m (6 ft) sobre una placa de acero. A partir de la distribución de tamaños antes y después de la prueba, se refiere la estabilidad de tamaño como un factor de porcentaje.

El análisis de **friabilidad** mide la tendencia que tiene el carbón a romperse durante su manejo repetido.

TABLA 8
CALOR ESPECÍFICO DEL CARBÓN
BITUMINOSO Y ANTRACITA

	KJ/ (kg.K)	BTU/(lb.°F)
Antracita	0.92 – 0.96	0.22 – 0.23
Bituminoso	1.0 – 1.1	0.24 – 0.25

El **calor específico** de carbón seco, libre de cenizas, se muestra en la tabla 8. Las relaciones entre el calor específico y el contenido de agua y entre el calor específico y el contenido de cenizas son lineales.

Dado el calor específico en base seca y libre de cenizas, se puede corregir a la base corriente (tal y como llega).

El **calor específico medio** de las escorias y de las cenizas de carbón, que se utiliza para calcular balances de calor en hornos, gasificadores y otros sistemas de carbón se dan a continuación:

TABLA 9
CALOR ESPECIFICO MEDIO DE ESCORIA Y CENIZAS DE CARBÓN

Intervalo de Temperatura		Calor Específico Medio	
K	°F	kJ/(kg . K)	BTU/(lb . °F)
273-311	21-100	0.89	0.21
273-1090	32-1500	0.94	0.22
237-1310	32-1900	0.97	0.23
273-1370	32-2000	0.98	0.24
273-1640	32-2500	1.10	0.27

TRANSFORMACIÓN DEL CARBÓN.

Dado que los líquidos y los gases son formas de combustibles más deseables, se han desarrollado técnicas para convertir el carbón en combustibles líquidos y gaseosos sintéticos.

La figura 1.5 muestra los diferentes procesos de transformación del carbón que existen para obtener un combustible más amigable con el medio ambiente

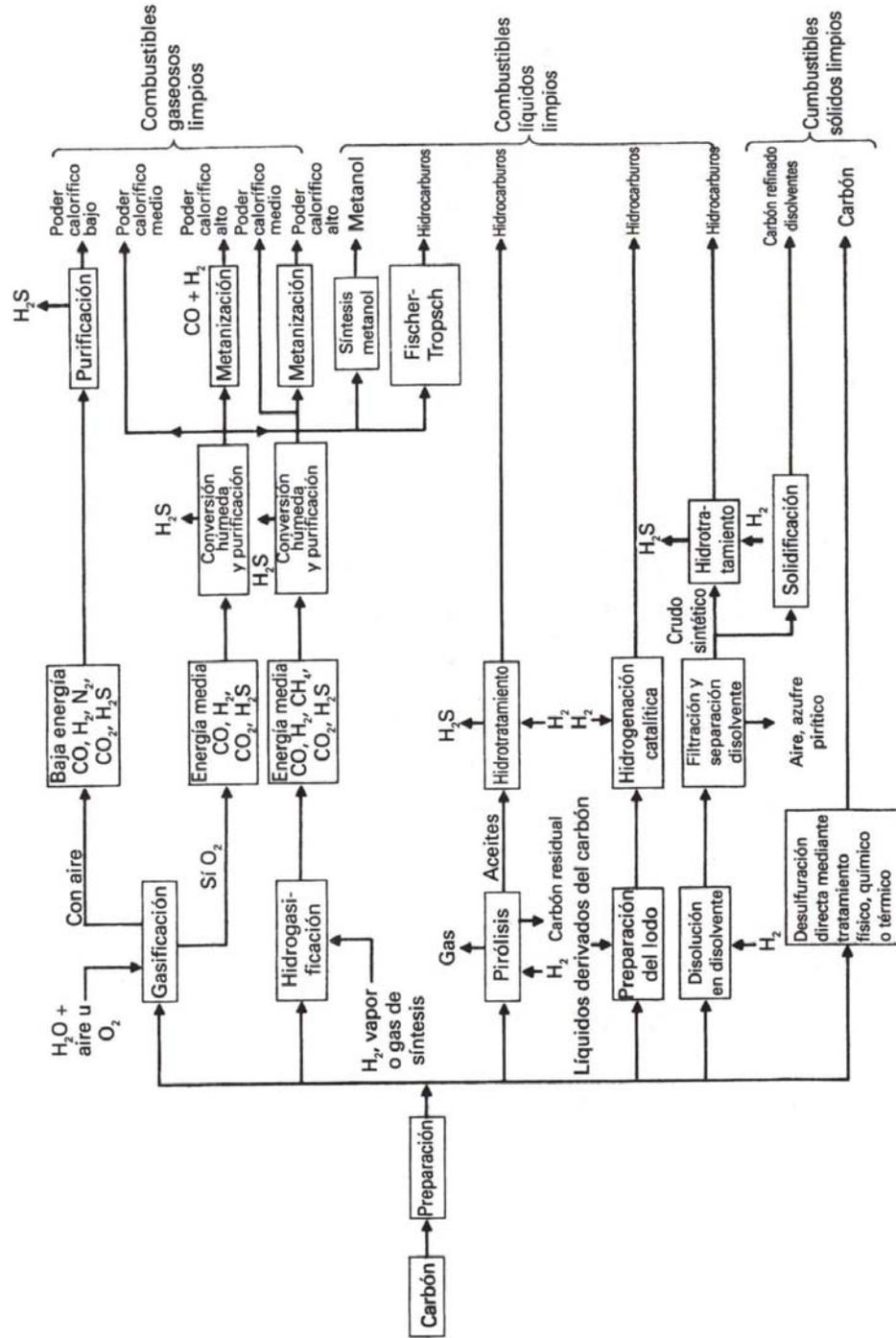


Figura 1.5: Procesos de Transformación del Carbón

1.3.3 Consideraciones Ambientales.

Uno de los mayores problemas de la utilización del carbón directamente como combustible es que este es contaminante. En la tabla 10 se muestran los Procesos de Operación, Contaminantes Emitidos y Técnicas de Control recomendadas para plantas de preparación de carbón.

Las tecnologías para la utilización del carbón en forma limpia y eficiente se concentran más que nada en la generación de energía, ya que más del 50% del carbón obtenido en el mundo es usado para generar energía eléctrica (25).

Existe una gran cantidad de tecnologías económicamente viables, y una buena cantidad de otras estarán disponibles en un futuro cercano, según el Instituto Mundial del Carbón (WCI por sus siglas en inglés).

La combustión de carbón pulverizado es el método más ampliamente utilizado para la obtención de energía. Precipitadores Electrostáticos y/o Filtros de Mangas pueden remover más del 99% de cenizas del flujo de gas. Los métodos de desulfurización de gas (FGD por sus siglas en inglés) pueden remover entre un 90 y 97% de los óxidos de azufre (SOx) del flujo de gas y puede convertir este en Gypsum utilizado en el mercado de la construcción.

TABLA 10

TÉCNICAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

Manejo de materiales: transportadores, elevadores, canaletas	Partículas (polvo)	Sistemas de Extracción local y ciclones
Reducción de tamaño, trituración tamizado y clasificación	Partículas (polvo)	Sistemas de Extracción local y ciclones de pre-limpieza, cámara de filtros bolsa
Almacenamiento del carbón en pilas Pilas Rechazadas	Partículas volantes (polvo) H ₂ S, partículas y humos procedentes de la combustión de pilas almacenadas.	Humectador, cubiertas por rociado de plástico. Escarbar para apagar el fuego, bombeo de agua, recubrimiento con material incombustible.
Secado del carbón: rotatorio, cribado, suspensión, lecho fluidizado, cascada	Polvo, humo, partículas, Sox, H ₂ S	Sistemas de extracción, ciclones y filtros de tela

Referencia: Manual del Ingeniero Químico (Robert H. Perry)

Con quemadores de “bajo NO_x” se pueden obtener reducciones de hasta 40% en las emisiones de óxidos de nitrógeno, además, si se incluye un proceso de re-incineración se pueden disminuir las emisiones en un 70%.

La figura 1.4 muestra los métodos existentes para la transformación del carbón en combustibles “más limpios”. Una alternativa a la combustión del carbón pulverizado es la gasificación del carbón, cuando el carbón entra en contacto con vapor y oxígeno, reacciones termoquímicas producen un gas combustible rico en monóxido de carbono e hidrógeno.

Ciclos combinados de gasificación del carbón para la obtención de energía están siendo utilizados y desarrollados en Estados Unidos y Europa. Estos sistemas dan mayores eficiencias ya que utilizan el calor existente en el gas luego de haber pasado por la turbina para producir vapor y alimentar a otra turbina. Los sistemas comerciales existentes alcanzan eficiencias de cerca de 45%.

Con recientes avances en la tecnología de las turbinas a gas estos sistemas son capaces de alcanzar eficiencias mayores al 50%. Adicionalmente estos sistemas producen menos desperdicios sólidos y las emisiones de SO_x, NO_x, y CO₂ son menores (25).

1.4. Normas para Almacenamiento y Transporte de Carbón Mineral.

Peligros de Inflamabilidad y Combustión.

El fuego o combustión es normalmente el resultado de unirse combustible y oxígeno en proporciones adecuadas y con una fuente de calor. El consumo de un material por el fuego es una reacción química en la que la sustancia calentada se combina con oxígeno. Se generan calor, luz, humo y productos de la combustión.

Una llama es una reacción química autosostenida que tiene lugar en una zona concreta. Existen dos tipos de llamas: 1) la llama de difusión, que ocurre por la ignición de un chorro de combustible que sale al aire, y en la que la velocidad limitante está controlada por la difusión.

2) la llama aireada o premezclada que tiene lugar cuando se premezclan combustible y aire antes de la ignición, y para la que la velocidad limitante está controlada por la cinética de la reacción.

Precauciones en la Utilización del Carbón Mineral.

El manejo del carbón puede involucrar ciertos riesgos. Fuego o explosiones pueden causar grandes daños a personas, maquinaria o edificios, este riesgo se reduce si se observan las medidas de precaución adecuadas. Las recomendaciones que se dan a continuación cumplen con las normas para manejo del carbón especificadas por la Asociación Nacional para la Protección contra Incendios de Estados Unidos (28), NFPA por sus siglas en inglés y las normas de la Unión Europea (26).

Es importante que todo el personal que maneja el carbón sea advertido de las condiciones que causarán una ignición espontánea o una explosión. Los aspectos diarios importantes que hay que tomar en cuenta para la protección contra incendios se dan a continuación:

- Limpieza de la planta.
- Inspección frecuente de edificios, máquinas y planta.
- Monitoreo de las condiciones de operación y eficiencia de los sistemas contra incendios.

- Se debe contar con planos para: Alarmas, Retiro de elementos peligrosos, Lucha contra incendios. Estos deben ser desarrollados de manera que se involucre a todo el personal.

Cuando un envío de carbón ha sido entregado, el usuario debe obtener información acerca de las propiedades del carbón para su manipulación, almacenamiento, facilidad de ignición espontánea o autoignición y su uso.

Máquinas y Equipo en General

Las tapas sobre transportadores de tornillo, artesas y transportadores de rastra deben estar en su lugar y sujetadas en forma segura. Esto es importante, sobretodo cuando los transportadores operan a nivel de piso.

- ✓ Las bandas, acoplamientos, cadenas y otras partes rotatorias deben estar cubiertas.
- ✓ Cubiertas, puertas de inspección y tapas deben estar en su lugar. Todos los equipos deben arrancar sin señales de alarma o advertencia.
- ✓ Los equipos deben estar en buen estado. Equipos mal alineados y cojinetes sin lubricación pueden provocar fuego o una explosión. El aislamiento eléctrico debe estar sin fisuras y en buenas condiciones.
- ✓ Los transportadores de banda deben correr sin material antes de ser detenidos ya que una ignición espontánea de carbón puede destruir la banda.

El deslizamiento entre la cinta y los rodillos generarán calor y puede resultar en electricidad estática que inicie un fuego o una explosión.

- ✓ La formación de polvo y la desintegración debe ser evitada tanto como sea posible, por tanto, el carbón no debe ser transportado más de lo necesario. Hay que mantener lo más bajo posible la altura de caída durante el transporte para evitar la formación de polvo y segregación.

Información General sobre Autoignición y Desgaste

A continuación se hablará en detalle acerca del desgaste y la autoignición, ya que el peligro de que estos ocurran durante el almacenamiento es elevado.

Cualquier carbón, en su superficie, absorbe oxígeno de la atmósfera y esta tendencia aumenta con carbones ricos en gas y oxígeno. La absorción está ligada a un desarrollo de energía que lleva a un calentamiento del carbón si el calor no es disipado. La tasa de absorción de oxígeno aumenta con la temperatura. La reactividad química del carbón se ve aumentada debido a una temperatura elevada que lleva a una continua desintegración del carbón y desarrollo de calor, causando finalmente la AUTOIGNICIÓN.

Si el calor producido se libera al ambiente, no hay incremento de temperatura. En este caso tendrá lugar un lento y progresivo efecto de DESGASTE en la superficie del carbón con la consecuencia de pérdida en el Poder Calorífico.

El carbón primeramente pierde su capacidad de esponjamiento, además hay una disminución de la capacidad de coquización y rendimiento de gas, solo después se notará una pérdida en el poder calorífico y habrá formación de brea.

Cuando se usa carbón la Autoignición o Ignición Espontánea puede ocurrir bajo circunstancias especiales durante el transporte, almacenamiento y manipuleo. Una Ignición Espontánea puede resultar en un fuego abierto o una explosión si se admite suficiente aire. Estos eventos se pueden prevenir tomando las medidas adecuadas, las cuales dependen de las propiedades del tipo de carbón, el tipo de almacenamiento y procesos involucrados. En pilas de carbón o acumulaciones de polvo el calor de la superficie puede ser disipado a los alrededores, pero dentro de la pila la temperatura aumentará gradualmente hasta alcanzar la temperatura de ignición del carbón.

La Ignición Espontánea ocurrirá después de un incremento de temperatura que toma algún tiempo, por tanto el tiempo disponible para el incremento de temperatura debe mantenerse tan corto como sea posible.

Se deben evitar fuentes de calor a los alrededores del lugar de almacenamiento para no contribuir con el incremento de temperatura. Debido a que el aumento de temperatura es resultado de la reacción química entre la materia volátil y el aire atmosférico, el acceso de aire debe ser tan limitado como sea posible.

Únicamente en aglomerados de lignita la provisión de ductos de aire preverá la autoignición.

Las siguientes condiciones afectan la ignición espontánea del carbón:

1. Contenido de materia volátil en el carbón.
2. Tamaño de grano del carbón.
3. Temperatura y contenido de agua en las pilas.
4. Alturas de las pilas.
5. Compresión de las pilas.
6. Composición química del carbón.

Contenido de Materia Volátil.

El carbón emite materia volátil que, en combinación con el aire atmosférico, forma gases combustibles. El contenido de materia volátil depende del tipo de carbón.

Antracita.- Tiene bajo contenido de gases (< 15%) y no tiende a la autoignición, incluso después de un almacenamiento prolongado.

Carbón Bituminoso.- Tiene un contenido de 15 – 40%, puede hacer autoignición, después de un prolongado almacenamiento y en condiciones adversas.

Lignita.- Tiene un alto contenido de gas (> 40%) y puede hacer autoignición fácilmente.

Tamaño de Grano del Carbón.

Granos grandes (> 100 mm) de carbón tienen una menor tendencia a la autoignición que los granos finos (< 50 mm) debido a su menor superficie; pedazos de carbón de igual tamaño se enfriarán más fácilmente. Se debe evitar pilas con granos de carbón fino y grueso. Normalmente el tamaño de grano del carbón varía, además contendrá cierta cantidad de polvo de carbón, este se forma durante el transporte debido a la fricción mecánica entre granos.

Cuando se almacena el carbón ocurre cierta segregación, sobre todo con granos grandes (> 100 mm), que puede resultar en acumulación de polvo de carbón. La acumulación de granos grandes hace posible la penetración de aire a la pila, lo cual aviva una incipiente ignición espontánea del polvo de carbón.

Temperatura y Contenido de Agua

Cuando el carbón es almacenado en pilas, estas siempre contienen cierta cantidad de aire (oxígeno) que en combinación con la materia volátil formará fácilmente gases combustibles.

Un aumento de temperatura en las pilas de carbón aumentará el riesgo de la ignición espontánea. Si la temperatura aumenta 10 °C el tiempo de reacción disminuye en 50 %.

Temperaturas mayores de 50 °C son críticas. La ignición espontánea puede ocurrir a 70°C. Se asume que la autoignición se convierte en fuego a las siguientes temperaturas:

150 °C en lignita.

200 °C en carbón bituminoso.

250 °C en coque y coque de petróleo.

300 °C en antracita.

Estas temperaturas se aplican para mezclas de granos pequeños y grandes.

Si ocurre una ignición espontánea, esta se descubrirá por el desarrollo de vapor y humo con olores característicos.

Si se sabe que la temperatura es mayor de 70 °C el carbón debe ser esparcido para enfriarlo y rociarlo con agua, se puede añadir carbón frío. Este debe ser usado lo más rápido posible y el operador debe prestar especial atención cuando el carbón es molido. Rociar agua sin esparcir la pila puede incrementar el peligro de una autoignición, especialmente cuando se utiliza carbón con alto contenido de azufre.

Normalmente la disminución del contenido de humedad en las pilas aumentará el riesgo de la autoignición. El Carbón Subbituminoso con granos finos debe ser empacado con dos partes de agua y una de carbón.

El almacenaje bajo el agua preserva la capacidad de coquización sin pérdidas en el poder calorífico.

Compresión

La compresión de las pilas reduce el riesgo de la ignición espontánea, ya que disminuye la posibilidad de circulación de aire y por tanto la oxidación del carbón. Si el carbón va a ser almacenado largo tiempo debe ser comprimido.

Excepción: pilas de aglomerado de lignita.

Altura de la pila.

La altura de la pila depende del contenido de gas y dureza del carbón, calidad del suelo de almacenamiento y equipos de transporte y contra incendios disponibles.

Durante el almacenaje no comprimido por más de dos semanas, la altura de la pila debe ser adaptada al tipo de carbón. El carbón con pobre contenido de gas puede ser almacenado a cualquier altura, sin peligro de ignición espontánea. El carbón con 15 – 40% de constituyentes volátiles deben ser almacenados en pilas de un máximo de 8 metros. La tabla 11 muestra las alturas de pila recomendadas para los distintos tipos de carbón.

TABLA 11
ALTURA RECOMENDADA DE PILAS DE CARBÓN

Tipo	Altura
Antracita	6 m - ilimitado
Carbón Bituminoso, pobre en gas	6 m – 10 m
Carbón Bituminoso, rico en gas	4 m – 8 m
Carbón fino Debe ser empaquetado firmemente y en pilas de área pequeña, donde los ángulos de inclinación deben ser grandes aproximándose al ángulo natural de reposo del carbón fino.	5 m – 10 m
Carbón Bituminoso aglomerado	6 m - ilimitado
Lignita cruda	4 m - ilimitado
Lignita aglomerado	4 m – 6 m
Coque	6 m - ilimitado
Coque de Carbón Bituminoso de baja temperatura	No se tiene experiencia todavía
Coque de Carbón Subbituminoso de baja temperatura	
Lignita carbonizada a baja temperatura	
en piezas	2 m – 4 m
en finos y húmeda	2 m – 8 m

Referencia: F. L. SMITH, Instruction manual: Precaution when using Coal and Lignite.

El carbón que se presume que va a ser almacenado por largos periodos de tiempo no debe contener carbón recién salido de la mina ni partículas finas, sino que debe contener granos gruesos y de tamaño parejo.

Un método esporádicamente utilizado es cubrir las pilas con una capa fina de bitumen. Este es un método caro, además el material bituminoso afectan los procesos subsecuentes del carbón, como la mezcla y la molienda.

Los aglomerados de Lignita deben ser almacenados bajo techo y con una protección lateral contra las inclemencias del clima.

Composición Química

Carbón con alto contenido de azufre se oxida más fácilmente que uno con bajo contenido de azufre ya que este tiene una menor temperatura de ignición que el carbón, pero este efecto es de poca importancia.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés), el contenido de azufre permisible en el carbón es de 0.8 a 1.1%.

Recomendaciones para almacenamiento apropiado

- ✓ Las piezas grandes de carbón no deben acumularse en columnas o paredes, ya que esto puede resultar en un efecto chimenea causando un incremento en la oxidación y por tanto en el riesgo de ignición espontánea.

- ✓ Pilas altas de carbón deben ser construidas en capas compactadas por bulldozers.

- ✓ Cuando el clima es seco, caliente y soleado, el carbón almacenado en lugares abiertos deben ser cubiertos con una capa fina de piedra caliza o algún material similar que refleje los rayos solares y prevenga el calentamiento de la pila.

Selección del área de almacenamiento

El área de almacenamiento debe estar lejos de cualquier fuente de calor. Almacenar bajo techo es especialmente recomendado para protección de carbones sensibles contra el sol y la lluvia.

El piso del lugar de almacenamiento debe estar seco y libre de cualquier superestructura o zanja. Las vigas que no puedan ser removidas, así como las esquinas deben ser cubiertas por concreto. Antes del uso inicial el piso debe ser limpiado de cualquier polvo de carbón porque este puede causar autoignición.

Pasillos y zanjas deben ser incorporados entre pilas individuales. Si una o varias pilas son más grandes de lo que se permite debe existir un pasillo de al menos 3 metros. Se recomienda subdivisiones adicionales con paredes a prueba de fuego o zanjas angostas.

Métodos de Almacenamiento

Grandes cantidades de carbón no deben ser arrojadas en conos sino que deben ser depositadas capa por capa en el área total de almacenaje.

Carbones de diferentes tipos y grados deben ser almacenados por separado.

Los carbones de ciertas minas que tengan la reputación de ser propensos a la autoignición deben ser almacenados por separado en pilas cuya altura no exceda los 2 o 3 metros.

Inclusiones de cuerpos extraños como polvos, arena, tierra, madera, hierro, materia fácilmente inflamable como papel, trapos de limpieza, etc. deben ser evitados.

Monitoreo del Carbón Almacenado

Es obligatorio un monitoreo continuo de la parte central de la pila, las lecturas de temperatura deben tomarse por lo menos una vez por semana. Si la mezcla de granos y de tipos de carbón no puede ser evitada, se deben tomar lecturas diarias. Es necesario tomar mediciones en otros puntos al azar durante cambios en condiciones climáticas e incrementos de temperatura.

Si en cierto punto se tiene una lectura de más de 45°C, se debe irrigar un área de 2 – 3 m alrededor hasta que se sienta una caída de la temperatura. La irrigación debe ser hecha mediante una hoja de metal perforada, colocada en la parte superior de la pila. El suministro de agua debe hacerse por medio de mangueras. Las señales de aumento de temperatura son: olores, humaredas, cúmulos de ceniza.

Localización de Medidores de Temperatura.

Se deben instalar tuberías de acero de 1" cerradas en el fondo a distancias de 3 a 4 metros de tal manera que estas se entierren en el piso.

Termómetros protegidos de 100 °C, colgados por cadenas deben ser montados en esas tuberías. Cuando el termómetro es extraído para la medición diaria de la temperatura la cadena debe ser chequeada manualmente por posibles puntos calientes. Si se siente un punto caliente el termómetro debe ser colocado a la altura respectiva. Los puntos de medición son particularmente importantes en las esquinas de la pila y en lugares que son expuestos al sol.

Sistemas Contra Incendios

A temperaturas mayores de 60 a 70°C y para combatir fuegos de pequeña extensión, los centros calientes deben ser descubiertos, y el carbón caliente debe ser quemado o empapado en agua. El carbón circundante debe ser reordenado. Si un fuego de pequeña extensión será extinguido con agua, debe usarse suficiente para prevenir la formación de gas lo cual incrementa el peligro de inflamación.

Fuegos de gran extensión son difíciles de extinguir. Si se almacena en bunkers lo más efectivo es la supresión de cualquier aire fresco, preferiblemente con un enfriamiento simultáneo.

El flujo de dióxido de carbono o nitrógeno inducido con un ventilador ha sido aplicado exitosamente.

También se pueden aplicar los siguientes métodos:

- Sofocación mediante extintores secos.
- Inmersión de carbón en agua.
- Reordenamiento y sofocación del carbón en bunkers.

Los carbones finos recuperados mediante extractores deben ser sumergidos en agua por 1 o 2 minutos y esparcidos en áreas abiertas.

Es muy difícil extinguir fuegos en pilas de carbón. La única manera segura de extinguir el fuego es esparcir las pilas de carbón y mezclarlo con carbón frío. Luego, el carbón debe ser molido cuidadosamente y quemado en la instalación.

También se puede apagar el fuego rociando grandes cantidades de agua el carbón esparcido. Sin embargo esto puede causar problemas en los procesos subsecuentes de molienda y transporte de carbón. Otro método utilizado es sofocar el fuego cubriéndolo con tierra húmeda. Ambos métodos no siempre serán exitosos debido a que las incrustaciones de carbón (brea formada) son difíciles de empapar. Intentar apagar el fuego con agua sin esparcir la pila normalmente tendrá un pobre resultado ya que el agua no puede penetrar en la pila.

La cantidad de agua suministrada debe ser grande ya que poca agua puede causar una explosión de gas. Cuando el vapor de agua entra en contacto con un carbón incandescente este puede transformarse en gas de tipo explosivo que contiene carbón, oxígeno e hidrógeno.

Extinguir el fuego con agua en espacios cerrados puede resultar en una explosión de vapor.

Cubrir las pilas con piedra caliza o espuma puede demorar el desarrollo del fuego pero no extinguirlo. El dióxido de carbono no extingue el fuego en pilas de carbón. No se debe compactar el carbón durante o después del fuego ya que el núcleo puede haberse consumido y la pila puede colapsar.

CAPÍTULO 2

2. SISTEMAS PARA RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN.

2.1. Recepción.

Pesado de Sólidos a Granel.

El **pesado automático** ha reemplazado en gran parte al manual en las industrias de procesos debido a la mayor capacidad de estos y la necesidad de economizar mano de obra.

Pesado por lotes.- En este caso se mide una unidad dada de peso y a continuación se obtiene el peso total deseado mediante múltiplos de la unidad dada. Las balanzas por lote se utilizan cuando se llevan a cabo pesadas pequeñas, ya sea individualmente o por grupos en secuencia. La mayoría de las balanzas por lotes incluyen un recipiente montado en una viga pesadora, contrabalanceada por un conjunto de pesas aproximadamente igual al peso deseado.

Se activa o se detiene una fuente de alimentación montada sobre el recipiente pesador mediante una señal generada por el brazo de la balanza. En los últimos años los sistemas directos de control mecánico se han reemplazado en gran parte por el control hidráulico o neumático de la fuente de alimentación y de la descarga del recipiente pesador, que se activan mediante controles eléctricos.

Tiene un interés especial el tipo de sistemas de control de balanza en el que el movimiento del brazo se capta mediante un transformador diferencial o un grupo de celdas de carga. La señal de salida de esos dispositivos es proporcional al desplazamiento del brazo de la balanza, que a su vez lo es a la cantidad de material del brazo de la balanza.

Cuando se necesita una precisión extrema en el pesado, la alimentación al recipiente pesador se divide en dos porciones sucesivas: una carga grande a granel, seguida por una alimentación final breve de goteo, que debe tener una velocidad de flujo aproximadamente del 0.01% de la velocidad a granel.

Pesado Continuo.- Este procedimiento incluye un dispositivo sensible tanto a la cantidad total de material que fluye como a los cambios en el flujo. El material pasa constantemente sobre los elementos sensores de peso de la balanza continua, que puede rastrear el flujo y sus cambios y por último contabilizar el total. Las balanzas de peso continuo utilizan una sección del transportador de banda sobre la que pasa el material que se va a pesar.

Sensores de Pesaje.- Estos dispositivos se han sometido a un proceso intensivo de investigación, desarrollo y aplicación. El resultado de este esfuerzo ha sido un incremento en la sensibilidad y fiabilidad, a lo que ha contribuido la creciente disponibilidad de computadoras para usos especiales y la capacidad de manejo de datos de los pocos costosos ordenadores personales.



Figura 2.1: Puente de Pesaje para Camiones.

Puentes de Pesado.- Otra forma de pesar el material recibido es mediante puentes de pesado (figura 2.1). Este consiste en un par de vigas colocadas sobre celdas de carga las cuales sensan el peso del camión.

Los camiones que llegan con el material son pesados antes y después de ser descargados y el material entregado se calcula por la diferencia entre estos dos valores.

Tolvas.

Características del Flujo de Materiales. Dos de las definiciones más importantes de las características de flujo en un recipiente de almacenamiento son el **flujo de masa**, que significa que todos los materiales en el recipiente se desplazan cuando se retira una parte (figura 2.2), y el **flujo de embudo**, que se produce cuando fluye solo una porción del material (por lo común en un canal en el centro del sistema) cuando se retira cualquier cantidad de material (figura 2.3).

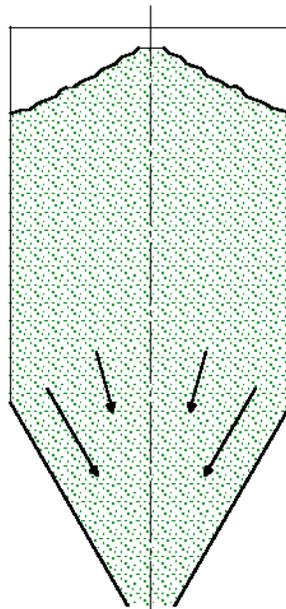


Figura 2.2: Tolva de Flujo de Masa.

Los depósitos de flujo de masa tienen algunas de las características más solicitadas para los recipientes de almacenamiento: siempre que se abre la compuerta de fondo se obtiene un flujo.

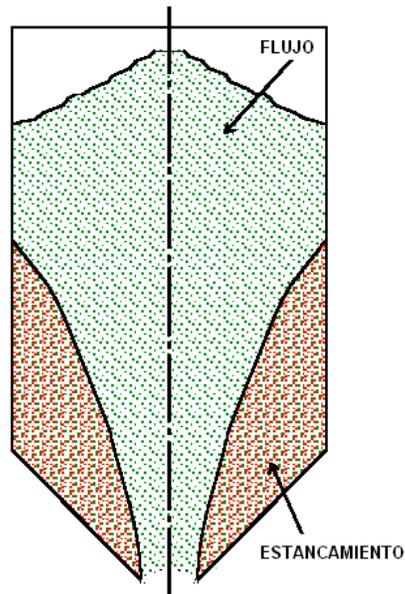


Figura 2.3: Tolva de Flujo de Embudo.

En depósito de flujo de embudo puede tener o no flujo, pero probablemente se pueda hacer que fluya por algún medio.

Aunque evidentemente es preferible un depósito de flujo de masa a otro de flujo de embudo, es preciso justificar la inversión adicional que casi siempre se requiere. Con frecuencia esto se hace mediante la reducción de los costos operacionales, pero cuando el espacio de instalación es limitado es preciso llegar a un término medio, tal como emplear un diseño especial de la tolva e incluso a veces un alimentador.

La tabla 12 muestra una comparación entre las propiedades de las tolvas con flujo de masa y flujo de embudo.

TABLA 12.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE TOLVAS DE FLUJO DE MASA Y DE FLUJO DE EMBUDO

Tolvas de flujo de masa	Tolvas de flujo de embudo
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga. 2. Los polvos se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema. 3. El flujo es uniforme. 4. La densidad de flujo es constante. 5. Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente. 6. No quedan productos en zonas muertas donde pudieran degradarse. 7. Se puede diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezclador 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las partículas se segregan y permanecen segregadas. 2. La primera porción que entra es la última en salir. 3. Pueden permanecer productos en puntos muertos hasta que se realiza la limpieza completa del sistema. 4. Los productos tienden a formar puentes o arcos y luego a que se formen agujeros de rata durante la descarga. 5. El flujo es errático. 6. La densidad puede variar. 7. Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave para que puedan funcionar adecuadamente. 8. Las tolvas funcionan bien con sólidos de partículas grandes y flujo libre.

Referencia: Manual del Ingeniero Químico (Robert. H. Perry)

Alimentadores y Dispositivos de Ayuda para el Flujo.

Con frecuencia se presentan situaciones en las que los depósitos de flujo de masa no se pueden instalar por razones tales como limitación de espacio y requisitos de capacidad.

Para afrontar estas situaciones, existen numerosos tipos de ayuda para el flujo, el más conveniente de ellos utiliza un alimentador y una tolva corta de flujo de masa para ampliar el canal de flujo de un depósito de flujo de embudo.

La elección del alimentador o de la ayuda para el flujo se deberá hacer siempre como análisis del recipiente de almacenamiento.

Las **Tolvas Vibratorias** son una de las más importantes y versátiles ayudas al flujo. Se usan para ampliar la abertura de los depósitos de almacenamiento y provocar un flujo al romper los puentes almacenados de material. Estos depósitos tienen por lo común una capacidad límite de aproximadamente 2.8 m^3 .

Los **Alimentadores de Tornillo** también se usan para ayudar a descargar depósitos y para producir una alimentación uniforme.

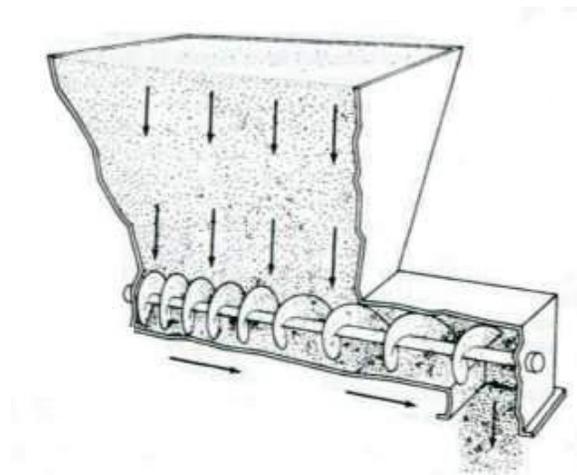


Figura 2.4: Tolva con Alimentador de Tornillo.

En este caso es importante usar un tornillo de paso variable para producir un arrastre uniforme del material a lo largo de toda la abertura de la tolva. (figura 2.4). Para que haya un flujo uniforme, la relación numérica entre la abertura del alimentador de tornillo y del diámetro no debe sobrepasar de 6.

Los **Alimentadores de Banda o de Banda Articulada** también se pueden utilizar para dar una alimentación uniforme a partir de un depósito, pero es preciso tener cuidado para que no se produzcan puntos muertos en el canal de flujo por encima de la banda del alimentador (figura 2.5). Las capacidades de esos alimentadores se pueden incrementar haciendo cónica la salida en el plano horizontal y vertical. Para asegurar el flujo de los sólidos que no circulan con libertad a lo largo de la pared frontal del depósito, se necesita una placa golpeadora inclinada en el frente de la tolva.

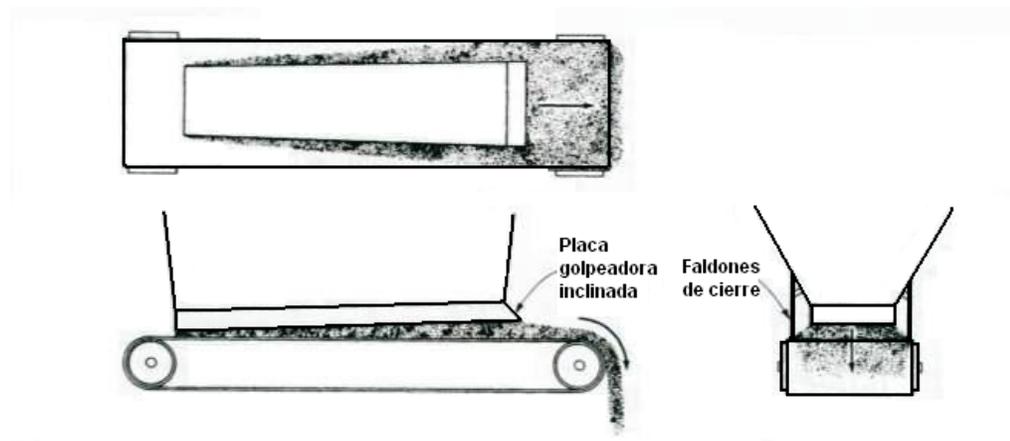


Figura 2.5: Tolva con Alimentador de Banda.

Transporte de sólidos al granel.

Transportadores de Tornillo.

El transportador de tornillo es uno de los tipos de transportador más antiguo y versátil. Consiste en un conjunto de espas helicoidales o seccionadas montadas en una tubería o eje y que giran en una artesa. La capacidad de los transportadores de tornillo se limita generalmente a alrededor de $4.72 \text{ m}^3/\text{min}$.

Además de su capacidad de transporte, los transportadores de tornillo se pueden adaptar a una gran variedad de **operaciones de procesado**. Se puede lograr casi cualquier grado de mezcla con transportadores de tornillo de espas cortadas, cortadas y plegadas o reemplazadas por una serie de paletas.

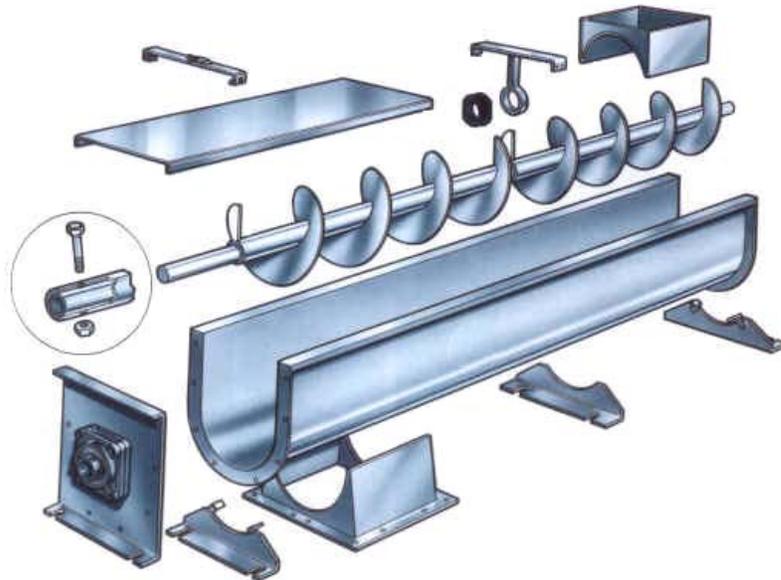


Figura 2.6: Tornillo Transportador

Transportadores de Banda.

Estos se utilizan de manera casi universal, pueden recorrer grandes distancias a velocidades de hasta 5.08 m/s y manejar hasta 5000 Ton/h.

También pueden funcionar en distancias cortas a velocidades suficientemente lentas para la recolección manual, con capacidad de solo unos kilogramos por hora. Sin embargo, no son aplicables normalmente a las operaciones de procesamiento.

Las pendientes de los transportadores de banda se limita a un máximo de aproximadamente 30° , las comunes se encuentran entre 18° y 20° . Sólo se pueden producir cambios de dirección en el plano vertical de la trayectoria de la banda y se deben diseñar cuidadosamente como curvas verticales o codos relativamente planos.

Los transportadores de banda dentro de las plantas pueden tener costos iniciales más elevados que algunos otros tipos de transportadores; sin embargo, se puede esperar que un transportador de banda con un buen mantenimiento de rutina supere a casi todos los demás tipos de transportadores.

Así pues, en función del costo por tonelada de materiales manejados, los transportadores de banda han tenido historiales económicos sobresalientes.



Figura 2.7: Transportador de Banda

Elevadores de Cangilones

Los elevadores de cangilones son las unidades más sencillas y seguras para desplazamientos verticales de materiales. Existen en una gama amplia de capacidades y pueden funcionar totalmente al aire libre o encerrados.

El elevador de cangilones puede ser alimentado por un flujo continuo regulado o por un flujo no regulado que es depositado en la parte inferior del elevador, en este caso se solucionan los problemas provocados por cualquier derrame que ocurra en la descarga.

El elevador puede tener descarga centrífuga del combustible, para esto la velocidad debe ser lo suficientemente elevada. Debido a las altas velocidades se pueden producir problemas de generación de polvo. Otra forma de descarga usa rodillos para que el ángulo de contacto de la cadena del elevador sea mayor a 180° .

Esto causa que los cangilones descarguen completamente el combustible que contienen.

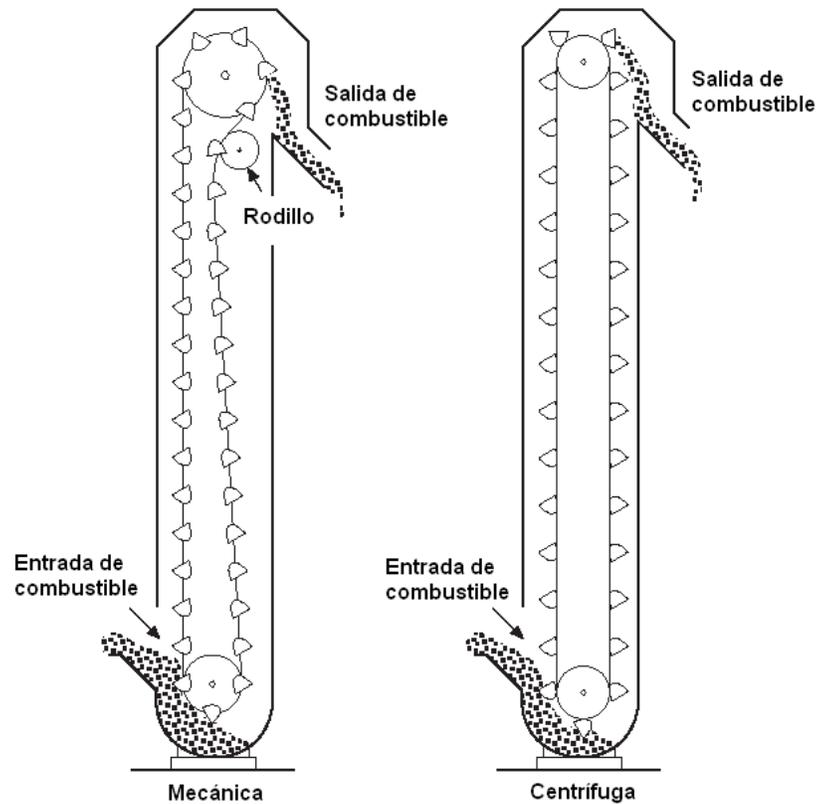


Figura 2.8: Elevador de Cangilones.

Transportadores Vibratorios u Oscilantes.

La mayoría de transportadores vibratorios son esencialmente de impulso direccional que consiste en una placa horizontal sobre resortes, que vibra gracias a un brazo excéntrico de conexión directa, pesos excéntricos giratorios, un electroimán o un cilindro hidráulico o neumático.

La capacidad de los transportadores vibratorios se determina por la magnitud de desplazamiento de la artesa, la frecuencia de desplazamiento, el ángulo de impulsión, la pendiente del canal y la capacidad del material para recibir y transmitir a través de su masa el impulso direccional.

La clasificación de los transportadores vibratorios se pueden basar probablemente mejor en las características de la unidad motriz como se muestra en la figura 2.9.

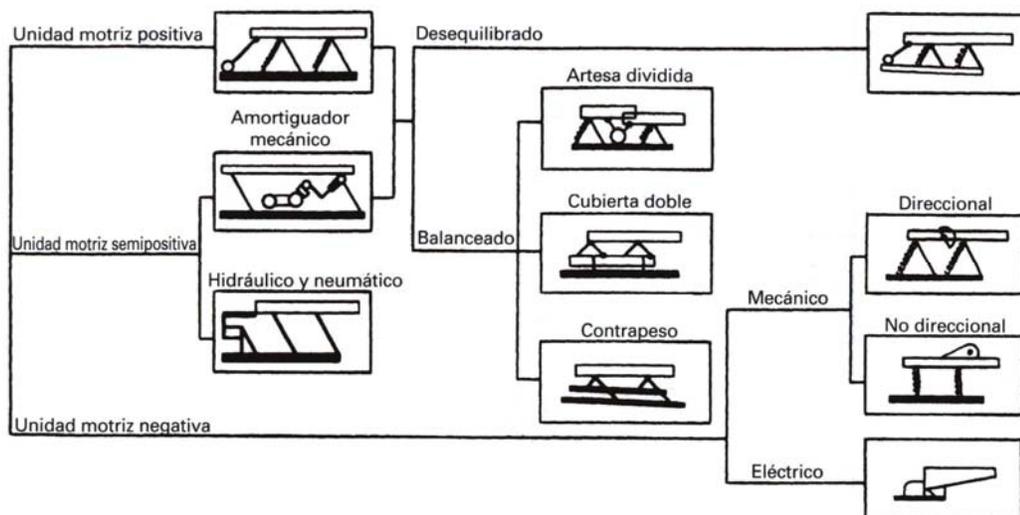


Figura 2.9: Clasificación de Transportadores Vibratorios

Para tener una guía de selección para los diferentes transportadores la tabla 13 las alternativas en base a algunas funciones comunes.

TABLA 13

TRANSPORTADORES PARA MATERIALES A GRANEL

Función	Tipo de transportador
Transporte horizontal de materiales	De banda, de banda articulada, de flujo continuo, de arrastre por paletas, de tornillo, vibratorio, de cangilones, de cangilones de volteo.
Transporte de materiales arriba o abajo en pendiente	De banda, de banda articulada, de flujo continuo, de paletas, de tornillo, montacargas de cajón, de aire.
Elevación de materiales	Elevador de cangilones, de flujo continuo, montacargas de cajón, de aire.
Manejo de materiales en trayectoria horizontal y vertical combinadas	De flujo continuo, de cangilones de carga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire.
Distribución o recolección de materiales en depósitos, almacenes, etc.	De banda, de paletas, de tornillo, de flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire.
Retirada de materiales de vagones de ferrocarril, camiones, etc.	Volquete, descargador de vagones, agitador de vagones, pala mecánica, de aire.

Referencia: FMC Corporation, Material Handling Systems Division.

2.2 Almacenamiento.

Almacenamiento en Pila o Montón.

Para el almacenamiento del carbón en pilas hay dos disposiciones generalmente utilizadas: Parques rectangulares de almacenamiento (figura 2.10) y parques circulares de almacenamiento (figura 2.11).

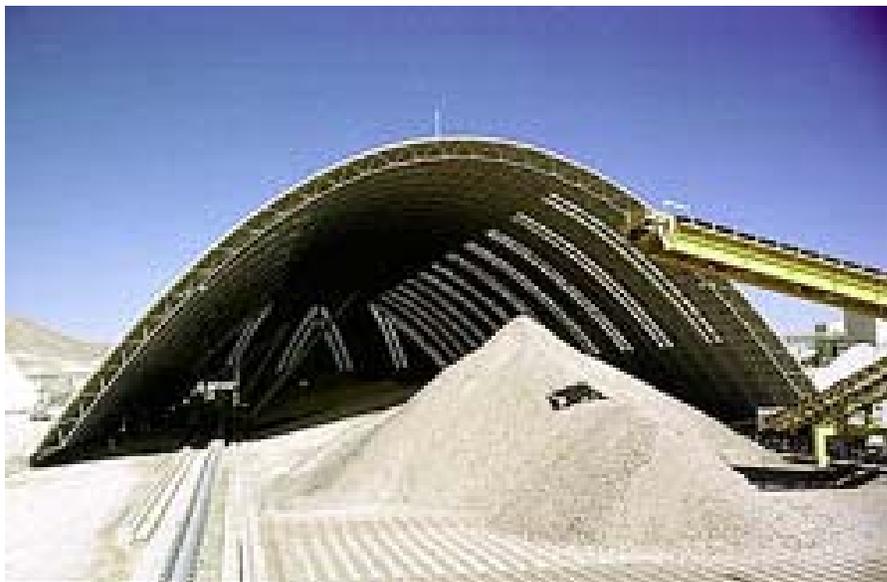
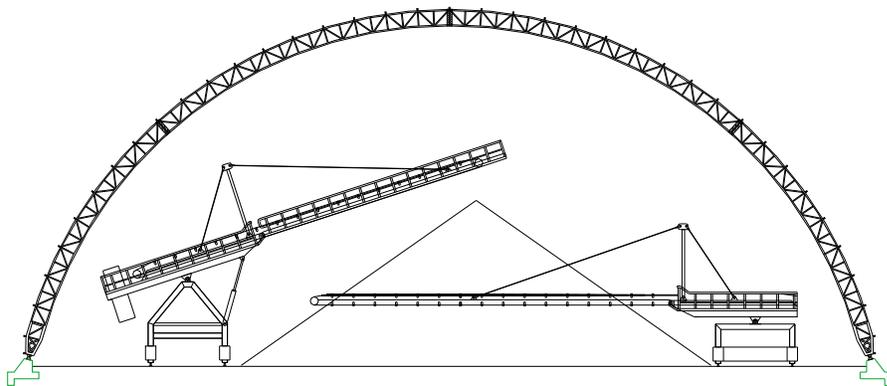


Figura 2.10: Parque Rectangular de Almacenamiento

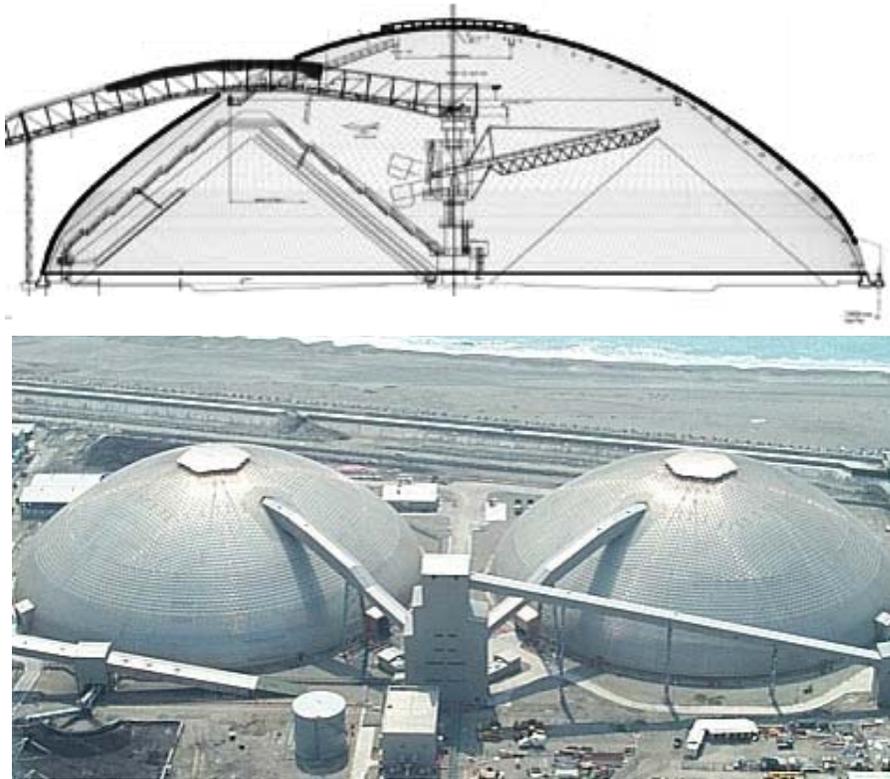


Figura 2.11: Parque Circular de Almacenamiento

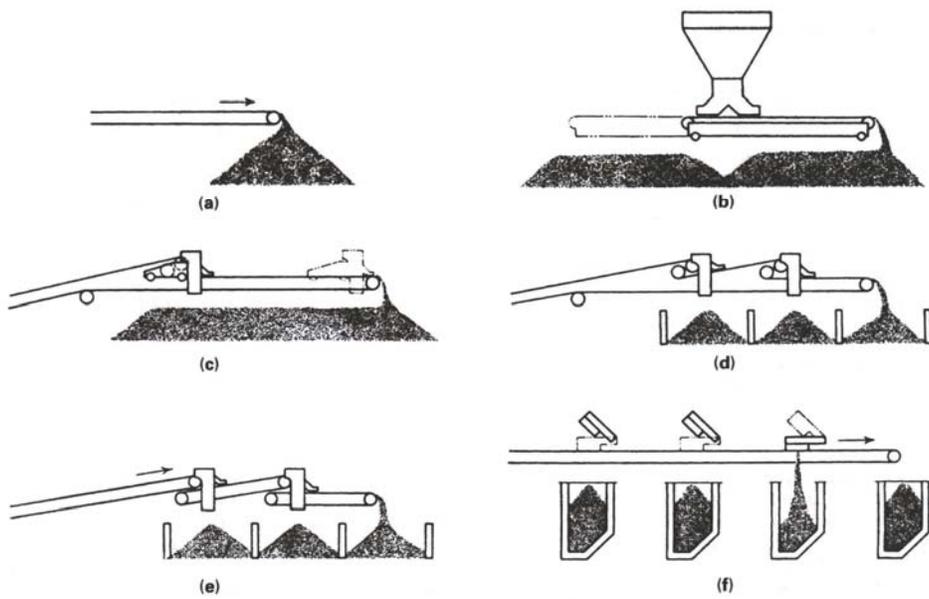


Figura 2.12: Disposiciones de Descarga

Descarga. El almacenamiento se suele manejar mediante transportadores de banda cuando los tonelajes son grandes. En la figura 2.12 se muestran algunas disposiciones de descarga posibles.

Apilador (Stacker).

Para realizar el almacenamiento del carbón se utilizan grandes apiladores deslizantes. Estos se pueden desplazar a lo largo de un tramo de banda, formando un montón en uno o los dos lados de esta (figura 2.12-b) o girar sobre un eje fijo para formar una pila circular.

El apilador también puede rotar de tal manera que aumente o disminuye su ángulo con la vertical para de esta manera aumentar o disminuir la altura de la pila. La figura 2.13 muestra un ejemplo de los apiladores disponibles en el mercado.

El apilador mostrado en la figura 2.13 se utiliza para formar parques rectangulares de almacenamiento, se puede ver que este se desliza sobre rieles para lograr dicho objetivo.

En cambio, como se aprecia en la figura 2.11, el apilador para parques circulares rota sobre su propio eje y no se desliza. Sin importar si el apilador es para parques circulares o rectangulares este utiliza un contrapeso para equilibrar la banda transportadora que se encuentra en voladizo y genera un gran momento.

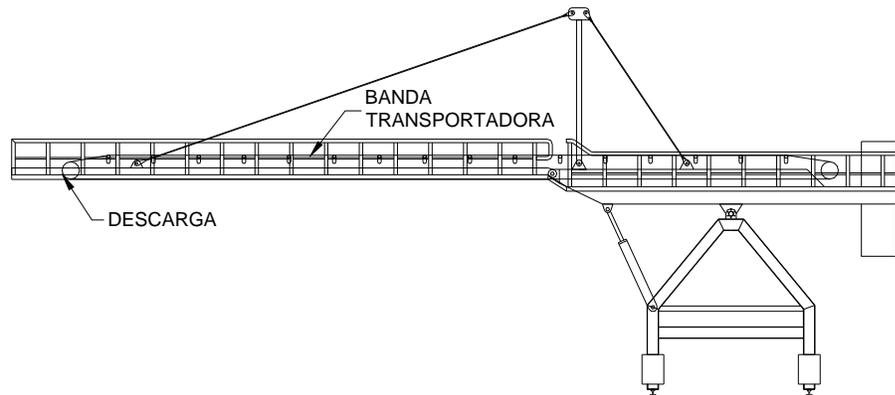


Figura 2.13: Apilador Comercial

Cuando el parque de almacenamiento es de gran área y se quiere tener mayor flexibilidad en la disposición de las pilas, el apilador consta de varias etapas y generalmente la última etapa tiene orugas para que esta se pueda desplazar fácilmente sobre cualquier terreno. La figura 2.14 ilustra lo descrito anteriormente.



Figura 2.14: Apilador de dos Cuerpos.

Carro de Descarga (Tripper car).

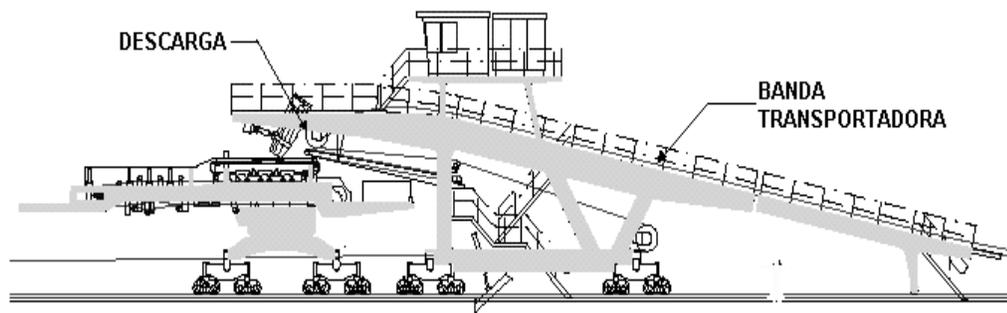


Figura 2.15: Carro de Descarga Comercial.

Para que el apilador pueda descargar en cualquier punto a lo largo de la pila longitudinal la banda transportadora que lo alimenta debe tener un sistema de descarga móvil denominado Carro de Descarga.

Este sistema consiste en un carro que se desplaza junto al apilador a lo largo de rieles, aquí se eleva la banda a la altura necesaria para realiza la descarga sobre el apilador.

2.3 Extracción.

Con frecuencia se utilizan bandas de túneles subterráneos limentadas por medio de compuertas especiales (figura 2.16) para recuperar los materiales, como es el caso de los equipos de palas móviles. También se usan raspadores de arrastre por cable para las zonas de almacenamiento interno cuando se usan grandes zonas planas. Un sistema de arrastre puede seguir a una línea simple de cable fijo o se pueden proporcionar postes de apoyo par permitir la reubicación de la línea del cable con el fin de cubrir casi cualquier forma del espacio de almacenamiento.

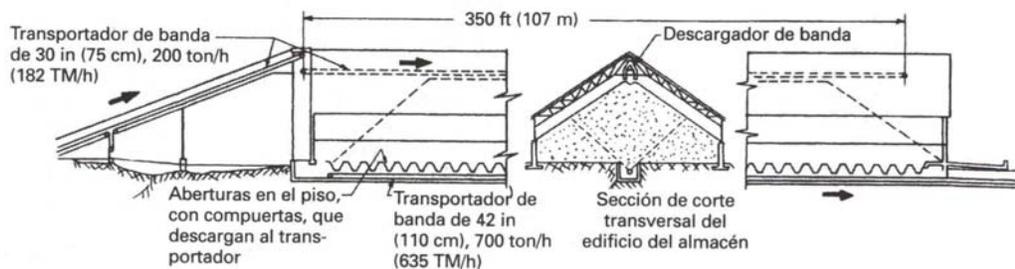


Figura 2.16: Almacenamiento y Extracción por Transportador de Banda

Extractor (Reclaimer).

Una mejora para el manejo de grandes tonelajes de materiales a granel en almacenamiento es el **recuperador de rueda de cangilones**, que consiste en una serie de cubos o cangilones situados sobre la periferia de una rueda grande impulsada por una unidad propulsora fija. Los cangilones se vacían sobre un transportador de recuperación, por lo común del tipo de banda, que toma el producto y lo lleva a otros puntos de elaboración o manipulación. Las capacidades de estos equipos generalmente están entre 2000 – 5000 TM/h



Figura 2.17: Extractor de Rueda de Cangilones

Otro tipo de extractor es el excavador de cadena de cangilones, en este caso los cangilones no se encuentran sobre una rueda sino sobre cadenas. Este tipo de extractor no necesita banda transportadora, pero maneja un menor tonelaje que el extractor de rueda de cangilones.

Los extractores de cadena a su vez se subdividen en laterales (figura 2.18), de semipórtico (figura 2.19) y de pórtico (figura 2.20).

Los extractores de pórtico son los más robustos, por tanto, tienen mayor capacidad que los otros dos (500 – 2000 TM/h). Así mismo los extractores de semipórtico tienen mayor capacidad que los laterales (50 – 800 TM/h), pero presentan el inconveniente que requieren una estructura fuerte para apoyarse, esto representa una mayor inversión.

La capacidad de los extractores laterales está entre 40 y 500 TM/h.



Figura 2.18: Extractor Lateral



Figura 2.19: Extractor de Semipórtico



Figura 2.20: Extractor de Pórtico

Los **equipos móviles** con frecuencia se prefieren a los de tipo fijo. Se usan bulldozers, excavadoras y cargadores con cucharón frontal, sobre todo en proyectos de corta duración o cuando las inversiones en capital deben ser limitadas.

2.4. Conjunto Seleccionado.

Para tener una idea clara del proyecto objeto de estudio, primero se hará una breve descripción del mismo identificando sus tres componentes principales: El Sistema de Recepción, El Sistema de Almacenamiento y El Sistema de Extracción. Para este propósito se muestra en la figura 2.21 el proyecto completo.

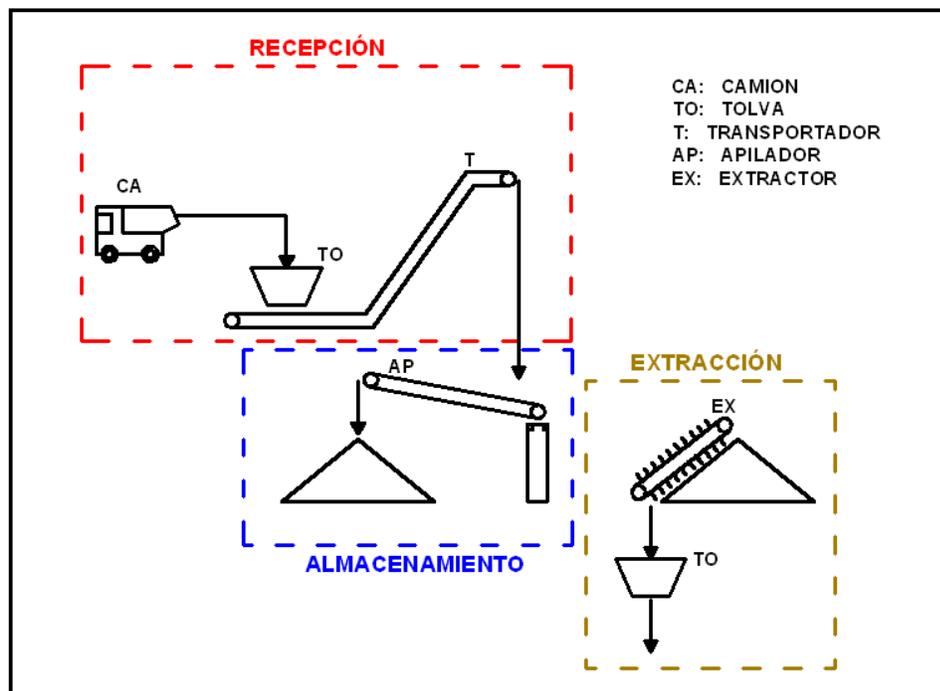


Figura 2.21: Esquema del Proyecto Completo para Sistemas de Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón.

En el esquema anterior se muestra claramente los tres componentes del Proyecto. El Sistema de Recepción consta de la tolva de recepción y un transportador desde la tolva al apilador. Además de esto se añadirá un sistema de pesaje de producto recibido y un sistema de desempolvado.

En el Sistema de Almacenamiento se tiene el apilador y la nave de almacenamiento.

Finalmente el Sistema de Extracción consiste en un extractor y la tolva de alimentación. A continuación se hará una selección general de cada componente y en los capítulos posteriores se darán especificaciones completas de estos.

Recepción

La primera parte del sistema de recepción que se definirá es el sistema de pesaje del producto recibido. Entre las alternativas mostradas en la sección 2.1 la más adecuada es el **Puente de Pesaje**, ya que es la más sencilla y por tanto más económica. Las otras técnicas de pesado requieren equipos complejos lo que incrementa la inversión inicial y los costos de mantenimiento, además el tonelaje que estos manejan es menor.

La tolva de recepción será de flujo de masa para asegurar una alimentación continua, también se colocará una banda transportadora de baja velocidad para ayudar al flujo uniforme del carbón.

Los transportadores que se utilizarán para llevar el carbón desde la tolva al apilador serán bandas. Esto se debe a su gran versatilidad, capacidad y bajo costo de operación. Los transportadores de banda no tienen igual en cuanto a capacidad de transporte entre todos los medios existentes.

Una banda transportadora de 1.5m de ancho, marchando a 3.3 m/s puede entregar más de 6000 ton/h de un material que pesa 1.7 ton/m³. Los transportadores de banda pueden seguir el perfil natural del terreno debido a su habilidad para atravesar pendientes relativamente empinadas (4).

Debido al espacio físico disponible que se ha asumido se necesitarán dos bandas transportadoras para llevar el carbón desde la tolva a su lugar de almacenamiento (ver figura 3.2). En la descarga entre estas dos bandas se colocará un transportador de derrame.

Almacenamiento.

El Parque de Almacenamiento será Rectangular ya que este requiere equipos más sencillos para su operación, tanto el apilador como el extractor en este caso pueden funcionar sobre rieles y no requieren tener mucha flexibilidad, por tanto, se reduce tanto el costo inicial como el de mantenimiento.

Además del apilador se utilizará un Carro de Descarga para poder realizar la descarga del carbón en cualquier punto a lo largo de la pila.

Las cerchas utilizadas para la construcción de la nave de almacenamiento estarán cubiertas con planchas metálicas para evitar la acumulación de polvo dentro de ellas. Se debe evitar que se formen pilas arrimadas a las paredes o columnas ya que esto provocará el efecto chimenea y ayudará a la autoignición.

Extracción

Para seleccionar el tipo extractor que se utilizará debemos comparar nuestras necesidades con las características de los existentes en el mercado.

Debido a que la capacidad de nuestro sistema es de 100 TM/h, se descartan los extractores de rueda de cangilones y de cadena de cangilones tipo pórtico ya que la capacidad que estos manejan es muy elevada para nuestras necesidades. Las dos opciones restantes son: el extractor de cadena de cangilones de semipórtico y el extractor lateral. Entre estos el más adecuado es el lateral ya que se evita la construcción de una estructura robusta para soportar el extractor, disminuyendo así la inversión inicial del proyecto.

La tolva de alimentación será de flujo de masa para asegurar un flujo uniforme y además evitar que el carbón se estanque y permanezca mucho tiempo dentro de la misma lo cual puede causar una elevación de la temperatura del carbón causando problemas en procesos posteriores.

El esquema final del sistema completo objeto de esta tesis se muestra en la figura 2.22.

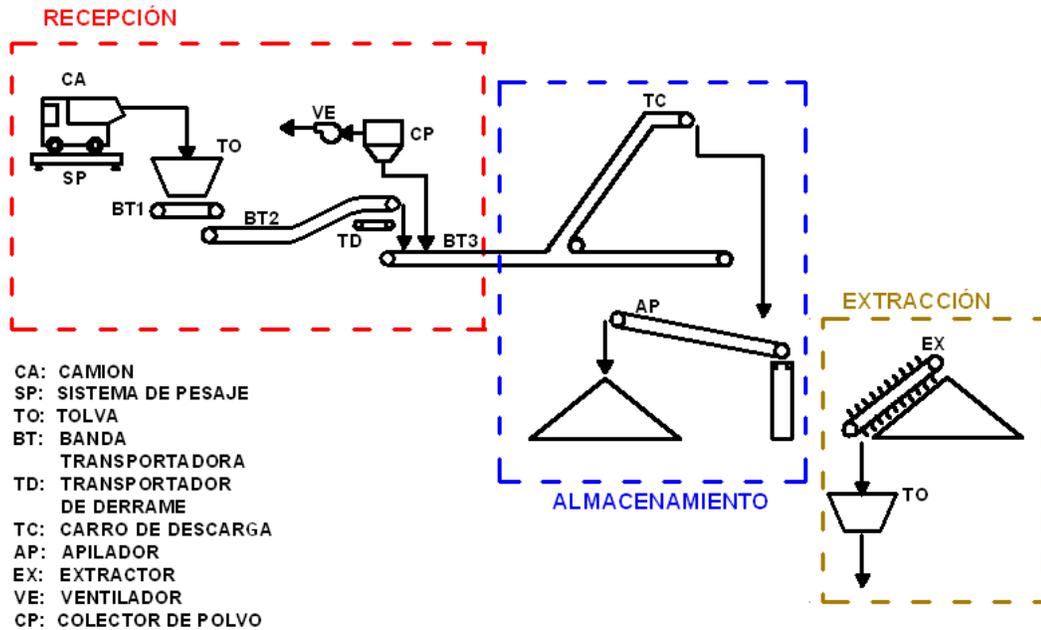


Figura 2.22: Esquema Final del Proyecto Completo para Sistemas de Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón.

CAPÍTULO 3

3. SISTEMA DE RECEPCIÓN.

El espacio físico necesario para poder realizar el proyecto es de 40000 m², aproximadamente. Ya que la utilización del carbón como combustible industrial es viable solo para empresas con gran capacidad de inversión, se asumirá que el espacio que está disponible es el que se muestra en la figura 3.1

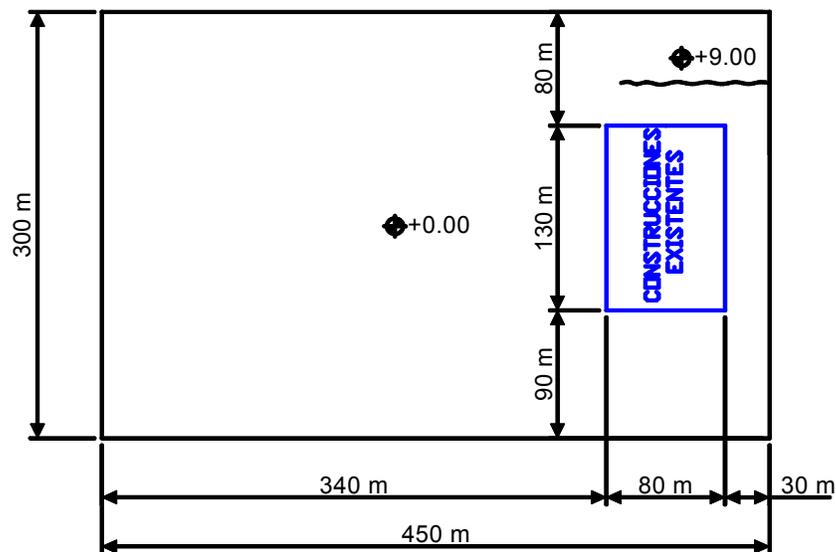


Figura 3.1: Espacio Disponible para el Proyecto.

Este terreno posee una elevación 9 m en uno de sus extremos lo cual facilitará la descarga de los camiones de carbón a la tolva de recepción.

El combustible utilizado para nuestro proyecto será carbón bituminoso, el cual tiene las siguientes características (1,4):

Poder calorífico:	30.2 MJ/kg.
Densidad Aparente:	720 – 880 kg/m ³ .
Tamaño máximo de terrón:	50 mm.
Ángulo de Reposo:	35 °.
Ángulo de Fricción interna:	48.7°.
Ángulo de Fricción con paredes metálicas:	26.5°.
Ángulo de Sobrecarga:	15°.
Máxima inclinación para transporte:	18°.

Las propiedades arriba listadas serán utilizadas más adelante para los diferentes diseños que se realizarán.

3.1. Descripción.

La primera parte del proyecto es el Sistema de Recepción, cuyo esquema se muestra en la figura 3.2 Este se inicia con la balanza utilizada para pesar los camiones que lleguen cargados con carbón. El tipo de balanza a utilizar se denomina “Puente de Pesaje” (PP).

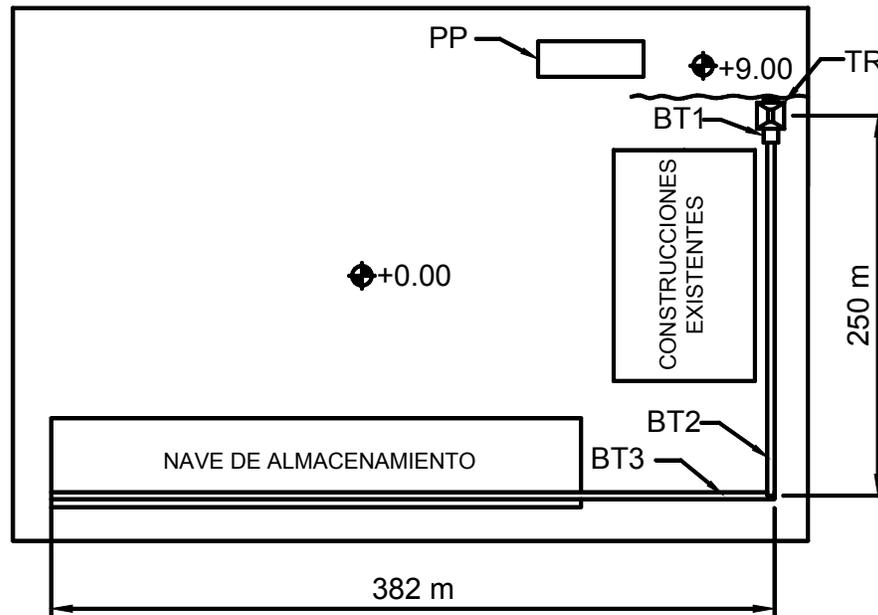


Figura 3.2: Esquema del Sistema de Recepción.

Luego de que el camión es pesado, éste descarga el carbón en la Tolva de Recepción (TR), la cual será de flujo de masa como se indicó en el capítulo anterior, esta tolva tendrá una banda de baja velocidad (BT1) como dispositivo para ayuda de flujo. La banda de baja velocidad descargará sobre una segunda banda de mayor velocidad (BT2), esta recorrerá 250 m para descarga en una tercera banda (BT3) que llevará el carbón hacia la Nave Almacenamiento, para poder realizar la descarga sobre el apilador tendrá un Carro de descarga (Tripper Car).

Se utilizan dos bandas para trasladar el carbón desde la Tolva de Recepción hacia la Nave de Almacenamiento debido a las dimensiones del terreno disponible y las condiciones asumidas anteriormente (ver figura 3.2).

3.2. Diseño y Selección de Equipos.

3.2.1. Sistema de Pesaje.

Para realizar el diseño del sistema de pesaje es necesario conocer las características de los camiones que transportan carbón. La capacidad de cada camión oscila entre 30 y 40 TM y el peso de estos es de alrededor de 10 TM. Igualmente la distancia entre los ejes trasero y delantero oscila entre 4.8 m y 5.1 m. La distancia entre ruedas es de aproximadamente 3 m (Ver plano PC-SP-04)

Diseño de forma

Con las dimensiones de los camiones podemos hacer el diseño de forma del Puente de Pesado. La longitud total del puente de pesado será de 10m, para que el camión quepa dentro el mismo sin problemas. El camión cargado de carbón descansará sobre vigas longitudinales de sección tipo I (no necesariamente estándar), las cuales estarán apoyadas sobre las celdas de carga que sensorarán el peso.

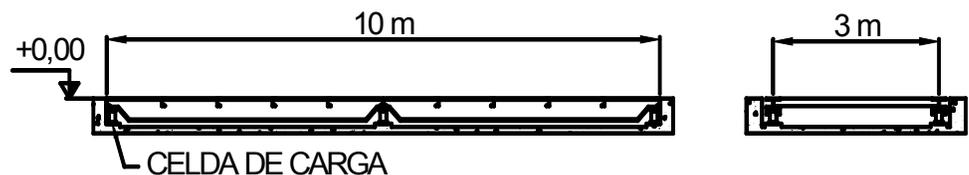


Figura 3.3: Puente de Pesaje.

La distancia entre las vigas será de 3 m (ver figura 3.3). Si se utilizaran únicamente cuatro celdas de carga, las vigas longitudinales deberían ser muy robustas, no solamente para poder soportar los esfuerzos debido al gran momento generado, sino, para evitar la deformación excesiva de las mismas. Por este motivo se prefiere colocar seis celdas de carga; de esta manera la luz de las vigas se reduce a la mitad, disminuyendo así los esfuerzos y deflexiones de las mismas. Las vigas tendrán una reducción de área en sus apoyos, esto es para disminuir el peligro de pandeo local al reducir la altura de las mismas ya que sobre los apoyos ocurre la máxima compresión. Se colocarán dos vigas simplemente apoyadas en cada eje, en lugar de una sola viga continua; aunque esto disminuye la rigidez del conjunto (aumentan las deflexiones), se evita generar momento en el apoyo central, donde la viga tiene menos inercia. Sobre la estructura metálica se fundirá una losa de hormigón, la cual debe ser diseñada para soportar las cargas generadas por el camión. Para soportar esta losa se realizará un tejido metálico con vigas IPE. Todo el material de la estructura metálica será acero ASTM A36.

Se excavará una fosa para que la parte superior de la estructura del puente de pesado quede a nivel del pavimento, esto es para evitar la construcción de rampas de acceso al puente. Además, debido a que las celdas de pesaje estarán por debajo del nivel del suelo, se deben construir fosas de inspección para realizar el mantenimiento de estas.

Las fosas de inspección de las celdas de los extremos serán de 750 mm de largo y 500 mm de ancho, las fosas de inspección centrales serán de 1500 mm de largo y 500 mm de ancho. La profundidad depende de las celdas, la estructura metálica y la losa de hormigón.

Cargas de Diseño.

Debido a que la carga producida por los camiones no es estática, sino que es una carga móvil, hay que utilizar las “Líneas de Influencia” que se generan para poder encontrar el caso crítico. Una Línea de Influencia puede definirse como un diagrama cuyas ordenadas muestran la magnitud y el carácter de algún elemento mecánico de una estructura cuando una carga unitaria se mueve a lo largo de ella (27). Nosotros estamos interesados especialmente en las líneas de influencia del Momento Flector y Fuerza Cortante. Para poder realizar el análisis hay que considerar tres situaciones, la primera es cuando solamente el eje delantero (una sola carga) se mueve a lo largo de la viga, la segunda es cuando dos cargas (los ejes traseros se considerarán como una sola carga) se mueven a lo largo de la viga y finalmente la última es cuando el solo el eje trasero se mueve a lo largo de la viga.

Hay que considerar que la carga no se reparte uniformemente sobre los ejes trasero y delantero. De acuerdo a las especificaciones del camión el eje delantero tiene un 40% del total de la carga y los ejes traseros el 60% restante, la carga total es de 50 TM (incluyendo el peso del camión).

Con esto se tiene que las cargas sobre los ejes traseros y delantero son:

$$P_T = \frac{W_{total} * 0.6}{2}$$

$$P_T = 147 \text{ kN}$$

$$P_D = \frac{W_{total} * 0.4}{2}$$

$$P_D = 98 \text{ kN}$$

El diagrama de cuerpo libre de la primera situación se muestra en la figura 3.4.

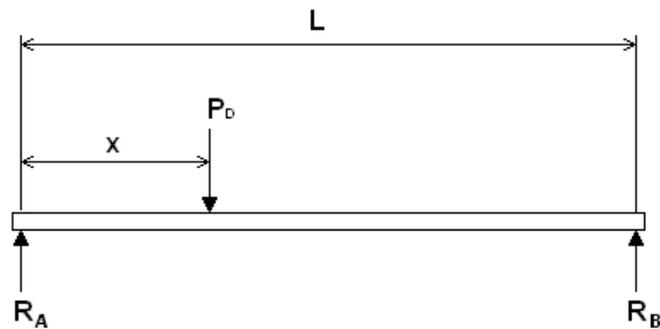


Figura 3.4: Diagrama de Cuerpo Libre Situación 1.

Aplicando estática se tiene que las reacciones en los apoyos son:

$$R_A = P_D * \left(1 - \frac{x}{5}\right)$$

$$R_B = P_D * \frac{x}{5}$$

Los gráficos de cortante y momento se muestran en la figura 3.5.

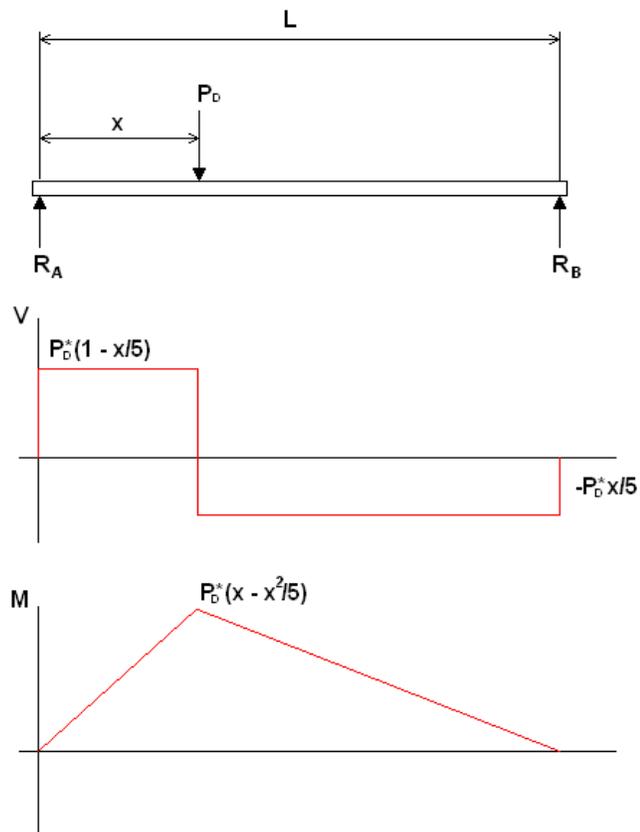


Figura 3.5: Diagrama de Cortante y Momento Situación 1.

Se asumirá que la distancia entre los ejes delantero y trasero del camión será de 4.8 m, ya que este sería la situación más crítica por estar las cargas más cerca la una de la otra. De esta manera "x", para la primera situación (la viga con una sola carga), varía entre 0 y 4.8 m.

Las líneas de influencia de este caso para la fuerza cortante en el apoyo A y el momento flector en el punto de aplicación de la carga se muestran en la figura 3.6 y 3.7

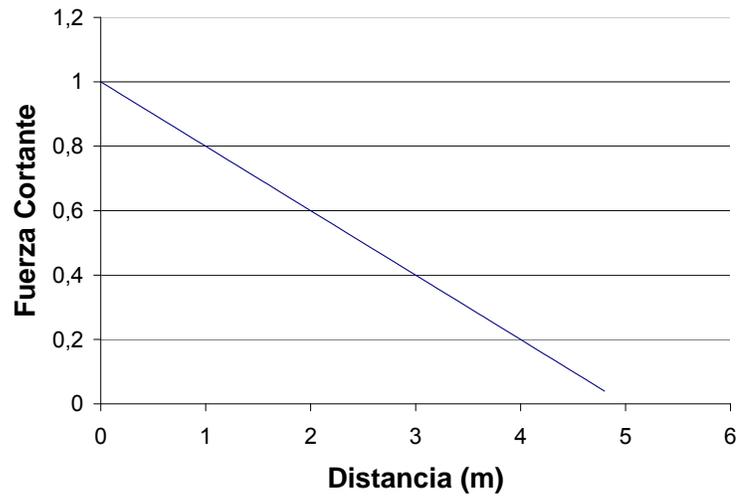


Figura 3.6: Línea de Influencia de Fuerza Cortante en apoyo izquierdo.

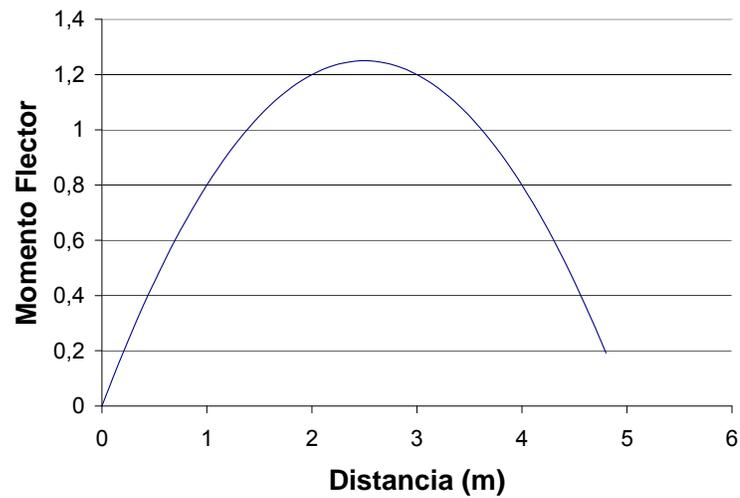


Figura 3.7: Línea de Influencia de Momento Flector en Punto de Aplicación de la Carga.

De los gráficos se obtiene que el momento máximo, para esta situación, ocurre siempre en el lugar donde se aplica la carga y que la fuerza cortante máxima ocurre en el primer apoyo. Los valores de estos son:

$$V_{MAX} = P_D * \left(1 - \frac{x}{5}\right) \quad 0 \leq x < 2.5$$

$$V_{MAX} = P_D * \frac{x}{5} \quad 2.5 \leq x \leq 4.8$$

$$M_{MAX} = P_D * \left(x - \frac{x^2}{5}\right) \quad 0 \leq x < 4.8$$

El diagrama de cuerpo libre para la segunda situación (cuando actúan las dos cargas), se muestra en la figura 3.8.

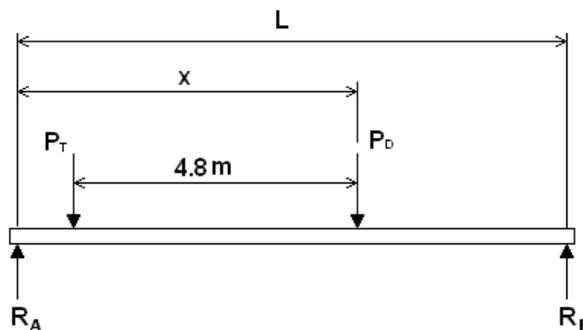


Figura 3.8: Diagrama de Cuerpo Libre Situación 2.

Procediendo de manera similar al caso anterior se obtienen las siguientes ecuaciones para la Fuerza Cortante y Momento Máximo:

$$V_{MAX} = P_T * \left(1.96 - \frac{x}{5}\right) + P_D * \left(1 - \frac{x}{5}\right) \quad 4.8 \leq x \leq 5$$

$$M_{MAX} = -\frac{(P_T + P_D)}{5} * x^2 + (1.96 * P_T + P_D) * x - 4.8 * P_T \quad 4.8 \leq x < 4.88$$

$$M_{MAX} = \left[P_T * \left(1.96 - \frac{x}{5}\right) + P_D * \left(1 - \frac{x}{5}\right) \right] * (x - 4.8) \quad 4.88 < x \leq 5$$

El diagrama de cuerpo libre para la tercera situación se muestra en la figura 3.9.

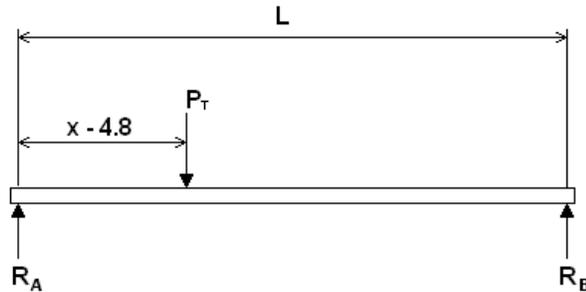


Figura 3.9: Diagrama de Cuerpo Libre Situación 3.

Las ecuaciones de fuerza cortante y momento máximo son:

$$V_{MAX} = P_T * \left(1.96 - \frac{x}{5} \right) \quad 5 \leq x \leq 7.3$$

$$V_{MAX} = P_T * \left(\frac{x}{5} - 0.96 \right) \quad 7.3 < x \leq 9.8$$

$$M_{MAX} = P_T * \left(-\frac{x^2}{5} + 2.92 * x - 0.192 \right) \quad 5 \leq x \leq 9.8$$

Con las ecuaciones obtenidas se procede a graficar el Momento Flector y Fuerza Cortante máximo.

En la figura 3.10 se puede observar que el momento máximo ocurre cuando la segunda carga (eje trasero) se encuentra en el centro de la viga. La fuerza cortante máxima ocurre cuando el eje trasero se encuentra sobre el primer apoyo.

Para realizar el diseño de la viga hay que tomar en cuenta las situaciones críticas, es decir, cuando los valores de fuerza cortante y momento son los máximos. Además de esta carga se debe considerar el peso propio de la estructura.

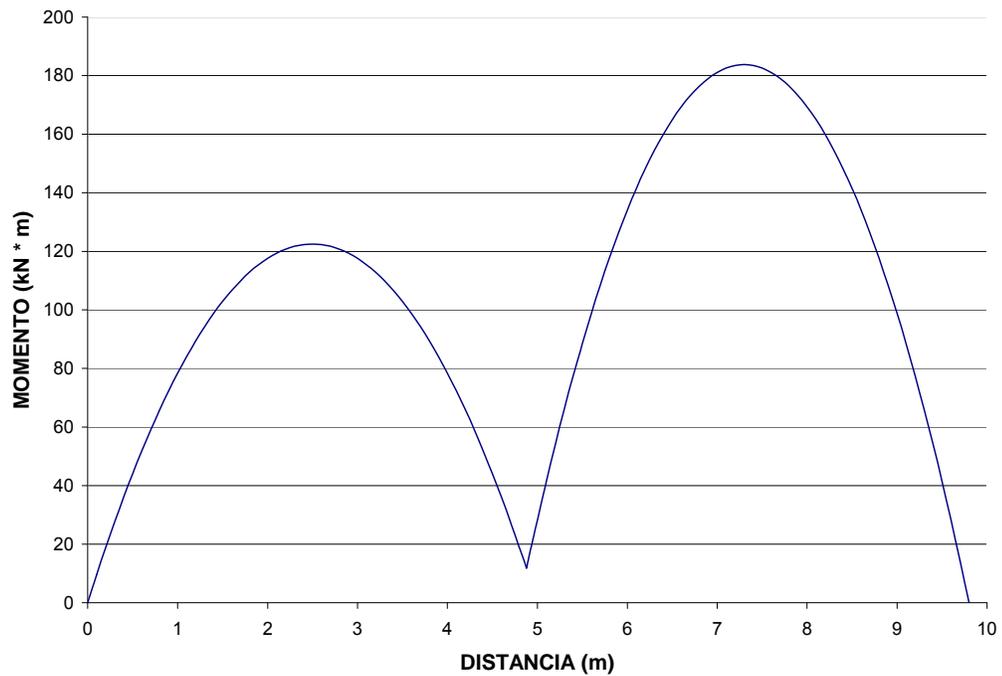


Figura 3.10: Momento Flector Máximo.

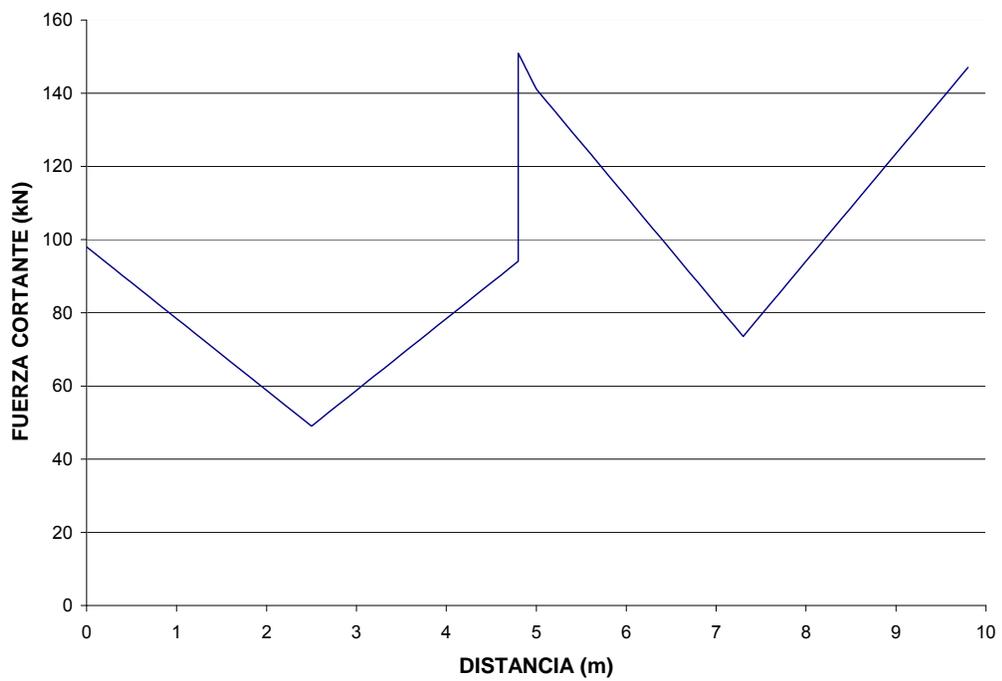


Figura 3.11: Fuerza Cortante Máxima.

Criterio de Diseño.

Para seleccionar el perfil adecuado para soportar las cargas calculadas anteriormente se utilizará la norma del AISC (American Institute of Steel Constructors) (20). El método utilizado se denomina “Diseño por Factores de Carga y Resistencia” (LRFD por sus siglas en inglés).

Este método de diseño consiste básicamente en aplicar factores a la carga, dependiendo del tipo (carga viva, muerta, de viento, de lluvia o de sismo). Con esto se obtiene la carga factorada llamada P_u . Luego se calcula la resistencia del elemento, dependiendo si este está a tensión, compresión, torsión, flexión o alguna combinación de estos; esta resistencia, denominada P_n , es multiplicada por un factor denominado ϕ menor que 1. La condición que el elemento debe cumplir es:

$$P_u \leq \phi P_n.$$

Para realizar el análisis estructural se utilizará el programa computacional SAP2000. Este utiliza el análisis de elementos finitos para calcular los esfuerzos, fuerzas y deformaciones en los elementos estructurales debido a las cargas aplicadas. Este programa también chequea si los elementos cumplen la norma de diseño del AISC.

Para modelar la estructura metálica del puente de pesado se utilizarán los elementos denominados FRAME.

Las fuerzas internas de cada elemento FRAME son:

- P : Fuerza axial
- V2 : Fuerza cortante en el plano 1-2
- V3 : Fuerza cortante en el plano 1-3
- T : Fuerza de torsión
- M2 : Momento de Flexión en el plano 1-3 (alrededor del eje 2)
- M3 : Momento de Flexión en el plano 1-2 (alrededor del eje 3)

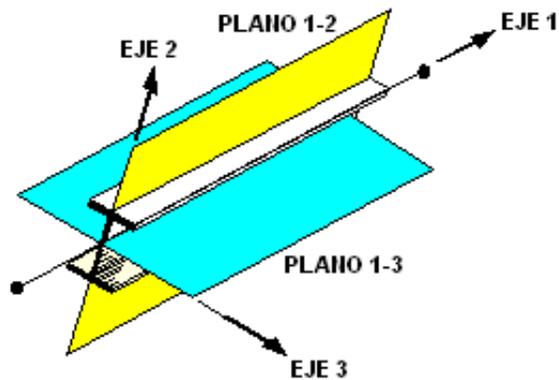


Figura 3.12: Elemento FRAME.

La figura 3.13 muestra el modelo utilizado; las fuerzas están aplicadas en el centro de viga longitudinal, donde estas producen el momento máximo. El esfuerzo producido por la fuerza cortante máxima se analizará luego.

La carga debido al peso de la estructura es calculada automáticamente por el programa. Se utilizaron dos secciones para las vigas longitudinales, la sección cerca de los apoyos es más pequeña que la del resto de la viga (por lo especificado en el diseño de forma).

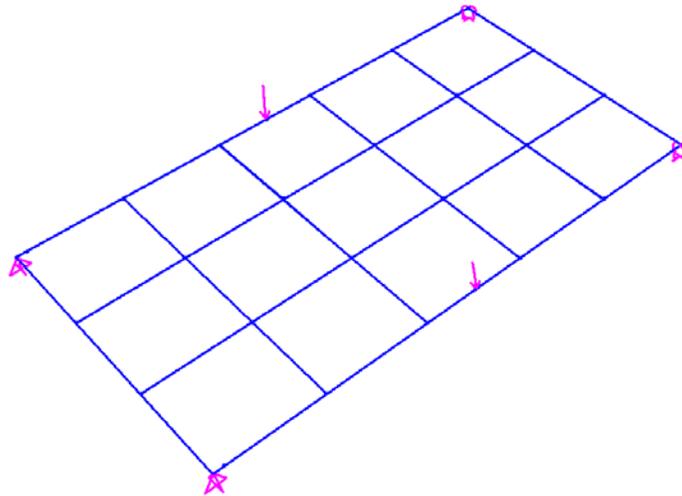


Figura 3.13: Modelo Utilizado para Puente de Pesaje.

Luego de las iteraciones necesarias de diseño utilizando diferentes secciones se obtiene como resultado los perfiles mostrados en la figura 3.14. Además para evitar que el alma de la sección más pequeña falle por cortante se colocan rigidizadores en los extremos (ver PLANO PC-SP-02).

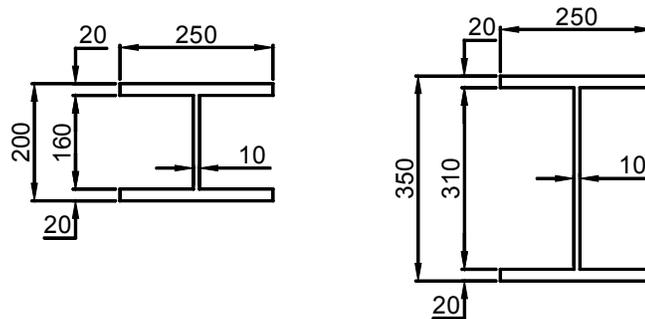


Figura 3.14: Secciones de Viga Seleccionadas.

Ya que las vigas seleccionadas no son estándares hay que comprobar que las secciones sean compactas y no halla peligro de pandeo local, para esto se utilizará las normas dadas por el AISC (20).

Para que no ocurra pandeo local en las alas se debe cumplir que:

$$\frac{b}{t_F} < \frac{65}{\sqrt{S_y}}$$

Donde,

b : Ancho de las alas

t : Espesor de las alas

S_y : Esfuerzo de fluencia en kpsi.

De igual manera para que no haya pandeo local en el alma se debe cumplir que:

$$\frac{h}{t_w} < \frac{640}{\sqrt{S_y}}$$

Donde,

h : Altura del alma

t_w : Espesor del alma

Ambas relaciones mencionadas anteriormente se cumplen, por tanto la sección seleccionada es compacta y no habrá problema de pandeo local. Las vigas utilizadas en el tejido para soportar la losa de hormigón serán IPE 200.

El programa muestra como resultado del diseño la relación entre la carga aplicada (P_u) y la resistencia del material (φ_nP_n), por tanto, para que el elemento cumpla con lo especificado por el AISC esta relación debe ser menor que 1.

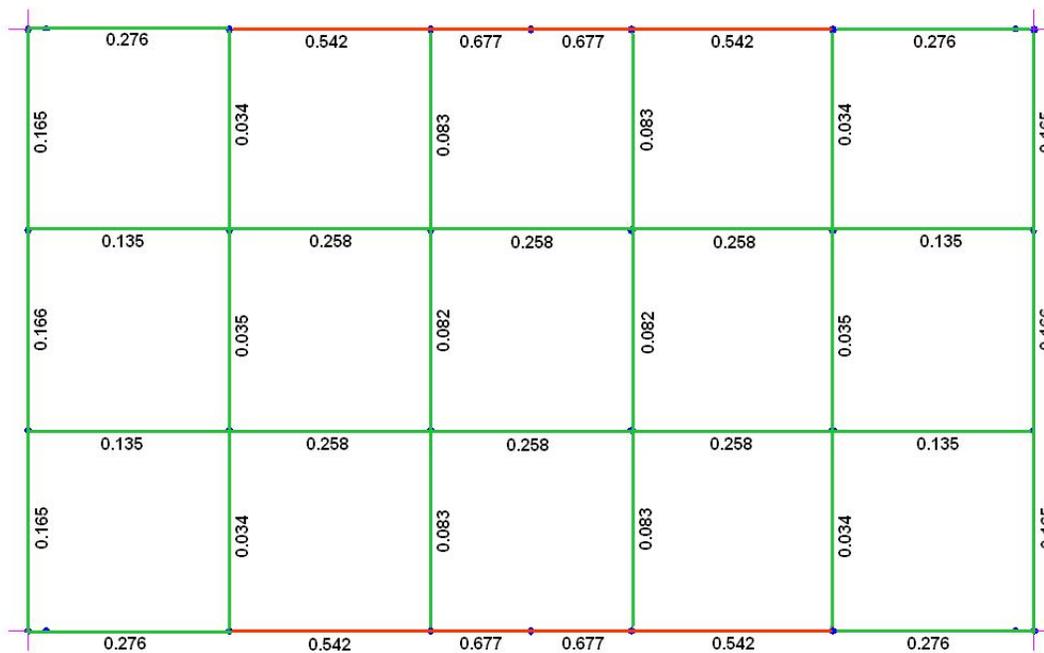


Figura 3.15: Relaciones Carga/Resistencia para Puente de Pesaje

La figura 3.15 muestra los valores de la relación Carga/Resistencia con las secciones seleccionadas. Se puede notar que para todos los elementos esta relación es menor de 1, por tanto están dentro de lo especificado por la norma. Aunque se pueden utilizar vigas longitudinales menos robustas que también estén dentro de lo que especifica la norma del AISC estas traen otro problema, la deflexión excesiva. La deflexión máxima con las secciones seleccionadas es de 7 mm, la cual están muy cerca del valor máximo recomendada. Para comprobar que las vigas no fallen por cortante en los apoyos se utiliza la fuerza cortante máxima obtenida de las líneas de influencia y la reacción producida por el peso propio de la estructura.

De igual manera se procederá a realizar diseño utilizando la norma del AISC. La fuerza cortante soportada por la viga debido al peso del camión (Carga Viva) es 151 kN, la fuerza cortante debido al peso propio de la estructura es de 20 kN (Carga Muerta). La fuerza cortante de diseño recomendada viene dada por:

$$V_u = 1.2*CM + 1.6*CV$$

Donde,

CM: Carga muerta.

CV: Carga viva.

Con lo que se obtiene

$$V_u = 1.2*20 + 1.6*151$$

$$V_u = 265.6 \text{ kN.}$$

La resistencia viene dada por ϕV_n , con:

$$V_n = 0.6*S_Y*A_W$$

Donde,

S_Y : Esfuerzo de fluencia.

A_W : Área del alma.

además, $\phi = 0.9$

Con esto se obtiene que:

$$\phi V_n = 360 \text{ kN.}$$

Por tanto se cumple la condición que $V_u < \phi V_n$.

Selección de Celdas de Carga.

Para la selección de la celda de carga se necesita saber cual es la capacidad que debe tener la misma. La máxima carga que esta soporta es de 171 kN, lo cual representa 17500 Kgf.

Del catálogo de BHL (ver Apéndice I) se selecciona la celda de carga tipo C2P, ya que el rango de operación de la misma satisface nuestras necesidades (9072 – 22680 Kgf.). Las dimensiones de la celda seleccionada se muestran en la figura 3.16.

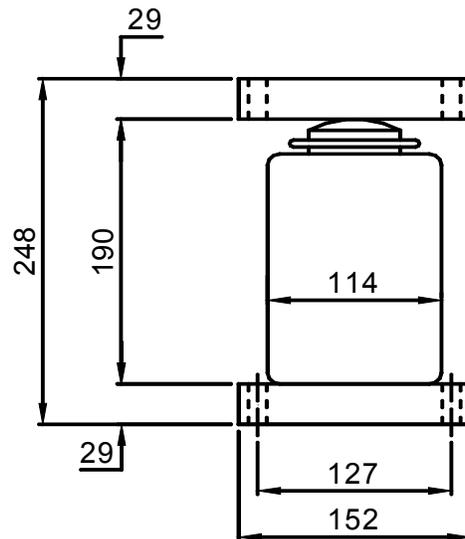


Figura 3.16: Celda de Carga Seleccionada.

El detalle del diseño realizado se puede observar en los planos PC-SP-01 y PC-SP-02.

3.2.2. Tolva de Recepción.

La capacidad nominal de esta tolva será igual a la capacidad de los camiones que descargarán el carbón.

Los camiones existentes tienen una capacidad máxima de 40 TM, se considerará que la capacidad nominal de la tolva será un 80% de la capacidad de diseño, esto es:

$$\begin{aligned} \nabla_{\text{DISEÑO}} &= \frac{\nabla_{\text{NOMINAL}}}{0.8} \\ \nabla_{\text{DISEÑO}} &= \frac{40 \text{ Tn}}{0.8} \\ \nabla_{\text{DISEÑO}} &= 50 \text{ Tn} \end{aligned}$$

Diseño de forma

Como ya se dijo al principio del capítulo se asume que en el espacio físico con el que contamos hay una elevación de terreno, esto nos da el desnivel necesario para realizar la descarga de los camiones (ver figura 3.17). Sobre la tolva (parte inclinada) habrá un recipiente con paredes verticales. La sección transversal de la parte vertical será cuadrada.

La tolva tendrá una cubierta con la altura necesaria para el camión descargue el carbón sin problemas. Sabiendo que la altura máxima del camión es de 3.8 m, la altura de la cubierta será de 4.5 m (ver figura 3.17).

El material que se utilizará para toda la estructura metálica será acero ASTM A36.

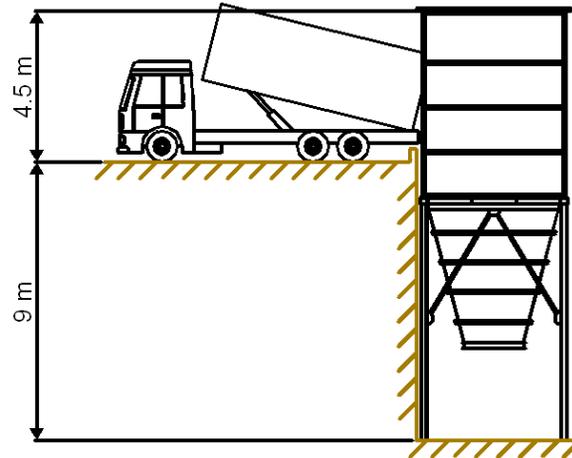


Figura 3.17: Descarga de Camiones.

Para definir las dimensiones de la tolva, se utilizará el Método de Jenike para diseño de Tolvas (6,15). La sección transversal será rectangular y la altura depende del ángulo de inclinación que se calcule mediante el método de Jenike. El ancho de la abertura inferior debe ser de 550 mm, para que no haya problemas en la descarga a la banda de baja velocidad, y la longitud será de 2000 mm para evitar problemas de flujo. La abertura de descarga tendrá una “Válvula de Pines” para regular el flujo.

Consideraciones de Diseño

En el diseño de silos y tolvas para almacenar sólidos al granel hay que considerar las propiedades del material a almacenar, la geometría seleccionada y las propiedades estructurales necesarias para soportar las cargas inducidas por el almacenamiento del material.

Entre las propiedades del material más importantes a tomar en cuenta están: Densidad aparente, ángulo de fricción interno y fricción con las paredes de la tolva. Estas propiedades pueden variar dramáticamente con cambios en el tamaño de la partícula, humedad, temperatura y presión, por lo que se recomienda que las propiedades sean medidas a las condiciones de operación (12). En el caso de este proyecto no es posible realizar esta medición, así que se tomarán los valores de las tablas existentes.

Si la geometría de la tolva no es la adecuada pueden ocurrir problemas de flujo o incluso puede no haber flujo de material. La meta de esta parte del diseño es maximizar la capacidad de la tolva, minimizando su costo, altura total, etc.

De los tres aspectos principales, las cargas que aparecen en un silo es el menos entendido (12). El colapso de los silos y tolvas es muy común, y hasta el momento los diseñadores no han llegado a un acuerdo en cuanto a la determinación de las presiones que ocurren en estos.

Aunque existen códigos para el cálculo de cargas, estos no cubren todos los casos existentes y el ingeniero debe hacer sus propios razonamientos cuando realice un diseño, e incluso retroceder hasta los principios básicos (12). Debido a esto se realizará el cálculo de las presiones que se producen en la tolva utilizando las fórmulas deducidas por Jenike y también las dadas por la norma DIN1055 – parte 6 (22).

Además de estas presiones, se calculará la presión debido al impacto del carbón con las paredes de la tolva y se comparará con las presiones obtenidas.

Diseño Geométrico de la Tolva.

Para que la tolva sea se flujo de masa el ángulo de inclinación de la misma no debe exceder un cierto valor crítico.

Este ángulo depende del ángulo de fricción entre las paredes de la tolva y el material almacenado (ϕ_w) y de la geometría seleccionada, que como ya se especificó, será una tolva con sección transversal rectangular.

Para que no haya problemas de flujo el largo de la abertura de descarga será mayor a 3 veces el ancho (22). Como ya se dijo al inicio del capítulo el ángulo de fricción ϕ_w es de 26.5° . De la figura 3.18 se obtiene el ángulo de inclinación de la tolva necesario para que esta sea de flujo de masa.

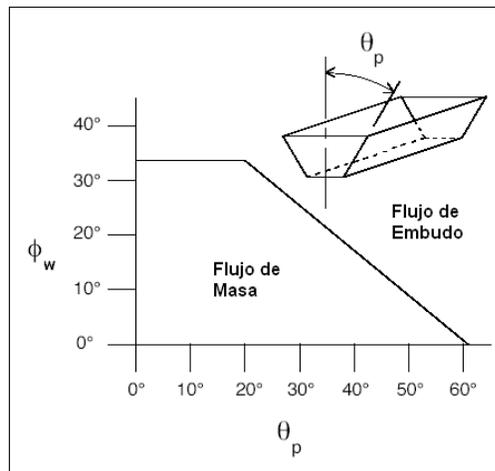


Figura 3.18: Ángulo Necesario para Flujo de Masa.

El ángulo requerido es aproximadamente 26° según el gráfico, pero para tener un margen de seguridad se elige un ángulo tres grados menor (15), es decir que el ángulo para el diseño será de 23° .

El método de diseño se basa en el hecho de que el material que fluye forma “arcos” que obstruyen la salida, y para que haya flujo continuo, estos arcos deben colapsar continuamente (ver figura 3.19).

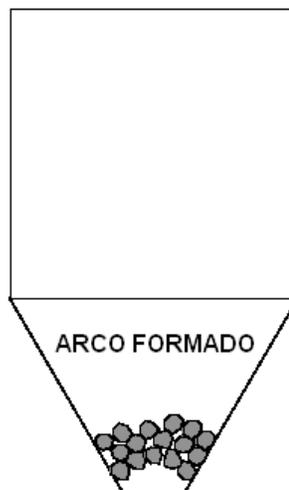


Figura 3.19: Arcos formados en Tolva.

En el caso de tener un tamaño de grano mayor a 6 mm, como es el caso que se está analizando, el arco se produce por la superposición de partículas (“interlocking”). Para evitar esto es suficiente que el ancho de la abertura de descarga sea de 3 a 4 veces el tamaño de la partícula (23). Las partículas de carbón serán de 50 mm, por lo que el ancho mínimo es alrededor de 200 mm, el ancho seleccionado es de 550 mm, por tanto el carbón fluirá sin problemas.

En la figura 3.20 se muestra la tolva que se utilizará con sus medidas principales. La tolva tendrá anillos fabricados con ángulos para evitar que sus paredes se deformen excesivamente.

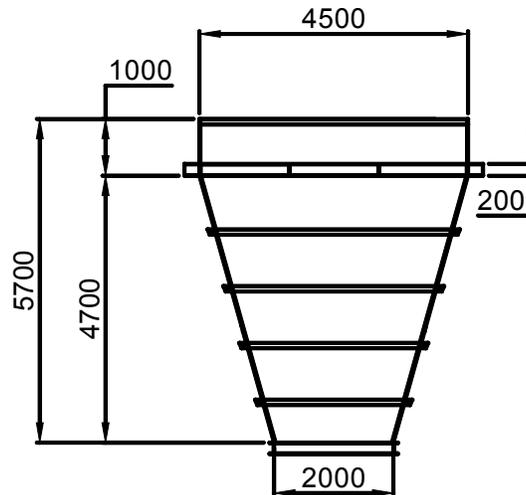


Figura 3.20: Medidas principales de Tolva de Recepción.

Cálculo de presiones y esfuerzos.

Ecuaciones deducidas por Jenike.

Para poder entender plenamente como se realizará el diseño de la tolva, primeramente se explicará cuales con las presiones existentes y como se calculan las mismas. Para el cálculo de las presiones y esfuerzos el material almacenado es considerado como un medio continuo.

En contraste con los fluidos, el material al granel en reposo puede transmitir esfuerzo cortante.

Mientras que la presión en un contenedor llenado con un líquido aumenta linealmente con la profundidad, en el caso de un sólido al granel parte del peso del material es soportado por las paredes del silo debido al esfuerzo cortante (fricción con las paredes), de esta manera la presión no aumenta linealmente con la profundidad (figura 3.21).

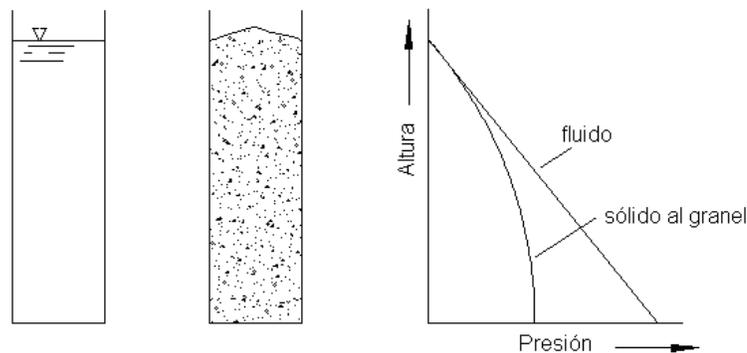


Figura 3.21: Comparación entre presiones de fluido y sólido.

Hay dos tipos de estados de esfuerzos principalmente, el estado activo y el pasivo. Cuando un silo vacío es llenado la presión es como se muestra en la figura 3.22a, esto se denomina estado activo de esfuerzos; en este caso el esfuerzo principal mayor en el material actúa hacia abajo a lo largo del eje del silo. A medida que se acerca a las paredes del silo la dirección del esfuerzo principal mayor diverge de la vertical como se puede observar.

Al comienzo de la descarga, en una tolva de flujo de masa, todo el material se desplaza y las condiciones de esfuerzo cambian.

Empezando desde el vértice teórico de la tolva el estado pasivo de esfuerzos prevalece. Cuando el material fluye hacia abajo este 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. Esta condición ocurre solamente en la parte inclinada de la tolva cuando esta es de flujo de masa (figura 3.22b).

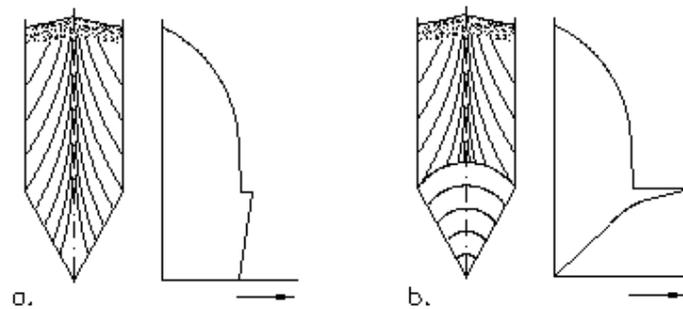


Figura 3.22: Estado de esfuerzos pasivo y activo.

Las presiones y esfuerzos vienen dados por las siguientes ecuaciones (8):

$$p_Y = \frac{g * \rho * A}{\lambda * \tan \phi_W * U} * \left(1 - e^{-\frac{\lambda * \tan \phi_W * U * y}{A}} \right) + p_{Y0} * e^{-\frac{\lambda * \tan \phi_W * U * y}{A}}$$

$$p_H = p_Y * \lambda$$

$$\tau_W = p_H * \tan \phi_W$$

Donde,

p_Y = Presión Vertical sobre el Material a una profundidad “y” medida desde la Parte Superior.

$g =$ Aceleración de la Gravedad.

$\rho =$ Densidad Aparente del Material.

$A =$ Área de la Sección Transversal.

$\lambda =$ Constante de Janssen.

$\phi_w =$ Ángulo de Fricción entre Material y Paredes.

$U =$ Perímetro.

$p_{y0} =$ Presión Vertical en la Parte Superior.

$p_H =$ Presión Horizontal sobre Paredes.

$\tau_w =$ Esfuerzo Cortante sobre Paredes.

Para la tolva se tiene las siguientes ecuaciones (6):

$$p_Y = \frac{g * \rho}{1 + N} * \left(H * \left(\frac{H}{y} \right)^N - y \right) + p_{yH} * \left(\frac{H}{y} \right)^N$$

$$p_N = p_Y * \lambda$$

$$\tau_w = p_N * \tan \phi_w$$

Donde,

$H =$ Altura de la Tolva (parte inclinada).

$p_N =$ Presión Normal a la Pared de la Tolva.

$p_{yH} =$ Presión Vertical a la altura H

y N viene dada por:

$$N = 1 - \lambda * \left(\frac{\tan \phi_w}{\tan \alpha} + 1 \right)$$

Donde,

α : Ángulo de inclinación de la tolva con respecto a la vertical.

Para las ecuaciones anteriores (presiones en la tolva) “y” se la mide desde el vértice imaginario de la tolva (ver figura 3.23), en contraste con la ecuación para la parte vertical en donde “y” se mide desde la parte superior.

Además la ecuación de p_y puede ser aplicada únicamente para tolvas con sección transversal rectangular.

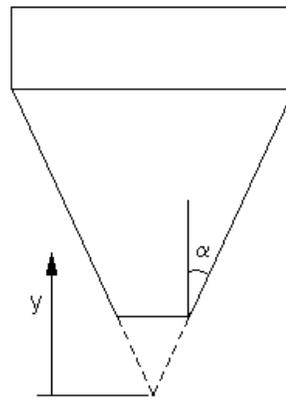


Figura 3.23: Punto de Referencia para “y” en la Tolva.

La constante de Janssen varía dependiendo del estado de esfuerzos (pasivo o activo) y de si se está analizando la parte vertical o la tolva. La siguiente ecuación es recomendada para la parte vertical (8):

$$\lambda = 1.2 * (1 - \text{sen}\phi)$$

Donde ϕ es el ángulo de fricción interna del material utilizado.

Para la parte inclinada se puede utilizar la siguiente ecuación (6):

$$\lambda = \frac{1 - k \cdot \text{sen}\phi \cdot \cos(2\phi_w)}{1 + k \cdot \text{sen}\phi}$$

Donde $k = 1$ para el estado activo de esfuerzos y $k = -1$ para el estado pasivo de esfuerzos.

En la figura 3.24 se muestra la presión que se desarrolla en la tolva en el estado activo de esfuerzos; como se observa la presión en el fondo (abertura de descarga) es la mayor. La constante de Janssen es menor a 1, por tanto la presión horizontal es menor a la vertical.

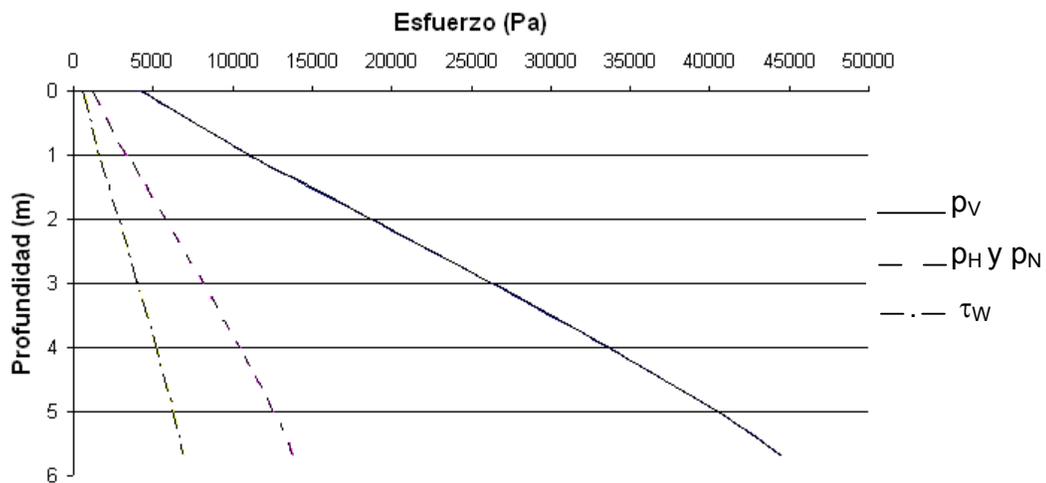


Figura 3.24: Presiones en Estado Activo de Esfuerzos.

En la figura 3.25 se muestra la presión que se desarrolla en la tolva en el estado pasivo de esfuerzos, en este caso la presión es máxima en la transición entre la parte vertical e inclinada. La constante de Janssen es mayor a 1, por tanto la presión horizontal es mayor a la vertical.

Se puede comprobar mediante este ejemplo que el estado de esfuerzos activo es predominante en el primer tercio superior de la parte inclinada, en el resto el estado de esfuerzos pasivo es el que predomina (12).

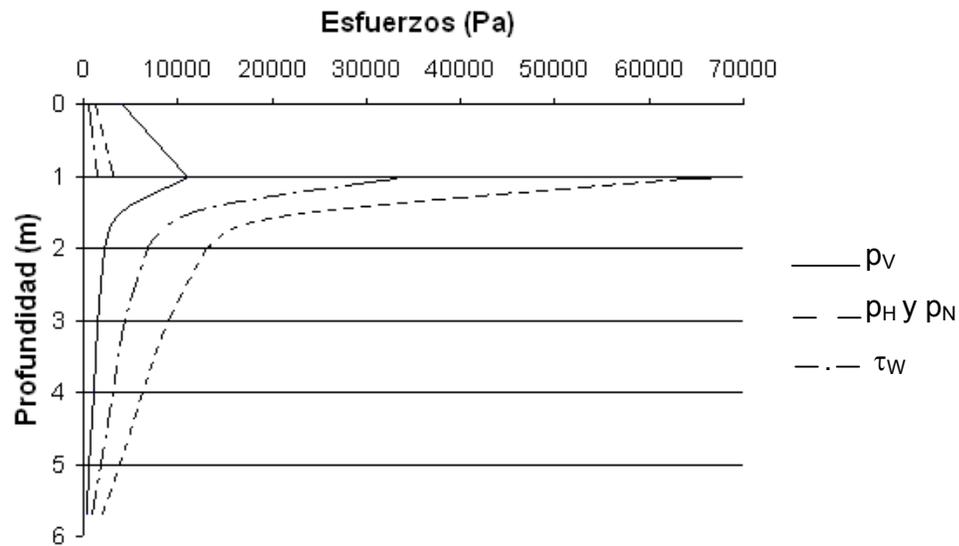


Figura 3.25: Presiones en Estado Pasivo de Esfuerzos.

Norma DIN 1055 - parte 6.

Las ecuaciones que definen las presiones y esfuerzos en la parte vertical son iguales a las descritas anteriormente, por tanto, no entraremos en detalle.

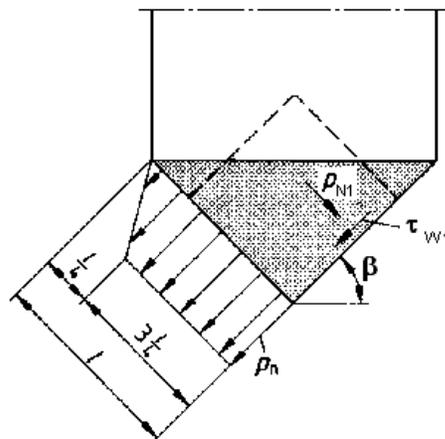


Figura 3.26: Presiones debido a Material en la Tolva.

Para la tolva hay que considerar dos presiones, la presión normal sobre la pared (p_{N1}) y esfuerzo cortante debido a la fricción (τ_{w1}) producidos por el material que se encuentra dentro de la tolva y la presión normal sobre la pared (p_{N2}) y esfuerzo debido a la fricción (τ_{w2}) producidos por el material sobre la tolva. La presión p_{N1} y el esfuerzo τ_{w1} es como se muestra en la figura 3.26.

$$p_n = 2.4 * \frac{A}{U} * \rho * \lambda * \frac{\text{sen}^2 \beta}{\sqrt{\tan \phi_w}}$$

$$\tau_{w1} = \frac{p_{N1}}{2}$$

Donde,

A : Área de la sección transversal de la parte vertical.

U : Perímetro de la parte vertical.

ρ : Densidad aparente del material.

λ : Constante de Janssen.

ϕ_w : Ángulo de fricción del material con la pared.

β : Ángulo de inclinación de la tolva medido desde la horizontal.

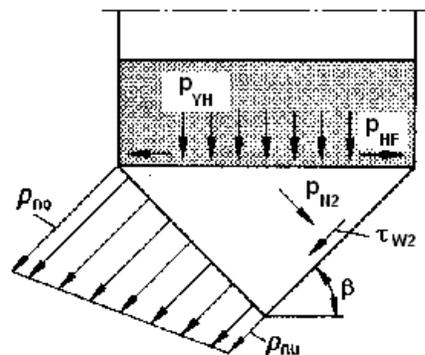


Figura 3.27: Presiones debido a Material sobre la Tolva.

La presión p_{N2} y el esfuerzo τ_{w2} es como se muestra en la figura 3.27.

$$p_{n0} = (p_{YH} * C_b * \cos^2 \beta + p_{HF} * \sin^2 \beta) * \left(1 + \frac{\sin^2 \alpha}{4 * \tan \phi_w} \right)$$

$$p_{nu} = p_{YH} * C_b * \cos^2 \beta$$

$$\tau_{w1} = \frac{p_{N1}}{2}$$

Donde,

p_{YH} : Presión vertical al inicio de la parte inclinada.

p_{HF} : Presión horizontal al inicio de la tolva.

$$C_b = 1.8$$

A estas presiones hay que sumar la sobrepresión que ocurre en la unión de la parte vertical con la tolva. Esta presión actúa sobre la parte vertical e inclinada como se muestra en la figura 3.28.

El valor de p_s es el menor entre:

$$p_s = \rho * g * H$$

$$p_s = \rho * g * B$$

Donde,

ρ = Densidad aparente.

g = Aceleración de la gravedad.

H = Altura de la parte vertical.

B = Ancho de la parte vertical.

Además,

$$b_s = 0.3 * B$$

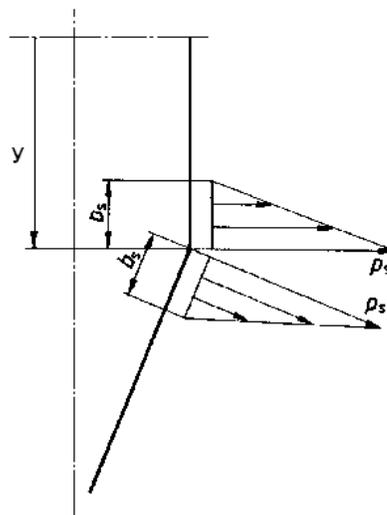


Figura 3.28: Sobrepresión en el cambio de sección.

Considerando todo lo especificado se obtiene el gráfico mostrado en la figura 3.29. Como podemos observar los valores obtenidos por la norma son menores que los obtenidos utilizando las fórmulas desarrolladas por Jenike.

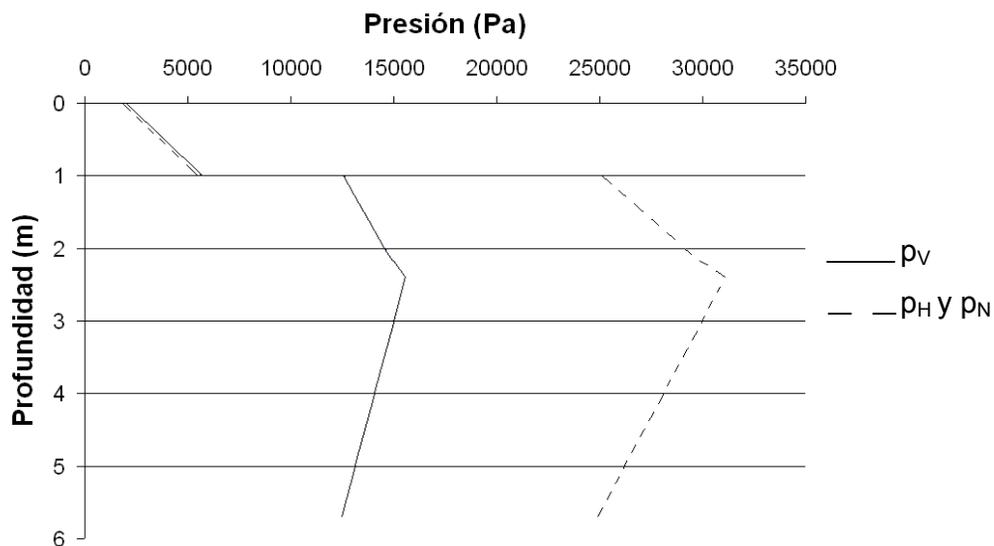


Figura 3.29: Presiones según Norma DIN 1055.

Presión de Impacto

Para poder calcular la presión que se produce debido al impacto entre el carbón y las paredes de la tolva se utilizará la siguiente ecuación (11):

$$p_i = \rho * V^2 * \text{sen}^2\theta$$

Donde,

p_i = Presión de Impacto.

ρ = Densidad aparente.

V = Velocidad de impacto.

θ = Ángulo de impacto.

La velocidad de impacto se estimará asumiendo que toda la carga cae verticalmente sobre la tolva. De esta manera la presión solo actúa en la parte inclinada con $\theta = 22.8$ y la velocidad será:

$$V = \sqrt{2 * g * h}$$

Donde,

g = Aceleración de la gravedad.

h = Distancia entre el centro de masa del carbón en el camión y el punto analizado

Con esto se obtiene lo siguiente:

$$p_i = \rho * V^2 * \text{sen}^2\theta$$

$$p_i = 2 * \rho * g * h * \text{sen}^2\theta$$

Con esto se obtiene el gráfico mostrado en la figura 3.30.

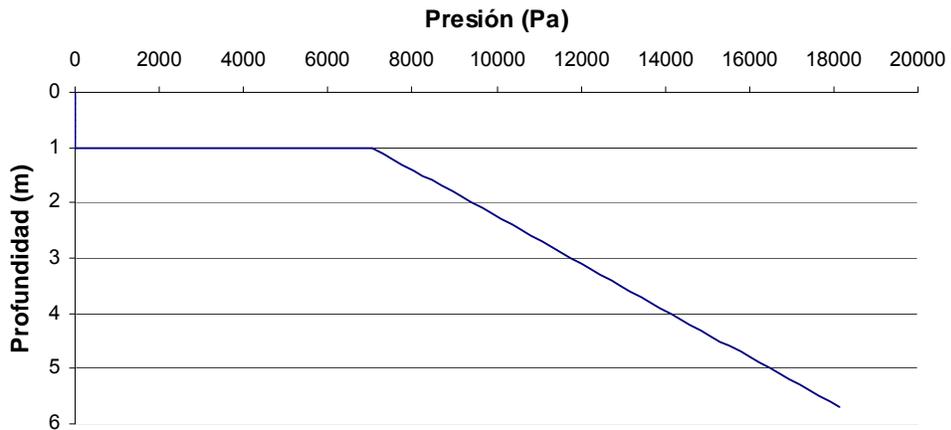


Figura 3.30: Presión de Impacto en la Tolva.

Como se observa las presiones siempre se encuentran por debajo de las presiones debido al almacenamiento del material, por tanto no serán tomadas en cuenta para el diseño de las paredes de la tolva.

Cálculo de Esfuerzos en las Paredes de la Tolva

Para realizar el cálculo de esfuerzo en la tolva se utilizará nuevamente el Programa Computacional SAP2000. En este caso las paredes de la tolva serán modeladas mediante el elemento denominado SHELL. Los esfuerzos internos de cada elemento SHELL son:

- S1 : Esfuerzo normal en el plano 1
- S2 : Esfuerzo normal en el plano 2
- S12 : Esfuerzo cortante en el plano 1-2
- S13 : Esfuerzo cortante en el plano 1-3
- S23 : Esfuerzo cortante en el plano 2-3

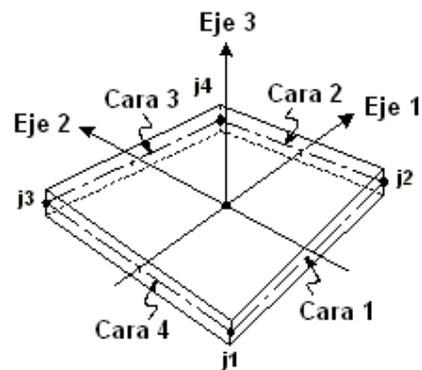


Figura 3.31: Elemento SHELL.

Debido a la simetría de la tolva se modelará únicamente la cuarta parte de esta. Los nodos que se encuentran en los cortes de simetría tendrán restricción de desplazamiento en la dirección perpendicular al plano de simetría, restricción de rotación alrededor del eje perpendicular a la superficie de la tolva y alrededor del eje vertical.

Los nodos donde irá apoyada la columna tendrán restricciones de rotación y desplazamiento en todas las direcciones (empotramiento).

Para que soportar la sobre-presión en la transición de la parte vertical a la inclinada se coloca un anillo rigidizador, este también sirve para apoyar las columnas. Para transmitir mejor la carga a las columnas y para aumentar la rigidez del anillo se coloca otro anillo en la parte vertical de la tolva (24). Para evitar deflexiones elevadas de las paredes de la tolva se colocan rigidizadores transversales formando anillos. Estos rigidizadores pueden ser platinas o ángulos.

Luego de realizar las iteraciones necesarias se selecciona un espesor de 6 mm para la parte vertical para que, para la tolva se selecciona un espesor de 15 mm y para los rigidizadores un espesor de 10 mm. Los anillos rigidizadores en las paredes de la tolva serán ángulos. El anillos de la parte vertical y los dos primeros de la tolva serán de fabricados de ángulo L100x6 mm y los dos anillos restantes de la tolva serán fabricados de ángulos L100x8 mm. Para más detalle ver PLANO PC-TR-01.

Los valores seleccionados son para evitar la fluencia y las deformaciones excesivas. Los esfuerzos que se desarrollan en la tolva se pueden apreciar en la figura 3.32, aquí se presentan los esfuerzo de Von Mises calculados por el programa en forma gráfica, la escala está en Pa.

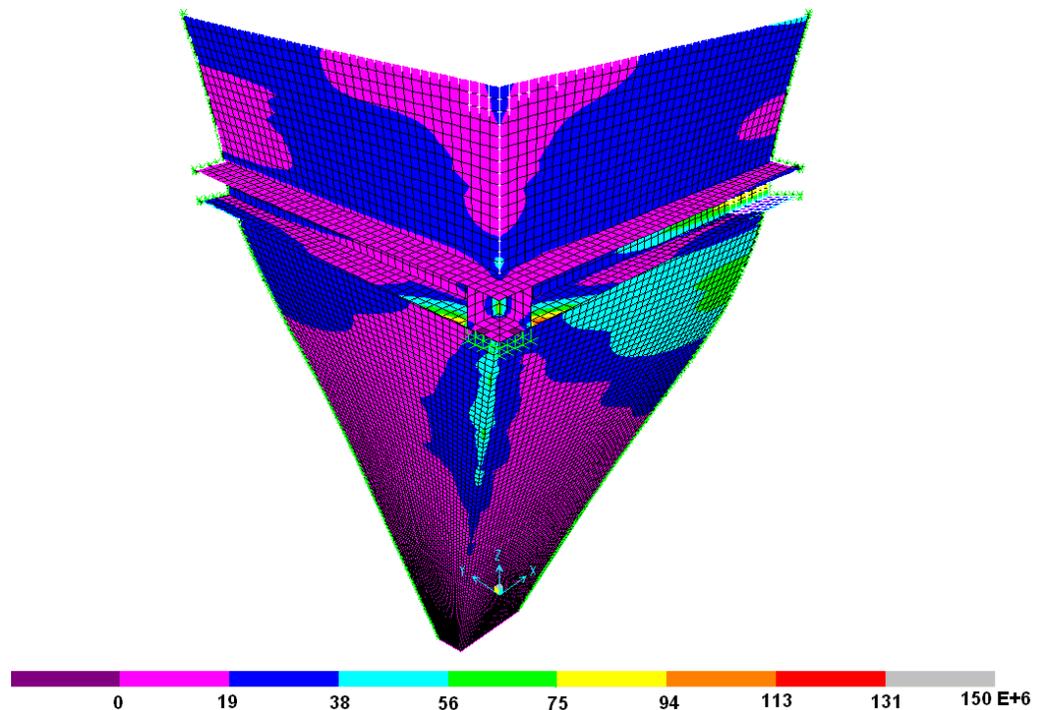


Figura 3.32: Esfuerzos en Tolva de Recepción.

Diseño de la Válvula de Pines.

El diseño de forma es como se muestra en la figura 3.33, en la abertura de descarga se colocarán vigas UPN200. Las vigas longitudinales serán perforadas para poder colocar los pines.

Los pines estarán espaciados 50 mm para evita el flujo del carbón. El material a utilizar para las vigas será acero ASTM A36 y para los pines acero AISI 4140.

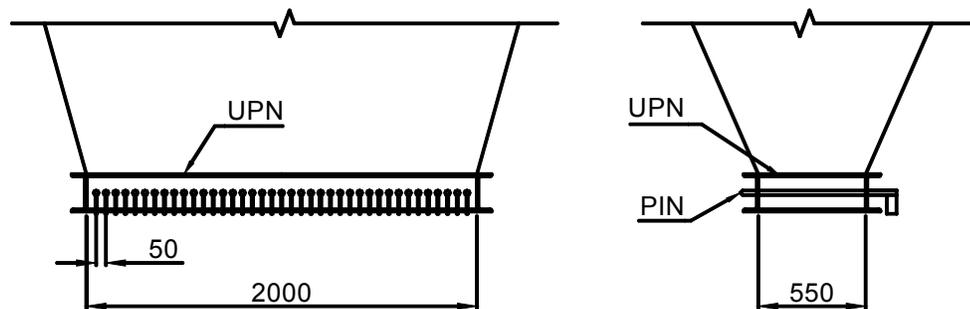


Figura 3.33: Diseño de Forma Válvula de Pines.

Para obtener la carga de diseño se calculará la fuerza total producida por la presión en la descarga de la tolva y se la distribuirá uniformemente sobre los pines. La mayor presión en la descarga se obtiene en el estado activo de esfuerzos (figura 3.28). La Presión de impacto cambia debido a que el ángulo de impacto cambia, $\theta = 90^\circ$. De esta manera se obtiene que $p_i = 70700$ Pa. Comparando las cargas que soporta cada pin, el valor crítico se obtiene cuando se considera el caso de la presión en estado activo (figura 3.24)

El pin se modelará como una viga simplemente apoyada. La carga será uniformemente distribuida y se calcula como sigue:

$$W = p_f * L / N$$

Donde,

W = Carga uniformemente distribuida.

p_f = Presión en a la salida de la tolva.

d = Longitud de válvula de pines (2 m).

N = Número de pines.

Asumiendo un pin de 20 mm de diámetro se obtiene una carga distribuida $W = 2250 \text{ N/m}$. El diagrama de cuerpo libre del pin se muestra en la figura 3.34.

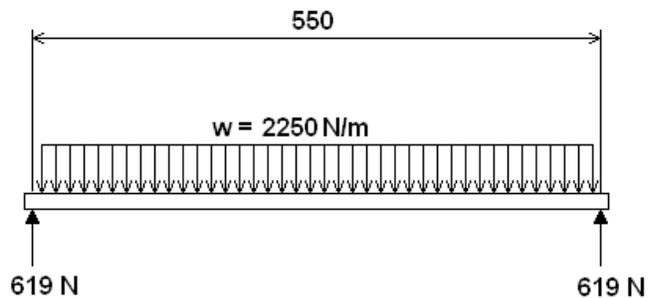


Figura 3.34: Diagrama de Cuerpo Libre del Pin

Haciendo uso del Programa Computacional SAP2000 y utilizando el método de diseño LRFD del AISC y después de realizar las iteraciones necesarias se obtuvo que el diámetro asumido es el correcto, $d = 20\text{mm}$.

En las vigas sobre las cuales están apoyadas los pines se verifica que no halla falla por fluencia, desgarre o aplastamiento.

La carga total que soportada por cada viga es (se desprecia el peso de los pines):

$$P_T = 40 \cdot 619$$

$$P_T = 24760 \text{ N.}$$

Debido a que es una carga viva la carga factorada P_u será:

$$P_u = 1.6 \cdot P_T$$

$$P_u = 39700 \text{ N.}$$

La resistencia a la fluencia ϕP_n , de acuerdo al AISC, es:

$$\phi P_n = \phi \cdot A_g \cdot S_Y$$

Donde,

$$\phi = 0.9.$$

A_g = Área de sección transversal.

S_Y = Esfuerzo de fluencia (240 MPa).

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 2520 \times 10^3 \text{ N}$$

Por tanto la viga no falla por fluencia.

La resistencia al desgarre ϕP_n , de acuerdo al AISC, es:

$$\phi P_n = \phi \cdot A_N \cdot S_{UT}$$

Donde,

$$\phi = 0.75.$$

A_N = Área neta de sección transversal.

S_{UT} = Resistencia máxima a la tensión (380 MPa).

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 1995 \times 10^3 \text{ N}$$

Por tanto la viga no falla por desgarre.

Finalmente para el aplastamiento la resistencia ϕP_n viene dada por:

$$\phi P_n = \phi * A_b * S_Y$$

Donde,

$$\phi = 0.75.$$

A_b = Área proyectada.

S_Y = Esfuerzo de fluencia.

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 1400 \times 10^3 \text{ N}$$

Es decir la viga no falla por aplastamiento.

Estructura de soporte de la tolva.

El diseño de forma se muestra en la figura 3.35. Se colocan tirantes para aumentar la rigidez de la estructura. La sección transversal de las columnas será tipo cajón cuadrangular.

El anillo superior en el que se apoya la tolva será fabricado de vigas UPN y los tirantes serán ángulos.

Las cargas de diseño serán:

Carga Muerta: Peso de las paredes de la tolva y cubierta.

Carga Viva: Peso del carbón contenido en la tolva.

Carga Sísmica: Carga lateral igual al 25% del peso total.

El valor del peso de la tolva será tomado de los resultados obtenidos en el modelo realizado en SAP2000 y el peso de la cubierta es de 1200 kg.

La capacidad completamente llena es de 50 TM, debido a la simetría la carga se reparte uniformemente a las cuatro columnas. El análisis estructural se realizará utilizando nuevamente el SAP2000.

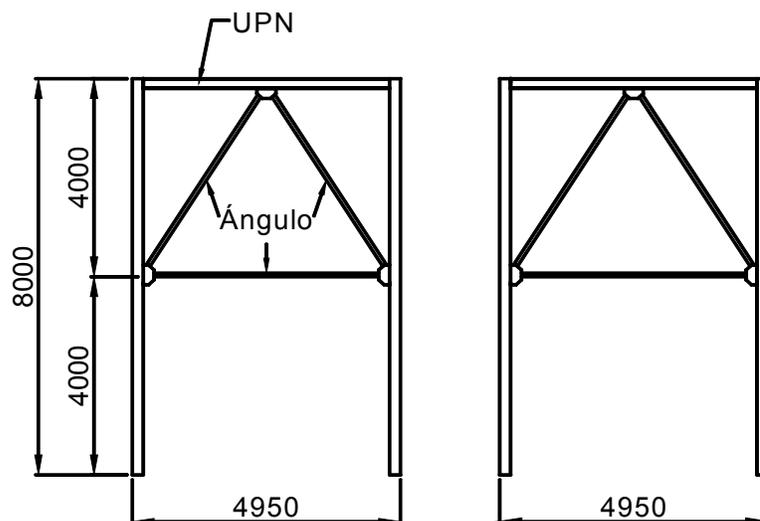


Figura 3.35: Diseño de Forma Estructura de Soporte de Tolva de Decepción

Luego del análisis correspondiente se obtiene que las columnas tendrán la serán cajones cuadrados de 200 mm de ancho con un espesor de 10 mm, los tirantes serán L75x6mm y el anillo superior será formado por UPN120. Para más detalles ver el PLANO PC-TR-02.

Cubierta.

Para evitar que el polvo producido por la descarga de los camiones contamine el ambiente se coloca una cubierta. Esta tendrá una estructura metálica que soportará el techo y paredes hechos de Cubierta Metálica (Steel Panel) con espesor de 0.45 mm.

El techo de la cubierta será a “una agua” y tendrá una inclinación de 20°. El detalle se puede observar en el PLANO PC-TR-04.

3.2.3. Bandas Transportadoras.

Como ya se especificó anteriormente habrá tres bandas transportadoras en esta parte del Sistema. Los cálculos se realizarán con la ayuda del Programa Computacional Heber-Diseño de Bandas Transportadoras, desarrollado por el Ing. Heber Hinojosa como Tesis de Grado (4). Este programa realiza los cálculos de capacidad, potencia y tensiones, además de realizar la selección de los componentes necesarios (motor, rodillos, banda, tambores) de acuerdo a lo recomendado por CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association).

Banda BT1.

La primera banda a diseñar es utilizada como dispositivo de ayuda de flujo para la tolva de recepción. La longitud de la misma será de 6 m, será una banda horizontal y tendrá tensor de husillo (ver figura 3.36) ya que este se utiliza para longitudes menores de 50 m (4).

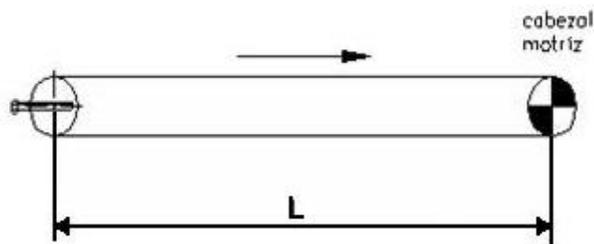


Figura 3.36: Diseño de Forma Banda BT1

Los primeros datos que hay que ingresar en el programa son las propiedades del material, capacidad, ancho de banda, configuración de rodillos superiores, la geometría y la longitud de la banda. Las propiedades del material ya fueron especificadas al inicio del capítulo.

Para seleccionar la capacidad de la banda hay que tomar en cuenta la capacidad de los camiones, la cantidad de camiones de la flota disponible y el tiempo que tarda el camión en transportar el carbón desde el puerto de llegada al lugar de almacenamiento. Ya que estos datos no están disponibles, una buena aproximación es que los camiones entregan 150 TM/h, por lo que las bandas tendrán esta capacidad.

Generalmente se recomienda que las bandas transportadoras operen siempre al 100% de su capacidad o a un valor muy cercano, pero para el caso del transporte de carbón mineral la capacidad de la banda debe ser de menor para evitar derrames de material y disminuir de esta manera la contaminación producida. Se utilizarán rodillos planos ya que la banda es de poca longitud y no hay suficiente espacio para la transición de rodillos en terna (los cuales se usan generalmente). Luego de ingresar los datos se obtiene que el ancho de banda es 1400 mm necesario para que esta trabaje en el rango de capacidad deseado, con esto la banda trabajará a un 61% de su capacidad.

El siguiente paso en el programa es el cálculo de las fuerzas y potencias necesarias para la operación de la banda. La fuerza total requerida tiene las siguientes componentes:

1. Fuerza necesaria para mover la banda vacía y componentes que giran.
2. Fuerza necesaria para desplazar la carga horizontalmente.
3. Fuerza necesaria para elevar o bajar la carga.

Para el cálculo de la fuerza necesaria para mover la banda en vacío se debe seleccionar el factor de fricción (que agrupa la fricción entre la cinta y los rodillos y tambores), el factor de fricción por longitud (en el cual se consideran la fricción de los cojinetes de los rodillos y tambores y la fricción debido a los rascadores) y el peso de las partes móviles.

Todos estos valores están recomendados por el CEMA y dependen del tipo de operación y el ancho de la banda seleccionada.

Finalmente se debe seleccionar el tipo de tambor que utilizará, la configuración del tambor motriz y la máxima flecha permisible; con esto el programa calcula las tensiones y selecciona el espaciamiento entre los rodillos tanto superiores como inferiores. Seleccionaremos un tambor revestido seco; ya que la longitud de la banda es pequeña no utilizaremos tambor adicional para el cabezal motriz y la flecha permisible será del 1% (se recomienda de 0.5 a 2%).

Luego de haber terminado estos cálculos se procede a seleccionar los diferentes componentes del transportador. En primer lugar se seleccionará el motor, la potencia de este debe ser 0.8 kW, es decir, 1.3 Hp. Ya que no hay motores eléctricos estándares de 1.3 Hp, se selecciona uno de 1.5 Hp, la velocidad de rotación será 900 RPM. Con esto, de acuerdo a los estándares de NEMA, el frame del motor seleccionado es 184T.

El siguiente paso es la selección de tipo de banda o cinta a utilizar. La cinta consta de dos elementos fundamentales: la Carcasa y la Cobertura. La carcasa es el esqueleto o alma de la banda y es quien resiste las tensiones. Los materiales más comunes para la carcasa son: algodón (B), Poliéster (E), Poliamida (P), Algodón-Nylon, Poliéster-Poliamida (EP).

De estos el más utilizado es el último por su alta resistencia en proporción al peso, alta resistencia al impacto, elongación despreciable, gran flexibilidad y además no son susceptibles a la humedad ni a micro-organismos.

La cubierta protege a la carcasa de la banda de la abrasión y cualquier otra condición local que contribuya al deterioro de la banda. También es la encargada de proveer la fricción necesaria entre la banda y el tambor motriz, así como entre la banda y el material. La cobertura del lado de la polea motriz es generalmente más delgada que la del lado del material debido a la diferencia de resistencia al desgaste que se requiere, sin embargo, algunas veces se tiene el mismo espesor de cubierta en ambos lados de la banda. La resistencia mínima necesaria de la cinta es de 11 N/mm (valor calculado por el programa), con esto seleccionamos una banda con una resistencia de 16 N/mm. Luego del cálculo se obtiene una banda de ligera resistencia a la abrasión EP160. El peso total de la cinta es aproximadamente 118 Kg. Además también se calcula el diámetro del rollo de la cinta el cual es aproximadamente 390 mm.

Para la selección de los rodillos hay que ingresar las condiciones de mantenimiento y medio ambiente ya que esto afecta a la vida de los rodillos. Luego de esto el programa selecciona los tipos de rodillos (CEMA B, C, D o E) tanto para los superiores como los inferiores, se selecciona el diámetro requerido, se calcula la vida de los rodillos y se especifica los rodamientos a utilizar.

Una vez ingresados los datos se obtuvo que los rodillos necesarios para la parte superior e inferior son Rodillos serie CEMA B - sellados.- Sello multi-laberinto con rodamientos de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga: 9500 N.

En la selección de los tambores de la banda en primer lugar se ingresa el ancho, el programa recomienda el valor mínimo, que en el caso que se está analizando es de 1475 mm. Con esto se selecciona un ancho estándar de 1800 mm. El siguiente paso es seleccionar la distancia entre apoyos, la cual es recomendada de acuerdo al ancho de la polea y el tipo de la misma (motriz, de cola, de contrapeso, de contacto o desviadoras). Luego se ingresa el material que se utilizará para el árbol de transmisión y la vida requerida del rodamiento. Con esto el programa calcula el diámetro tanto de las poleas como el del árbol de transmisión y además la capacidad dinámica de carga requerida para los rodamientos.

Una vez ingresados los datos se tuvo que el diámetro de las poleas, tanto motriz como conducidas, es de 200 mm, el diámetro del árbol es de 75 mm y la capacidad de carga de los rodamientos es de 175.3 kN tanto para el árbol del tambor motriz como el de cola.

Con la capacidad de carga y el diámetro del árbol de transmisión seleccionamos el rodamiento del manual de NTN.

Se obtiene que el rodamiento que se necesita es NU315, que un rodamiento de rodillos con un diámetro interno de 75 mm y una capacidad de carga de 199 kN.

Finalmente el acople entre el motor y el tambor motriz se realizará utilizando bandas para transmisión además de un reductor de velocidad. La velocidad de rotación del tambor motriz se calcula como sigue:

$$\omega_2 = \frac{V}{r}$$

Donde,

ω_2 : Velocidad de rotación del tambor motriz.

V: Velocidad lineal de la banda.

r: Radio del tambor motriz.

Con esto se obtiene que:

$$\omega_2 = 24 \text{ RPM.}$$

La relación entre la velocidad del motor y la velocidad del tambor motriz es:

$$n = 37.5$$

El motor estará acoplado al reductor de velocidad mediante las bandas de transmisión, se elige una reducción de 2. Lo primero que se calcula para la selección de bandas y poleas es la potencia corregida, esto se hace multiplicando la potencia nominal por el factor de servicio, el cual es de 1.3 para el caso analizado (31) con lo que se tiene:

$$\text{Pot}_{\text{CORREGIDA}} = \text{Pot}_{\text{NOMINAL}} * fs$$

$$\text{Pot}_{\text{CORREGIDA}} = 1.95 \text{ Hp.}$$

Con esta potencia y con la velocidad del eje rápido (900 RPM, velocidad del motor) se tiene que el tipo de banda necesario es del tipo 3V o 3VX (Ver Apéndice E), además diámetro mínimo de la polea motriz es de 76 mm (3”), por lo que el diámetro de la polea conducida será 152 mm (6”).

Se selecciona una distancia entre centros de 1026 mm (40.4”) de las tablas dadas por el fabricante, las bandas seleccionadas son 3VX por 950. Para calcular la cantidad de bandas necesario se calcula los Hp por bandas corregido, que depende del tipo de banda y de la longitud de la misma; en el caso analizado este valor es de 1.75 Hp. La cantidad de bandas es:

$$N = \frac{1.95 \text{ Hp}}{1.75 \frac{\text{Hp}}{\text{Banda}}} = 1.1$$

$$N = 2 \text{ Bandas}$$

Las poleas motriz y conducida que se necesitan son: 23V300JA y 23V600SH respectivamente.

La reducción que necesita el reductor es 18.75, se utilizará un reductor tipo tornillo; con estos datos, utilizando el catálogo electrónico de la marca FALK se obtiene un reductor **1300WB** con una reducción nominal de 20.

La tabla 14 muestra las especificaciones de la banda diseñada.

TABLA 14
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

BANDA TRANSPORTADORA BT1

Geometría:	Banda horizontal con tensor manual
Longitud:	6 m
Ancho de Banda:	1400 mm
Velocidad:	0.5 m/s
Capacidad Nominal:	150 TM/h
Capacidad Máxima:	246 TM/h
Porcentaje de Llenado	61 %
CINTA	
Tipo:	EP250, ligera resistencia a la abrasión.
Peso Aproximado:	118 kg
Número de lonas de la Carcasa:	2
Espesor Aproximado:	5.9 mm
Diámetro de Rollo:	410 mm.
RODILLOS SUPERIORES	
Geometría:	Plano
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	1200 mm.
Cantidad:	7
Vida Útil:	437400 h
RODILLOS INFERIORES	
Geometría:	Plano
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	2000 mm.
Cantidad:	3
Vida Útil:	729000 h

TABLA 14 (Continuación)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BANDA TRANSPORTADORA BT1

TAMBOR MOTRIZ	
Ancho:	1800 mm
Diámetro:	200 mm
Árbol de Transmisión:	φ75 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1980 mm
Rodamientos:	NTN NU315
TAMBOR CONDUCIDO	
Ancho:	1800 mm
Diámetro:	200 mm
Árbol de Transmisión:	φ75 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1980 mm
Rodamientos:	NTN NU315
MOTOR ELÉCTRICO	
Tipo:	Abierto
Potencia:	1.5 Hp
Velocidad Nominal:	900 RPM
Frame:	184 T.
REDUCTOR DE VELOCIDAD	
Modelo:	1300WB
Reducción:	1:20
BANDAS Y POLEAS	
Banda:	3VX por 950"
Cantidad:	2
Polea motriz:	2 3V300JA
Polea conducida:	2 3V600SH
Distancia entre centros:	1026 mm
Reducción:	2
TENSIONES CALCULADAS	
Tensión lado apretado:	16300 N
Tensión lado flojo (cabezal de cola):	16000 N
Tensión de tensor manual:	32500 N

Banda BT2

Para el diseño de la banda transportadora BT2 se procede de manera similar a la descrita anteriormente.

La longitud horizontal de esta banda será de 250 m, por esto se debe utilizar tensor de contrapeso. Además en los últimos 50 m la banda se debe elevar 2 m para realizar la descarga a BT3. Los cálculos adicionales que se realizan, debido a la geometría de la banda son la tensión del contrapeso y el radio de curvatura de la transición.

El radio de curvatura mínimo que debe tener la banda para evitar el levantamiento de la cinta, deformación de los extremos de la banda y tensión excesiva es de 210.68 m y su proyección horizontal es de 7.33 m.

La tensión necesaria en el contrapeso es de 18000 N.

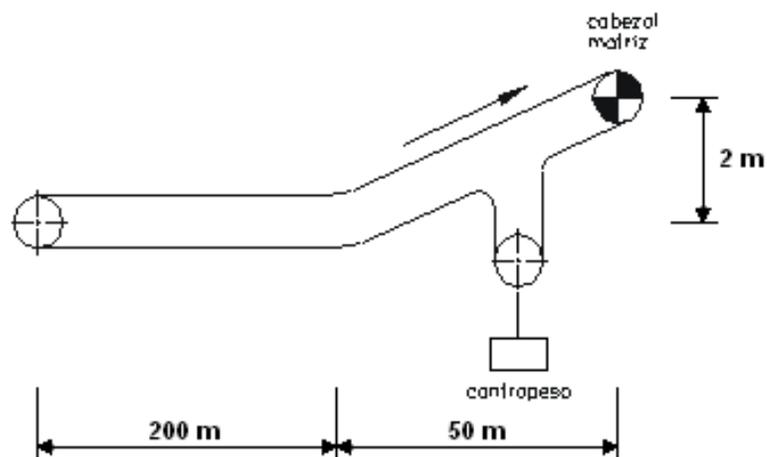


Figura 3.37: Diseño de Forma Banda BT2

Además de los tambores motriz y de cola, hay que seleccionar dos tambores desviadores, un tambor para el contrapeso y un tambor de contacto para el tambor motriz, como se muestra en la figura 3.38.

El resto de cálculos son como los descritos en el diseño de la banda BT1. La tabla 15 muestra las especificaciones de la banda BT2.

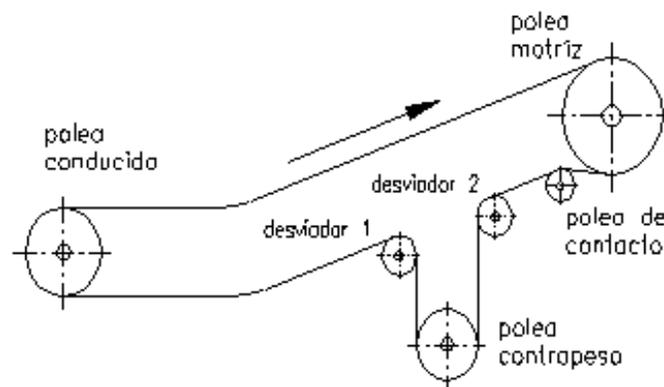


Figura 3.38: Poleas en Banda BT2

TABLA 15

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

BANDA TRANSPORTADORA BT2

Geometría:	Banda con un tramo horizontal y otro inclinado con tensor de gravedad
Longitud tramo horizontal:	200 m
Longitud de Proyección horizontal, tramo inclinado:	50 m
Elevación:	2 m
Ancho de Banda:	650 mm
Velocidad:	1.5 m/s
Capacidad Nominal:	150 TM/h
Capacidad Máxima:	240 TM/h
Porcentaje de Llenado	49 %

TABLA 15 (Continuación)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BANDA TRANSPORTADORA BT2

CINTA	
Tipo:	EP250, ligera resistencia a la abrasión.
Peso Aproximado:	2300 kg
Número de lonas de la Carcasa:	2
Espesor Aproximado:	6.3 mm
Diámetro de Rollo:	1980 mm.
RODILLOS SUPERIORES	
Geometría:	Terna a 35°
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	1400 mm.
Cantidad:	179
Vida Útil:	116600 h
RODILLOS INFERIORES	
Geometría:	Terna a 35°
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	3000 mm.
Cantidad:	84
Vida Útil:	116600 h
TAMBOR MOTRIZ	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	400 mm
Árbol de Transmisión:	φ113 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1200 mm
Rodamientos:	NTN NU222

TABLA 15 (Continuación)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BANDA TRANSPORTADORA BT2

TAMBOR CONDUCIDO	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	400 mm
Árbol de Transmisión:	φ113 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1200 mm
Rodamientos:	NTN NU222
TAMBOR DE CONTACTO	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	350 mm
Árbol de Transmisión:	φ57 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1000 mm
Rodamientos:	NTN NU1011
TAMBOR DESVIADOR 1	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	350 mm
Árbol de Transmisión:	φ 62 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1000 mm
Rodamientos:	NTN NU212E
TAMBOR DESVIADOR 2	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	400 mm
Árbol de Transmisión:	φ 62 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1000 mm
Rodamientos:	NTN NU212E
TAMBOR CONTRAPESO	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	200 mm
Árbol de Transmisión:	φ113 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1200 mm
Rodamientos:	NTN NU222

TABLA 15 (Continuación)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
BANDA TRANSPORTADORA BT2	
MOTOR ELÉCTRICO	
Tipo:	Abierto
Potencia:	15 Hp
Velocidad Nominal:	900 RPM
Frame:	286T.
REDUCTOR DE VELOCIDAD	
Modelo:	11000WB
Reducción:	1:30
BANDAS Y POLEAS	
Banda:	5V por 1120
Cantidad:	4
Polea motriz:	4 5V550SD
Polea conducida:	4 5V1090E
Distancia entre centros:	1092 mm
Reducción:	2
TENSIONES CALCULADAS	
Tensión del lado apretado:	14000 N
Tensión del lado flojo (cabezal motriz):	9000 N
Tensión del lado flojo (cabezal de cola):	9500 N
Tensión de sección inclinada:	12500 N
Tensión del Contrapeso:	18000 N
Radio de curvatura mínimo:	301.19 m
Proyección horizontal de la curva:	10.5 m

Tanto esta banda como la banda BT3 tendrán una cubierta metálica.

Banda BT3

Ya que el método de diseño es el mismo utilizado para la banda anterior se obviarán los detalles, solo hay que considerar que esta banda tiene un carro de descarga. Las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 16. Para el contrapeso no se utilizarán tambores, ya que este irá conectado al tambor motriz. El tambor motriz estará sobre una base deslizante y el contrapeso estará dentro de una torre para que pueda desplazarse sin problemas.

TABLA 16

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

BANDA TRANSPORTADORA BT3

Geometría:	Banda con un tramo horizontal y otro inclinado con tensor de gravedad
Longitud tramo horizontal:	402 m
Longitud tramo inclinado:	30 m
Elevación:	6.6 m
Cantidad de Carros de Descarga:	1
Ancho de Banda:	650 mm
Velocidad:	1.5 m/s
Capacidad Nominal:	150 TM/h
Capacidad Máxima:	240 TM/h
Porcentaje de Llenado	49 %
CINTA	
Tipo:	EP250, ligera resistencia a la abrasión.
Peso Aproximado:	3500 kg
Número de lonas de la Carcasa:	2
Espesor Aproximado:	6.3 mm
Diámetro de Rollo:	2430 mm.

TABLA 16 (Continuación)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
BANDA TRANSPORTADORA BT3

RODILLOS SUPERIORES	
Geometría:	Terna a 35°
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	1400 mm.
Cantidad:	273
Vida Útil:	116600 h
RODILLOS INFERIORES	
Geometría:	Terna a 35°
Tipo:	CEMA B-sellados-sello multi-laberinto con rodamiento de bolas 6203-2RS, SKF o similar con capacidad dinámica de carga de 9500 N.
Diámetro:	102 mm.
Separación:	3000 mm.
Cantidad:	128
Vida Útil:	116600 h
TAMBOR MOTRIZ	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	400 mm
Árbol de Transmisión:	φ113 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1200 mm
Rodamientos:	NTN NU222
TAMBOR CONDUCIDO	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	200 mm
Árbol de Transmisión:	φ113 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1200 mm
Rodamientos:	NTN NU222

TABLA 16 (Continuación)
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

BANDA TRANSPORTADORA BT3

TAMBOR DE CONTACTO	
Ancho:	800 mm
Diámetro:	250 mm
Árbol de Transmisión:	φ62 mm, material AISI 4140
Distancia entre apoyos:	1000 mm
Rodamientos:	NTN NU1011
MOTOR ELÉCTRICO	
Tipo:	Abierto
Potencia:	25 Hp
Velocidad Nominal:	900 RPM
Frame:	326T.
REDUCTOR DE VELOCIDAD	
Modelo:	11000WB
Reducción:	1:30
BANDAS Y POLEAS	
Banda:	5V por 1120
Cantidad:	3
Polea motriz:	3 5V550SD
Polea conducida:	3 5V1090E
Distancia entre centros:	1092 mm
Reducción:	2
TENSIONES CALCULADAS	
Tensión del lado apretado:	13700 N
Tensión del lado flojo (cabezal motriz):	6400 N
Tensión del lado flojo (cabezal de cola):	7400 N
Tensión del Contrapeso:	12700 N

Transportador de Derrame.

Para evitar que el carbón que queda adherido a la banda caiga al piso en el retorno se la cinta se coloca un transportador de derrame en el último tramo de la banda. Este se utilizará para las bandas BT2 y BT3. La longitud de cada transportador será de 6 m y la capacidad requerida es de 5% de la capacidad de la banda, es decir, 7.5 TM/h.

El transportador es de tipo Rastra de fondo plano, del catálogo de Martín se selecciona el transportador de la serie 900F (Ver Apéndice B).

La capacidad necesaria es de 331 CFM (pies cúbicos por hora) y la capacidad del transportador seleccionado es de 4000 CFM, la cual es la menor existente. La potencia necesaria es de 1.4 Hp, por lo que se selecciona un motor de 1.5 Hp.

3.2.4. Sistema de Desempolvado.

Para disminuir el impacto ambiental que produce el manejo del carbón se utilizarán sistemas de desempolvados en los siguientes puntos: La descarga del carbón desde el camión a la Tolva de Recepción y en la descarga desde la banda BT2 a la banda BT3 ya que aquí se produce la mayor cantidad de polvo.

Tolva de Recepción

Para evitar que el polvo producido en la descarga de los camiones contamine el ambiente se colocará una cubierta metálica, como ya se

dijo anteriormente. Además de esto se colocarán cortinas dentro de la cubierta, con la inclinación suficiente para permitir la descarga del camión (ver figura 3.39).

Este sistema de desempolvado ha reemplazado a los filtros de mangas en algunas minas de Estados Unidos, incluso en el estado de Wyoming ha sido declarado como la “Mejor Tecnología de Limpieza Disponible”, BACT por sus siglas en inglés (17).

El funcionamiento del sistema es sencillo, las partículas de polvo desplazadas por el carbón descargado son detenidas por las cortinas y el techo de la cubierta, luego estas caen por gravedad. Para la Tolva de Recepción se utilizarán tres cortinas con una inclinación de 30°, para más detalle ver PLANO PC-TR-04.

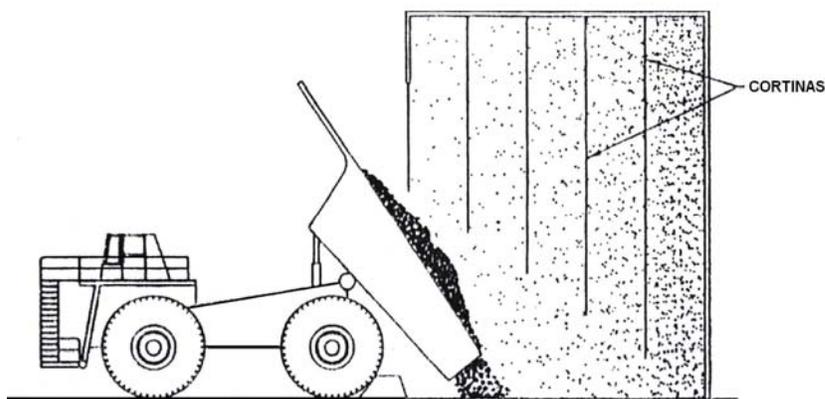


Figura 3.39: Desempolvado de Tolva de Recepción

Descarga desde Banda BT2 a Banda BT3.

En este caso se utilizará un filtro de mangas para colectar el polvo producido en este punto. Los filtros de mangas son sistemas para recolección en los que el polvo es retirado de la corriente de gas al pasar a través de un tejido.

Un esquema de este se muestra en la figura 3.40

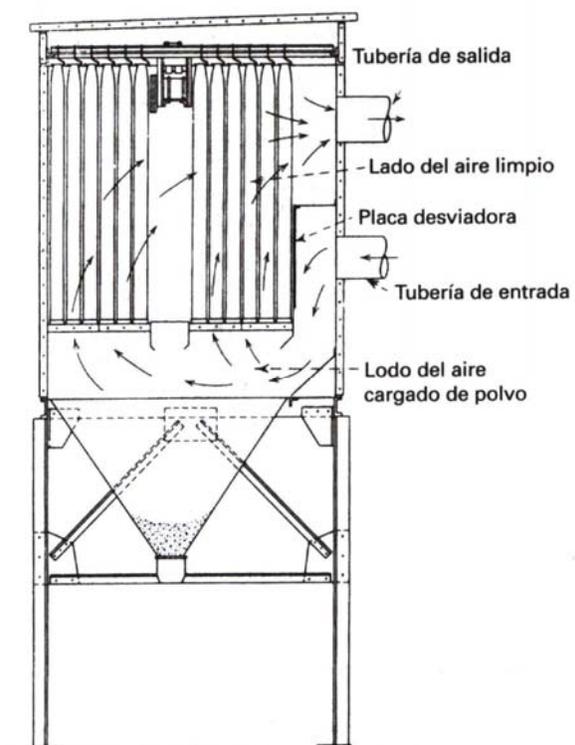


Figura 3.40: Filtro de Mangas

La ubicación del colector de polvo en la zona de transferencia de material desde la banda BT2 a la banda BT3 se muestra en la figura 3.41

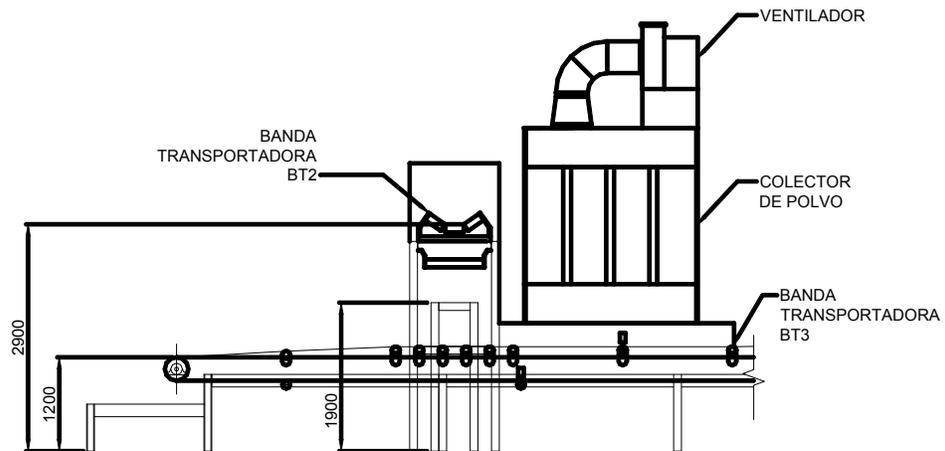


Figura 3.41: Ubicación de Colector de Polvo.

Para transportadores de banda con anchos de 600 a 800 mm el flujo necesario es 2400 m³/h (29).

El filtro de manga se utilizará de tipo rectangular para poder ajustar la geometría al ancho de la banda. Para evitar la fuga de polvo el filtro será de presión negativa, es decir, el ventilador irá en la salida del aire limpio.

El área de tela necesaria se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_t = \frac{Q}{f_s}$$

Donde,

A_t : Área de la tela.

f_s : Relación aire/tela.

Q: Flujo requerido.

Para el caso del polvo de carbón la relación aire/tela sugerida es de 100 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$, con lo que se obtiene un área de tela de:

$$A_t = 24 \text{ m}^2$$

Con estos datos el colector seleccionado tiene las siguientes características:

Área de tela: 25 m^2 .

Cantidad de Mangas: 35.

Longitud de Mangas: 1500 mm.

Las dimensionas se muestran en el PLANO PC-CP-01

El paso final del diseño del Filtro de Mangas es la selección del ventilador. Para esto se necesita la caída de presión del sistema y el flujo necesario. El tipo de ventilador a utilizar será centrífugo ya que es el más adecuado para esta aplicación (alto caudal y poca caída de presión).

La caída de presión del sistema tiene dos componentes: la caída de presión debido a fricción en accesorios y la caída de presión debido a la tela (la cual es la más importante).

La caída de presión en las mangas es de alrededor de 1000 Pa (4 pulgadas de agua) (1) y la caída de presión debido a accesorios se considerará de 300 Pa. Con esto se obtiene una caída de presión total de:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

$$\Delta p = 1300 \text{ Pa.}$$

La selección del ventilador se lo realizará utilizando el catálogo electrónico de Loren Cook.

Con un flujo de 2400 m³/h (1412 CFM) y una caída de presión de 1300 Pa (5.23 Pulgadas de agua) se obtiene que el ventilador centrífugo que cumple con estas características es el 120 CPS. Las especificaciones de este ventilador se muestran en el Apéndice A. La curva de operación de este ventilador se muestra en la figura 3.43.

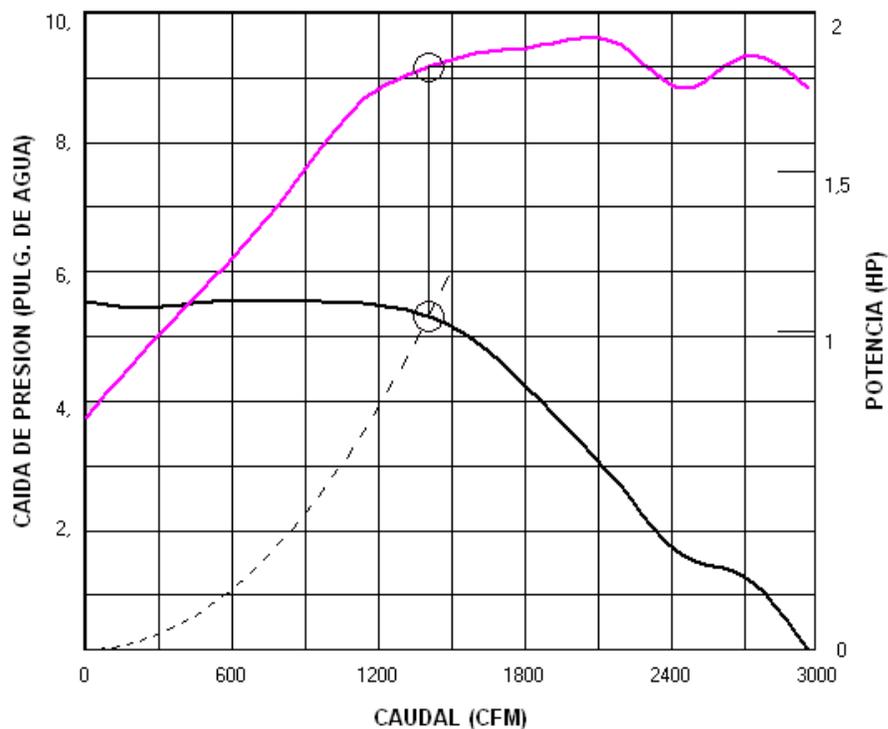


Figura 3.42: Curva de Operación del Ventilador

CAPÍTULO 4

4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.

4.1. Descripción.

El sistema de almacenamiento consta de los siguientes componentes:

- Apilador y Carro de Descarga.
- Nave de Almacenamiento.

En la figura 4.1 se muestra esta parte del proyecto. La banda BT3 (Descrita en el capítulo anterior) tiene un Carro de Descarga (TC), el cual deposita el carbón sobre el apilador (AP) para finalmente colocarlo en su lugar de almacenamiento.

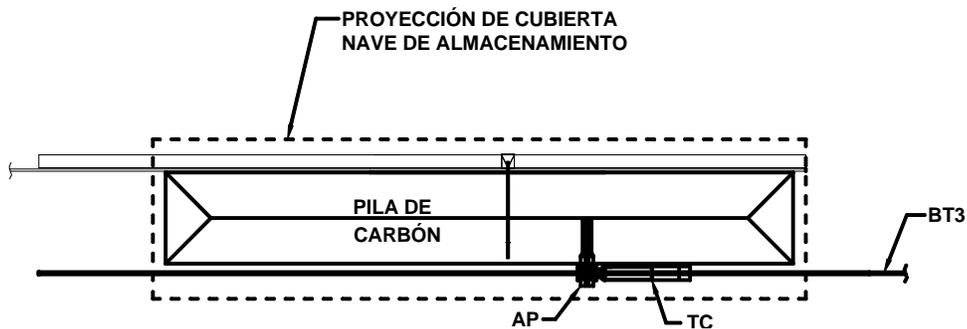


Figura 4.1: Esquema del Sistema de Almacenamiento para Carbón.

4.2. Diseño y Selección de Equipos.

Para poder realizar la selección de los equipos y el diseño de la Nave para Almacenamiento hay que definir la capacidad que tendrá el Sistema. Se estima una compra mensual desde el exterior, debido a que el proceso consume 30 TM/h se necesita 21,600 TM por mes. Por lo expuesto la capacidad de la Nave será 30,000 TM. Adicionalmente se conoce que la capacidad promedio de los buques de carbón es de 30,000 TM, por lo cual la capacidad seleccionada de la Nave es la adecuada.

La altura permitida de la pila para el carbón bituminoso es de 10 m, como ya se dijo en el capítulo 2, y el ángulo de reposo es de 35°, con esto se tiene que el ancho de la pila es:

$$b = \frac{2h}{\tan 35}$$

$$b = 28.6 \text{ m}$$

Donde,

b : Ancho de la Pila

h : Altura de la Pila

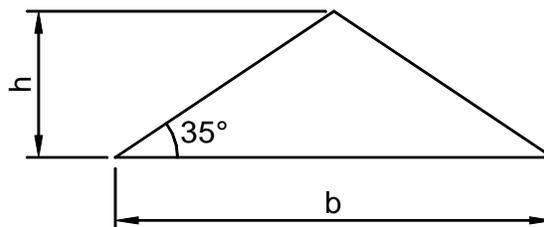


Figura 4.2: Sección Transversal de la Pila

Con la masa total de la pila se calcula el volumen de la misma:

$$\forall_p = \frac{M}{\rho}$$

$$\forall_p = 37500 \text{ m}^3$$

Donde,

\forall_p : Volumen de la pila

M : Masa total de la pila.

ρ : Densidad aparente (800 Kg/m^3).

Para calcular la longitud de la pila se considerará que la parte central tiene sección transversal triangular y que los extremos son cónicos (ver figura 4.3).

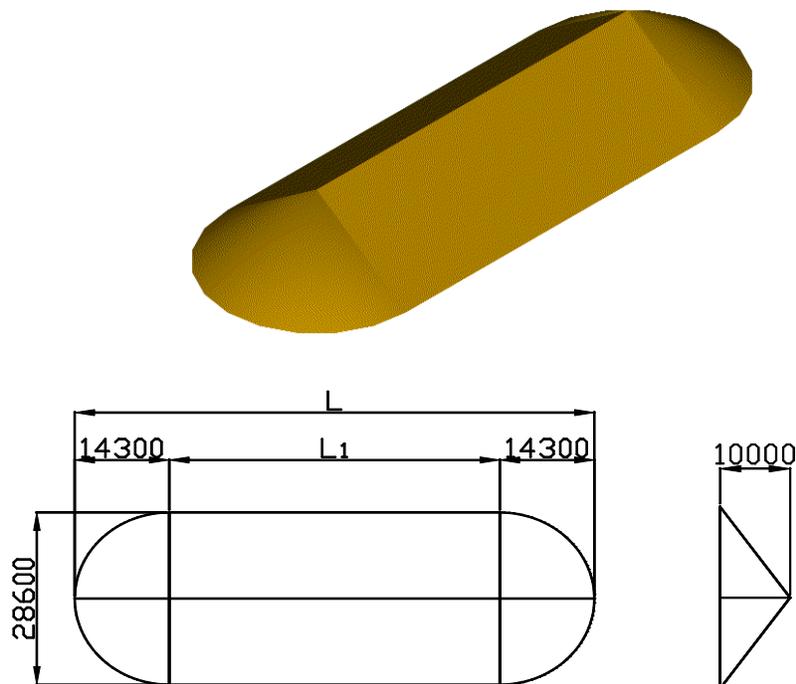


Figura 4.3: Pila de Carbón

El volumen de la parte cónica (\forall_1) es:

$$\forall_1 = \frac{\pi}{3} * h * \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

$$\forall_1 = 2140 \text{ m}^3$$

Para tener una capacidad de 37500 m^3 el volumen de la parte central debe ser 35360 m^3 , con esto se puede calcular la longitud L_1 (ver figura 4.3):

$$\forall_2 = L_1 * A$$

$$L_1 = \frac{\forall_2}{A}$$

$$L_1 = 247 \text{ m}$$

Donde,

\forall_2 : Volumen de la parte central de la pila.

L_1 : Longitud de la parte central de la pila.

A: Área de la sección transversal.

Con esto las dimensiones de la pila de carbón serán:

$$h = 10 \text{ m.}$$

$$b = 28.6 \text{ m.}$$

$$L = 276 \text{ m.}$$

4.2.1. Apilador.

Para realizar la selección del apilador hay que definir los requerimientos que este debe cumplir. A continuación se muestran los datos necesarios para que el fabricante pueda suministrar el equipo adecuado.

Material:	Carbón Bituminoso.
Tamaño máximo de terrón:	50 mm
Altura de la pila:	10 m.
Ancho de la pila:	28.6 m.
Capacidad:	150 Tn/h.

Con los datos arriba listados se tiene que el apilador de la marca FAM que cumple estos requisitos es el ST200.19. Las especificaciones de este se muestran a continuación:

Capacidad Máxima:	200 Tn/h (Carbón).
Ancho de banda:	800 mm.
Longitud del "boom":	19 m.
Peso Aproximado:	54000 kg.

Las dimensiones principales del apilador seleccionado se muestran en la figura 4.4.

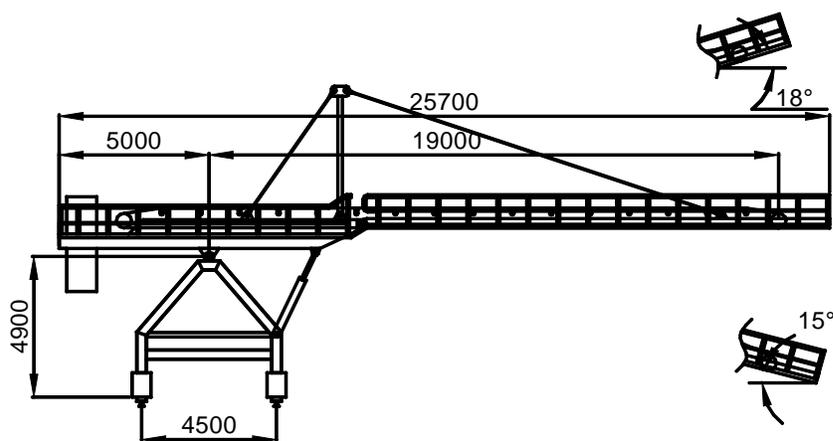


Figura 4.4: Apilador (Stacker).

Carro de Descarga.

Como ya se dijo anteriormente se necesita un Carro de Descarga para poder realizar la descarga en cualquier punto a lo largo de la pila.

El Carro de Descarga debe descargar el carbón a la banda del apilador que se encuentra a una altura de 6600 mm, considerando que debe haber el espacio suficiente para el chute de descarga (aproximadamente 2 m), el Carro de Descarga debe descargar a una altura de 8600 mm. La capacidad debe ser de 150 Tn/h. El ancho del riel debe ser la misma que la del apilador (4500 mm). Las dimensiones de este equipo, suministrado por el mismo fabricante, se muestran en la figura 4.5.

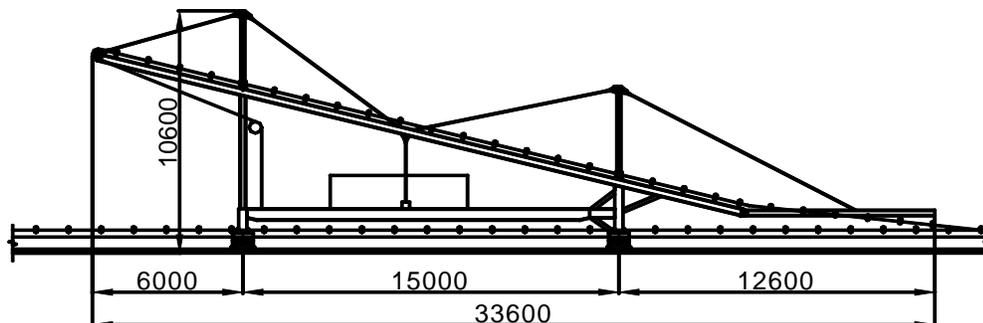


Figura 4.5: Carro de Descarga (Tripper Car).

La longitud de los rieles sobre los cuales se desplazan tanto el apilador como el Carro de Descarga debe ser tal que cubra toda la nave (280 m), además debe tener la longitud suficiente fuera de la nave para el Carro de Descarga cuando el apilador se encuentra al inicio de la pila (ver figura 4.6).

También se extenderán las rieles 50 m al final de la nave para tener una capacidad extra de almacenamiento de 6000 Tn. Con lo que se obtiene una longitud total de 365 m.

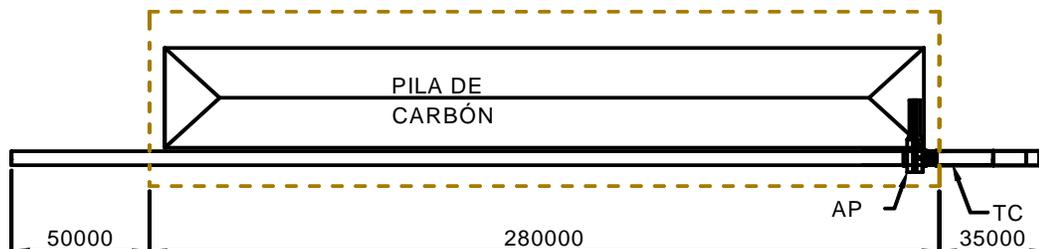


Figura 4.6: Longitud de rieles de Apilador y Carro de Descarga.

4.2.2. Nave Para Almacenamiento

Diseño de Forma.

El primer paso para el diseño es definir las dimensiones generales. Considerando que la longitud de la pila es de 276 m la longitud de la Nave será de 282 m. Para el ancho hay que considerar la pila de carbón y el espacio necesario tanto para el apilador como para el extractor y la banda transportadora que alimenta al proceso; el ancho necesario para el apilador es de 7.6 m, y para el extractor es de 8 m. Considerando que debe haber el espacio necesario para el tránsito de personas se selecciona un ancho de 50 m para la nave. Finalmente la altura de la Nave en la parte central será de 20 m para que no haya problemas con el movimiento de los equipos.

La estructura principal será construida de cerchas metálicas ya que para claros largos esta es la opción más económica. Estas cerchas tendrán un espaciamiento de 6 m entre si, además serán cubiertas con plancha metálica para evitar acumulaciones de polvo. Las cuerdas superior e inferior serán perfiles tipo "C" y las diagonales y verticales serán ángulos.

Las estructuras utilizadas para techo pueden ser de lomo plano o de lomo en punta. En el pasado, las armaduras de lomo plano se usaron más en edificios de claros cortos, en tanto que las armaduras de lomo en punta se utilizaron para claros mayores. La tendencia actual es usar en ambos casos las armaduras de lomo plano, la razón de esto es de carácter estético y económico.

Otra opción para las estructuras de techo son los arcos circulares o parabólicos. Un arco toma las cargas verticales y las convierte en empujes laterales que van alo largo del arco y colocan a los elementos del arco en estado de compresión. Los arcos pueden construirse con tres, dos o una articulación, o bien sin articulaciones. Los arcos de acero de dos articulaciones por lo general resultan muy económicos para estructuras de hasta 270 m de longitud; existen algunos con longitudes excepcionalmente grandes de poco más de 490 m (27).

Debido al gran claro que debe cubrir la cercha esta será en forma de arco circular con dos articulaciones (para evitar la transmisión de momento).

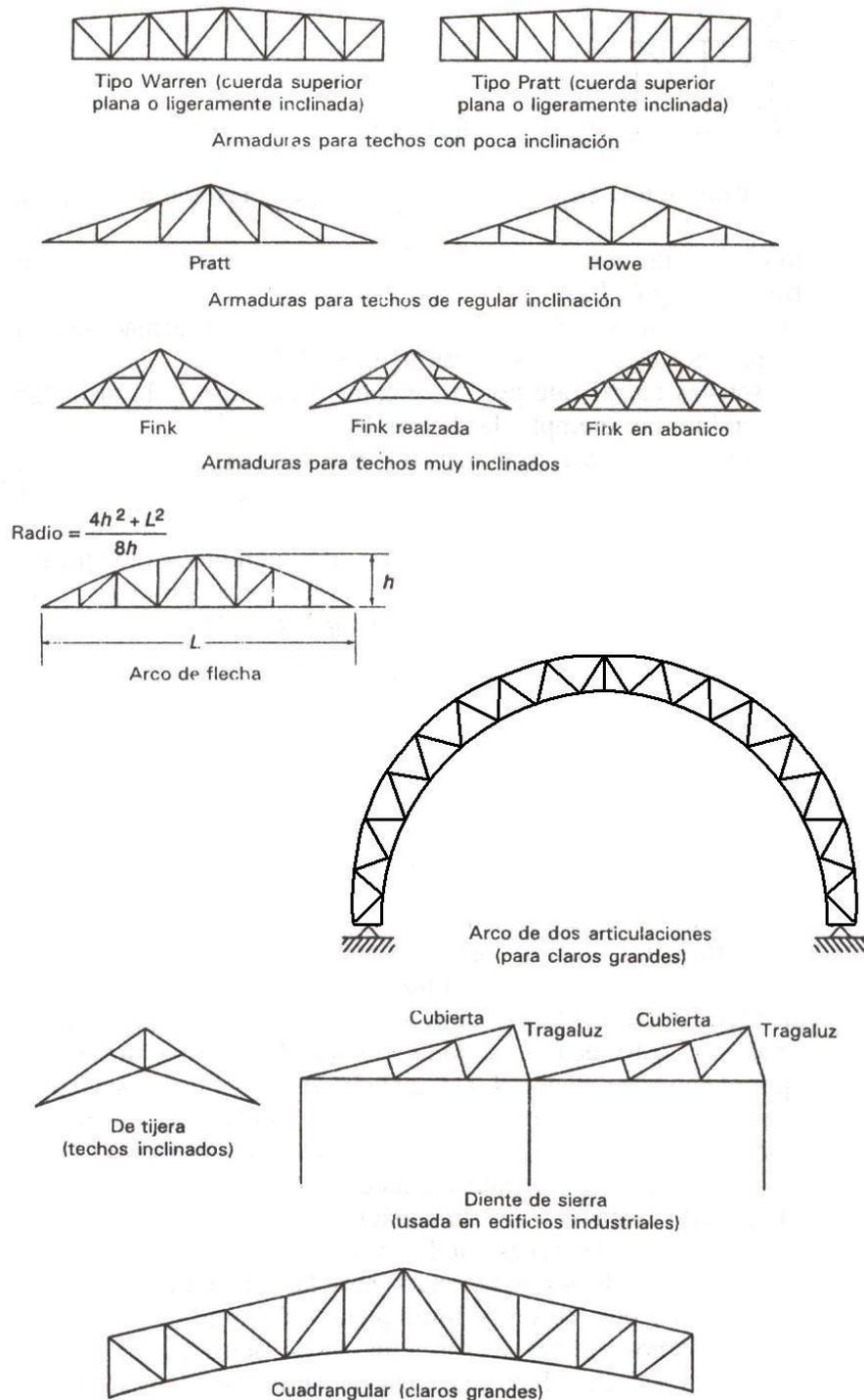


Figura 4.7: Tipos de Estructuras para Cubiertas.

Para sostener la cubierta se utilizarán correas tipo cajón y las cerchas principales serán unidas mediante cerchas secundarias. La figura 4.8 muestra el esquema general de lo descrito. Todo el material utilizado en la estructura metálica será acero ASTM A36.

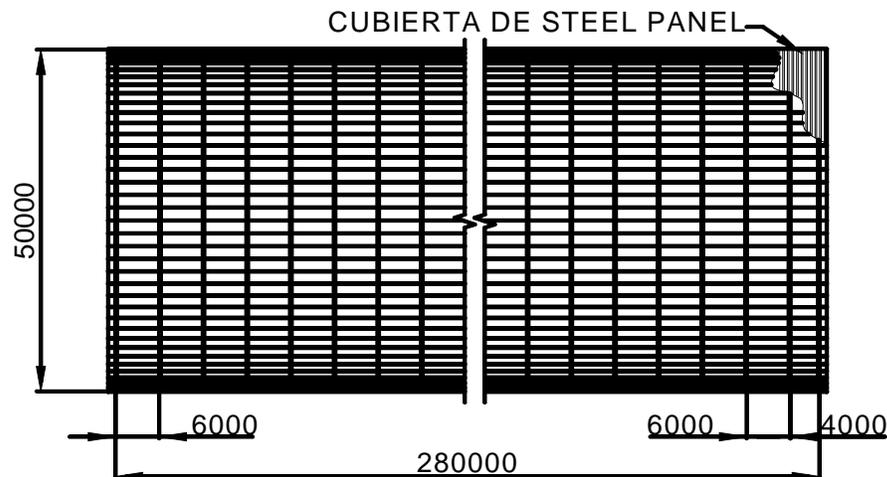


Figura 4.8: Medidas Principales Nave para Almacenamiento.

Cargas de Diseño

Las cargas que se considerarán para realizar el diseño de la estructura principal de la Nave serán:

Carga Muerta: Peso propio de la estructura.

Carga Viva: Causadas generalmente por actividades de mantenimiento.

Carga de Viento: Debido a la presión ejercida por el viento.

Carga Sísmica: Carga lateral igual al 25% del peso.

El peso aproximado este tipo de estructuras es de 196 N/m^2 (20 kg/m^2). Por tanto la Carga Sísmica será 50 N/m^2 .

La carga viva básica mínima por unidad de área proyectada de techo que se usa en diseño es de 960 N/m^2 , como se indica en la Sección 4.9 de la ASCE 7-95 (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) (27), pero ella puede reducirse dependiendo del tamaño del área tributaria y de la pendiente del techo. El valor real que habrá de usarse se determina con la expresión:

$$CV = 960 * R_1 * R_2 \geq 575$$

Donde,

CV: Carga viva (N/m^2)

R_1 : Factor de Reducción debido al área tributaria A_t .

R_2 : Factor de Reducción debido a la pendiente del techo.

El Área Tributaria (A_t) se define como el área cargada de una estructura particular que contribuye en forma directa a la carga aplicada en un miembro en particular de la estructura (27). Para el caso de la nave que se está analizando el área tributaria de las cerchas centrales, que son las que vamos analizar ya que son las más cargadas, se muestra en la figura 4.9.

El factor R_1 se obtiene de la siguiente relación:

$$R_1 = \begin{cases} 1 & A_t \leq 18.6 \text{ m}^2 \\ 1.2 - 0.0108A_t & 18.6 \text{ m}^2 < A_t < 55.8 \text{ m}^2 \\ 0.6 & A_t \geq 55.8 \text{ m}^2 \end{cases}$$

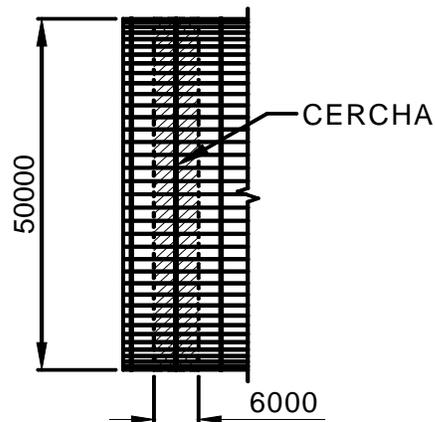


Figura 4.9: Área Tributaria de Cercha

Para calcular el factor R_2 se utiliza la siguiente expresión:

$$R_2 = \begin{cases} 1 & F \leq 0.33 \\ 1.2 - 0.6F & 0.33 < F < 1 \\ 0.6 & F \geq 1 \end{cases}$$

Donde "F" es la relación entre la elevación del techo y su longitud.

Ya que el área tributaria es 318 m^2 y $F = 0.26$, la carga viva es:

$$CV = 960 * 0.6 * 1$$

$$CV = 576 \text{ N/m}^2$$

La carga debido al viento se calcula con la siguiente expresión (27):

$$CW = q*(G*C_P) - q_h*(G*C_{PI})$$

Donde,

CW: Carga de viento estimada.

q: Presión de referencia por velocidad.

G: Factor de respuesta por ráfaga.

C_P : Factor de forma aerodinámica.

q_h : Presión de referencia por velocidad a la altura media del techo.

C_{pi} : Factor de forma aerodinámica interno.

La parte negativa de la ecuación anterior representa la presión interna y es diferente de cero solo en edificios cerrados, lo que no es el caso analizado.

Para el cálculo de la presión de referencia por velocidad se utiliza la siguiente ecuación (27):

$$q_z = 0.6211 * K_z * K_{zt} * V^2 * I$$

Donde,

q_z : Presión de referencia por velocidad a una altura "z" en N/m².

K_z : Coeficiente de exposición por presión de velocidad.

K_{zt} : Factor topográfico.

V: Velocidad del viento en m/s

I: Factor de importancia.

La tabla 17 muestra los valores de K_z para cuatro diferentes categorías de exposición. La categoría de exposición "A" corresponde al centro de una gran ciudad donde por lo menos 50% de los edificios tienen una altura que excede los 21m. La categoría de exposición "B" es para áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas y otras áreas con obstrucciones muy cercanas entre si que tienen el tamaño de habitaciones unifamiliares. La categoría de exposición "C" es para terreno abierto con obstrucciones escasas que tienen menos de 9 m de altura.

La categoría de exposición "D" se usa para áreas sin obstrucciones expuestas a vientos que fluyen sobre grandes masas de agua.

TABLA 17
COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

H metros	Categoría de exposición			
	A	B	C	D
0 – 4.6	0.32	0.57	0.85	1.03
6.1	0.36	0.62	0.9	1.08
7.6	0.39	0.66	0.94	1.12
9.2	0.42	0.70	0.98	1.16
12.2	0.47	0.76	1.04	1.22
15.2	0.52	0.81	1.09	1.27
18.3	0.55	0.85	1.13	1.31
21.3	0.59	0.89	1.17	1.34
24.4	0.62	0.93	1.21	1.38
27.4	0.65	0.96	1.24	1.40
30.5	0.68	0.99	1.26	1.43

Referencia: McCORMAC JACK C. Y NELSON JAMES K.,
Análisis de Estructuras Métodos Clásico y
Matricial, 2002

El factor de importancia "I" se muestra en la tabla 18. La Categoría I se usa para estructuras que representan poco peligro para las personas en caso de falla. Los edificios de la categoría III son los que representan un peligro considerable para las personas en caso de falla (estaciones generadoras de energía, escuelas, guardianías).

La categoría IV es para edificios diseñados para servicios esenciales (hospitales, estaciones de policía, centros de comunicación de emergencia, etc.).

Todos los demás edificios y estructuras se incluyen en la categoría II.

TABLA 18
FACTOR DE IMPORTANCIA

Categoría	Factor de Importancia "I"
I	0.87
II	1.00
III	1.15
IV	1.15

Referencia: Referencia: McCORMAC JACK C. Y NELSON JAMES K.,
Análisis de Estructuras Métodos Clásico y
Matricial, 2002

El factor topográfico se utiliza cuando los edificios están ubicados en la parte superior de colinas aisladas o en elevaciones repentinas de terreno, lo cual no es el caso para en el diseño que se está realizando.

Para la nave de almacenamiento se considerará una categoría de exposición "C" y una categoría de importancia II.

El factor de respuesta por ráfaga, G , es igual a 0.8 para las categorías de exposición A y B, y es igual a 0.85 para las categorías de exposición C y D.

Finalmente el factor de forma aerodinámico o coeficiente de presión se da en las tablas 19 y 20.

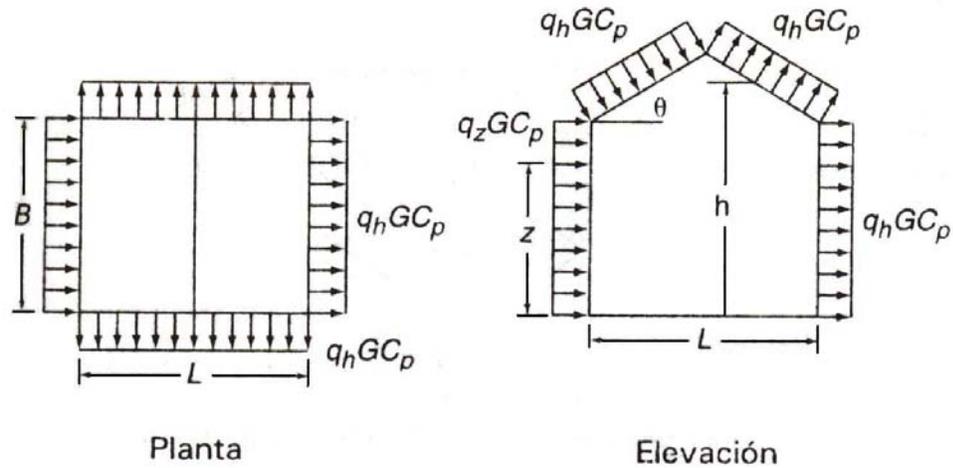


Figura 4.10: Cargas de Viento sobre Techo y Muros

TABLA 19

COEFICIENTES C_p DE PRESIÓN SOBRE MUROS

Superficie	L/B	C_p	Úsese con
Muro a barlovento	Todos los valores	0.8	q_z
Muro a sotavento	0 – 1	-0.5	q_h
	2	-0.3	
	≥ 4	-0.2	
Muros laterales	Todos los valores	-0.7	q_h

Referencia: Referencia: McCORMAC JACK C. Y NELSON JAMES K.,
Análisis de Estructuras Métodos Clásico y
Matricial, 2002

TABLA 20

COEFICIENTES C_p DE PRESIÓN EN TECHOS PARA USARSE CON q_h

Ángulo θ (en grados) a barlovento									Ángulo θ a sotavento		
h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥ 60 **	10	15	≥ 20
≤ 0.25	-0.7	-0.5 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.3	-0.2 0.3	0.0* 0.4			-0.3	-0.5	-0.6
0.5	-0.9	-0.7	-0.4 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.2	-0.2 0.3	0.0* 0.4		-0.5	-0.5	-0.6
≥ 1.0	-1.3	-1.0	-0.7	-0.5 0.0*	-0.3 0.2	-0.2 0.2	0.0* 0.3		-0.7	-0.6	-0.6

Los signos mas o menos significan presiones que actúan hacia desde las superficies.

* El valor es proporcionado para fines de interpolación.

** Para pendiente mayores de 80° use $C_p = 0.8$.

Referencia: Referencia: McCORMAC JACK C. Y NELSON JAMES K.,
Análisis de Estructuras Métodos Clásico y
Matricial, 2002

Para poder colocar las cargas debido al viento se considerará toda la estructura como techo (ya que toda la estructura tiene pendiente). Ya que el valor de la carga varía con la inclinación del techo el arco se modelará como polígono regular con 20 lados.

Con esto se obtienen las cargas debido al viento en cada uno de los lados del polígono que se muestran en la tabla 21.

TABLA 21	
CARGA DE VIENTO EN ESTRUCTURA DE NAVE	
Elemento	Carga (N/m²)
1	538
2	483
3	496
4	391
5	331
6	225
7	153
8	-738
9	-881
10	-889
11	-494
12	-490
13	-485
14	-572
15	-562
16	-552
17	-522
18	-496
19	-446
20	-431

El signo positivo o negativo indica que la presión actúa hacia o desde la superficie, respectivamente

Criterio de Diseño.

Igual que para las estructuras ya diseñadas, se utilizará el método de diseño por factores de carga y resistencia dado por el AISC. El análisis estructural se lo realizará con el programa computacional SAP 2000. Se utilizará el elemento FRAME (descrito en el capítulo 3) para modelar la estructura. Para simplificar el análisis se diseñará únicamente una de las estructuras centrales ya que esta tiene mayor área tributaria (figura 4.9) y por tanto la mayor carga. El modelo utilizado se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.11: Modelo de Arco

De la misma manera que en la sección anterior, se debe modelar la estructura como un polígono regular. En este caso se elige un polígono de 38 lados, debido a la distribución de las diagonales. La cercha seleccionada es tipo Warren, la altura de esta será de 1m y la inclinación de las diagonales será de aproximadamente 45°.

Las cargas dadas por unidad de área deben ser distribuidas en cada uno de los nodos con sus respectivas componentes. Hay que tener en cuenta que las cargas muerta, de sismo y viva se dan por unidad de área proyectada (área horizontal), pero la carga de viento se da por unidad de área de techo y actúa perpendicular a la superficie.

Para disminuir el peso de la estructura, luego de hacer el análisis respectivo con el programa SAP2000, se seleccionaron diferentes secciones tanto para las cuerdas como para las diagonales y verticales. Las cuerdas superior e inferior serán fabricadas con UPN200, C200x75x5 y C200x75x4, y las diagonales y verticales con 2L50x50x4, 2L50x50x3 y C200x75x5. Para mas detalle ver plano PC-NA-03.

Correas.

Las correas soportan la carga del viento, el peso del “cubierta metálica” (50 N/m^2), la carga viva y el peso propio de la correa. Estas se colocarán como cargas uniformemente distribuidas. Para el diseño se seleccionarán la mayor y menor carga producida debido al viento, es decir, 538 y -889 N/m^2 respectivamente. Las cargas mencionadas, por unidad de longitud, se muestran a continuación:

Peso “cubierta metálica” = 50 N/m .

Carga Viva = 576 N/m .

Carga de Viento = 538 N/m y -889 N/m .

Igual que para el resto de estructuras diseñadas en este proyecto se utilizará el programa computacional SAP2000 para el diseño de esta correa.

Luego del análisis respectivo se obtiene una correa tipo cajón 120x50x3.

Con los perfiles seleccionados se obtiene un peso de la estructura completa de 313 N/m^2 (32 kg/m^2); la diferencia con el valor seleccionado inicialmente es debido a que este solo incluye el peso debido a la estructura del techo y no las paredes. Realizando nuevamente el análisis con las nuevas cargas (tanto carga muerta como sísmica) se verifica que la estructura seleccionada soporta los esfuerzos generados.

Cerchas Secundarias.

Estás cerchas se utilizarán para unir las estructuras principales. Las cuerdas superior e inferior serán perfiles "C" y los amarres serán ángulos. Las cargas que soportan estas cerchas son el peso de la cubierta de Cubierta metálica, carga viva, la carga de viento y además la carga de sismo aplicada en el sentido longitudinal de modo que esta cercha está a compresión. Las cargas, por unidad de longitud, se muestran a continuación:

Carga muerta: 50 N/m.

Carga viva: 576 N/m.

Carga de viento: -889 N/m.

Carga de sismo: 4500 N.

Con estas cargas, utilizando nuevamente la ayuda del programa SAP2000, se obtiene que las cuerdas superior e inferior deben ser perfiles C200x75x3 y los amarres 2L50x50x3. para más detalle ver plano PC-NA-04.

Apoyo Pivotante

Para el diseño del apoyo hay que utilizar la mayor reacción obtenida debido a las diferentes combinaciones de carga. El valor de esta se obtiene con ayuda del programa SAP2000, y es:

$$R = 203 \times 10^3 \text{ N.}$$

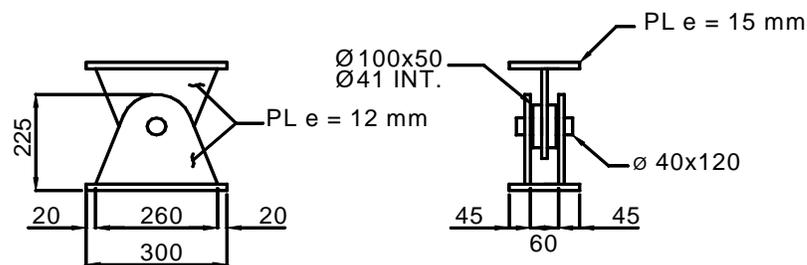


Figura 4.12: Apoyo Pivotante.

Luego de realizar el análisis respectivo se obtiene el apoyo mostrado en la figura 4.12.

El bocín que se coloca en la oreja soldada a la placa superior ayuda a distribuir mejor la carga y así evitar la falla por aplastamiento, además con esto se aumenta el área de corte, aumentando así la resistencia al cortante. A continuación se mostrará los valores de resistencia del apoyo pivotante y se comprobará que estos son mayores que los valores de las cargas.

Cortante en el pasador.

El material utilizado para el pasador es acero AISI 4140. Debido a que el pasador está a doble cortante el valor de la carga es:

$$V_u = 101.5 \times 10^3 \text{ N}$$

La resistencia viene dada por ϕV_n , con:

$$V_n = 0.6 \cdot S_Y \cdot A_V$$

Donde:

S_Y : Esfuerzo de fluencia (421 MPa).

A_V : Área de corte.

Además, $\phi = 0.9$

Con esto se obtiene que:

$$\phi V_n = 317 \times 10^3 \text{ N.}$$

Por tanto se cumple la condición que $V_u < \phi V_n$.

Desgarre en las orejas.

Para la fabricación de las orejas se utilizará acero ASTM A36. Se considerará únicamente la oreja que va soldada a la placa superior ya que esta soporta toda la reacción, para esta la carga de diseño es:

$$P_U = 203 \times 10^3 \text{ N.}$$

La resistencia al desgarre ϕP_n , de acuerdo al AISC, es:

$$\phi P_n = \phi \cdot A_N \cdot S_{UT}$$

Donde,

$$\phi = 0.75.$$

A_N = Área neta de sección transversal.

S_{UT} = Resistencia máxima a la tensión (380 MPa).

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 342 \times 10^3 \text{ N}$$

Por tanto no falla por desgarre.

Fluencia en las orejas.

Para este caso la resistencia viene dada por:

$$\phi P_n = \phi * A_g * S_Y$$

Donde,

$$\phi = 0.9.$$

A_g = Área de sección transversal.

S_Y = Esfuerzo de fluencia (240 MPa).

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 380 \times 10^3 \text{ N}$$

Por tanto no falla por fluencia.

Aplastamiento en las orejas.

La resistencia para el aplastamiento viene dada por:

$$\phi P_n = \phi * A_b * S_Y$$

Donde,

$$\phi = 0.75.$$

A_b = Área proyectada.

S_Y = Esfuerzo de fluencia (240 MPa)

Con esto se tiene:

$$\phi P_n = 530 \times 10^3 \text{ N}$$

Por tanto no falla por aplastamiento.

Cortante en las orejas.

El material utilizado para el pasador es acero AISI 4140. Debido a que el pasador está a doble cortante el valor de la carga es:

$$V_u = 203 \times 10^3 \text{ N}$$

La resistencia viene dada por ϕV_n , con:

$$V_n = 0.6 \cdot S_Y \cdot A_V$$

Donde:

S_Y : Esfuerzo de fluencia (240 MPa).

A_V : Área de corte.

Además, $\phi = 0.9$

Con esto se obtiene que:

$$\phi V_n = 382 \times 10^3 \text{ N.}$$

Por tanto se cumple la condición que $V_u < \phi V_n$.

Con esto se ha analizado todas las posibles formas de falla del apoyo pivotante.

Muro de Contención de la Pila de Carbón.

Para que el carbón no se derrame sobre las rieles del apilador ni sobre las rieles del extractor se deben construir muros de contención para la pila. Del lado del extractor el muro debe tener un borde que permite depositar el carbón sobre la tolva de alimentación. Para más detalle ver plano PC-NA-02.

CAPÍTULO 5

5. SISTEMA DE EXTRACCIÓN.

5.1. Descripción.

La última parte del proyecto es el sistema de extracción, este consta de los siguientes componentes:

- Extractor.
- Tolva de alimentación.

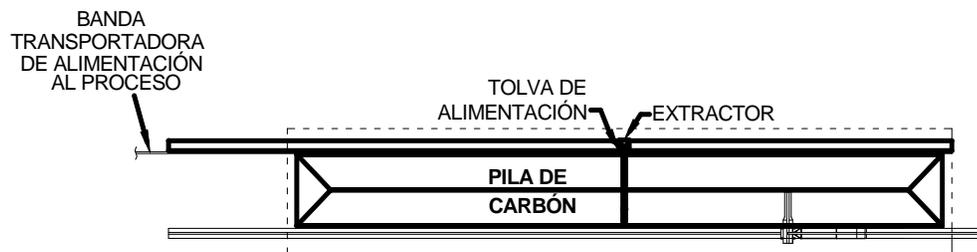


Figura 5.1: Sistema de Extracción para Pila de Carbón.

El esquema del sistema de extracción se muestra en la figura 5.1, el extractor (EX) recoge el carbón que se encuentra almacenado y lo descarga en la tolva de alimentación (TA).

La tolva de alimentación finalmente deposita el carbón sobre la banda transportadora que lleva el carbón al proceso (la cual no es parte de este proyecto).

5.2 Diseño y Selección de Equipos.

5.2.1. Extractor.

Como ya se especificó en el capítulo 2 el extractor será de tipo lateral y la capacidad de este será de 100 Tn/h. A continuación se muestran los datos necesarios para que el fabricante pueda suministrar el equipo adecuado.

Material:	Carbón Bituminoso.
Tamaño máximo de terrón:	50 mm
Altura de la pila:	10 m.
Ancho de la pila:	28.6 m.
Capacidad:	100 Tn/h.

Con los datos arriba listados se tiene que el extractor de la marca FAM que cumple estos requisitos es el KS120.5 .Las especificaciones de este se muestran a continuación:

Capacidad Máxima:	100 Tn/h (Carbón).
Longitud del "boom":	28.3 m.

Las dimensiones principales se muestran en la figura 5.2.

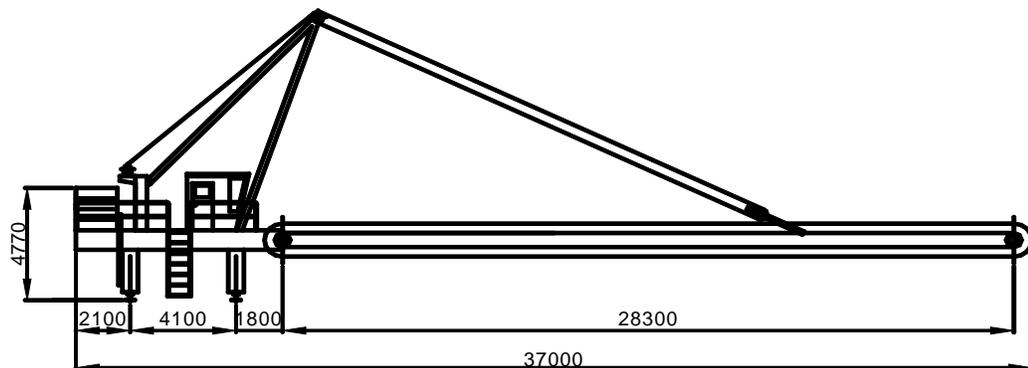


Figura 5.2: Extractor.

5.2.2. Tolva de Alimentación.

Esta tolva se utilizará únicamente para alimentar a la banda que llevará el carbón al proceso, por esto no se requiere que tenga una capacidad elevada. La capacidad de esta dependerá únicamente de la geometría del extractor y del ángulo necesario para que la tolva sea de flujo de masa, según lo explicado en el capítulo 3.

Diseño de Forma

La distancia que existe entre la descarga del extractor y la banda de alimentación es de 1240 mm (ver figura 5.3), por lo que la altura total de la tolva será de 1000 mm. Será de forma rectangular por lo que el ángulo de inclinación necesario para que la tolva sea de flujo de masa es 26° (ver figura 3.18) pero se tomará un ángulo de 23° para tener un margen de seguridad.

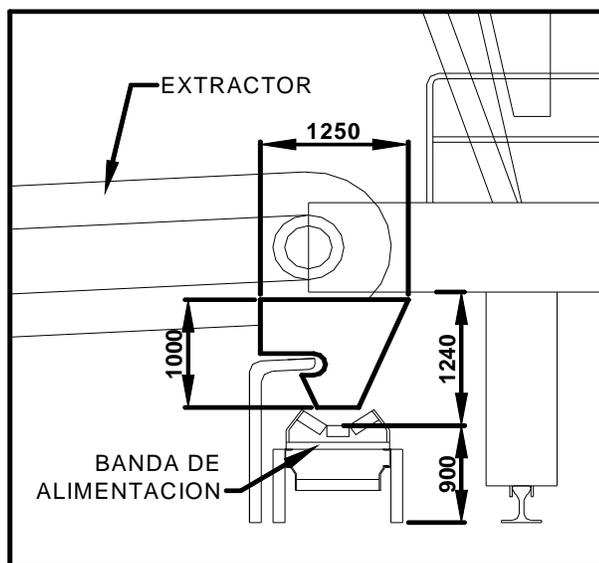


Figura 5.3: Espacio Disponible para Tolva de Alimentación.

La longitud depende del ancho de los cangilones del extractor, en el plano PC-EX-01 se puede observar que este valor es 457 mm (18"), por lo que se seleccionará una longitud de 600 mm para la tolva. El ancho de la tolva será de 1250 mm. El ancho de la descarga depende de la banda de alimentación, esta es de 610 mm (24") con rodillos es terna a 35°, por lo que se selecciona un ancho de 350 mm. La geometría de la tolva se muestra en la figura 5.4.

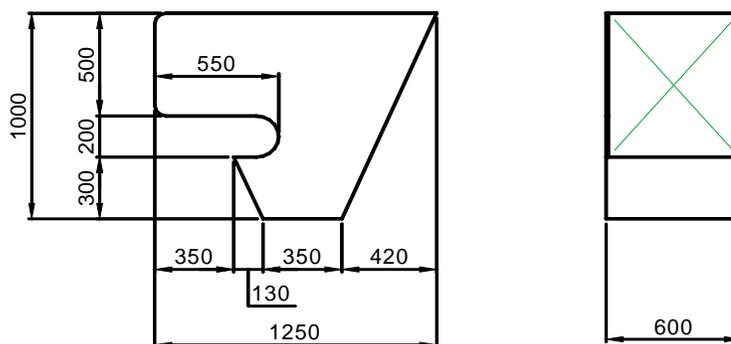


Figura 5.4: Medidas Principales de Tolva de Alimentación.

El material utilizado será acero ASTM A36.

Consideraciones de Diseño.

El procedimiento para diseñar esta tolva será el mismo utilizado para la tolva de recepción (capítulo 3), por lo que no se describirá en detalle las fórmulas utilizadas, sino que se presentarán los resultados obtenidos.

Cálculos de Presiones y Esfuerzos.

Ecuaciones deducidas por Jenike.

Como ya se explico en el capítulo 3, hay dos estados de esfuerzos que se presentan en una tolva, el estado de esfuerzos activos (durante el llenado) y el pasivo (luego de la descarga).

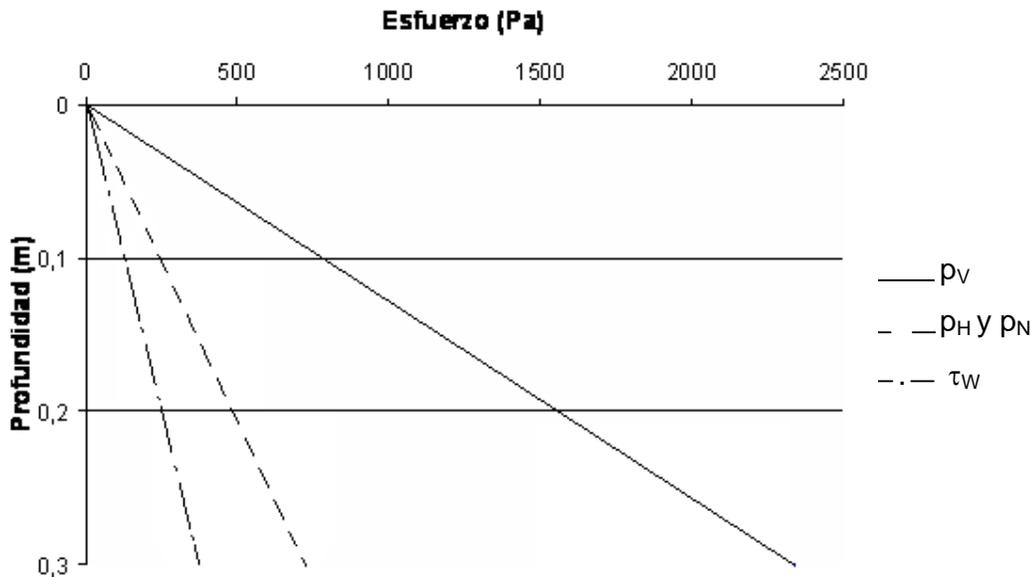


Figura 5.5: Presiones en Estado Activo de Esfuerzos en Tolva de Alimentación.

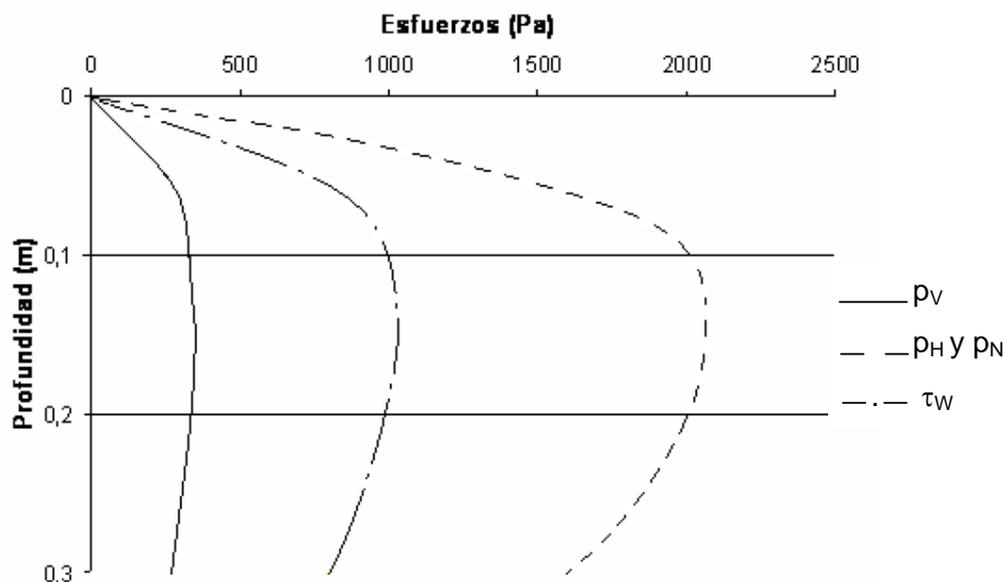


Figura 5.6: Presiones en Estado Pasivo de Esfuerzos en Tolva de Alimentación.

La parte de la tolva de alimentación en la que se almacena el carbón es la inferior (los últimos 300 mm, ver figura 5.4), por tanto aquí se desarrollan los esfuerzos producidos por el material almacenado. Las presiones y esfuerzos obtenidos utilizando las ecuaciones de Jenike para cada uno de los estados de esfuerzos se muestran en las figuras 5.5 y 5.6. En estas figuras p_V es la presión vertical sobre el material almacenado, p_N es la presión normal sobre las paredes de la tolva y τ_W es el esfuerzo cortante debido a la fricción del material con las paredes de la tolva.

Comparando los gráficos se puede observar que de los dos estados de esfuerzos existentes en el pasivo es el que se desarrollan las mayores presiones normales (p_N) sobre las paredes de la tolva.

Norma DIN 1055 – parte 6.

De igual forma que en el capítulo 3 se calcularán los esfuerzos de acuerdo a las recomendaciones dadas por la Norma DIN 1055-parte 6. Los esfuerzos obtenidos se muestran en la figura 5.7.

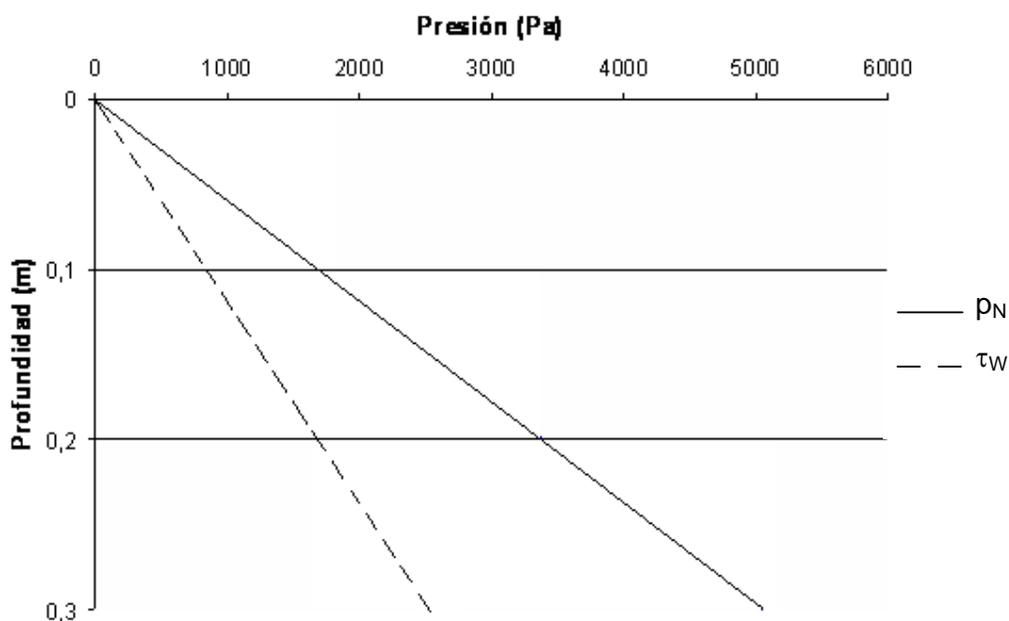


Figura 5.7: Presiones según Norma DIN 1055.

En la figura anterior p_N es la presión normal sobre las paredes de la tolva y τ_w es el esfuerzo cortante debido a la fricción. En el caso analizado las presiones calculadas utilizando la Norma DIN son mayores que las calculadas utilizando las ecuaciones deducidas por Jenike.

Presión de Impacto

La presión de impacto se calcula con la siguiente fórmula:

$$p_i = 2 * \rho * g * h * \text{sen}^2\theta$$

Considerando que el flujo de carbón cae verticalmente sobre las paredes de la tolva, por lo que el ángulo de impacto es 23° , con esto se obtiene el gráfico mostrado en la figura 5.8.

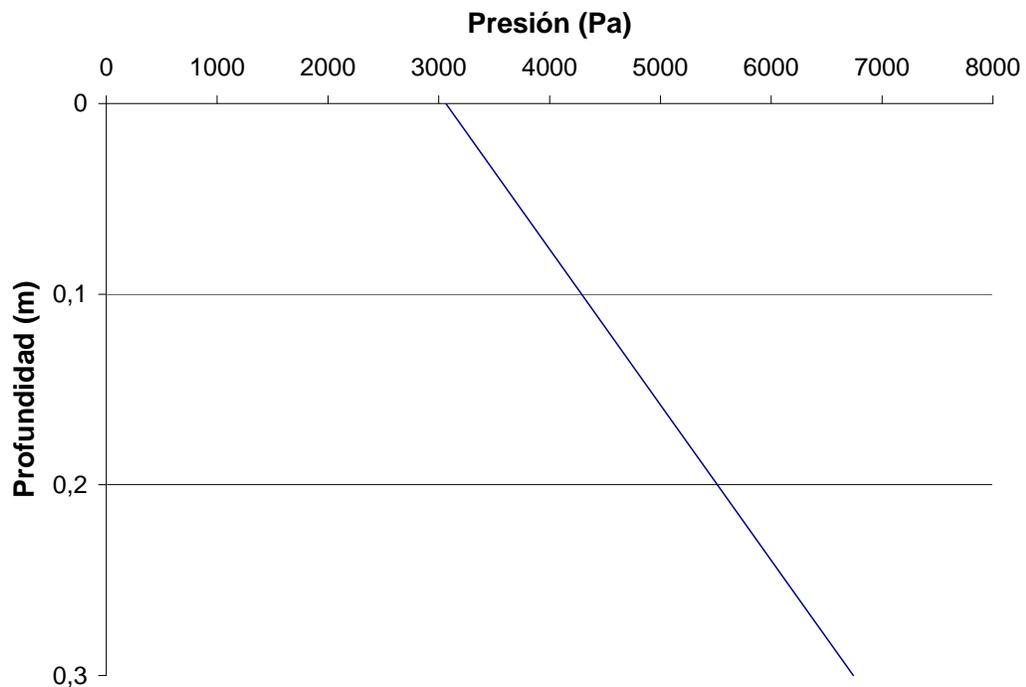


Figura 5.8: Presión de Impacto.

Cálculo de Esfuerzos en las Paredes de la Tolva

Los esfuerzos serán calculados utilizando el programa computacional SAP2000. El criterio para la selección del espesor de las paredes será evitar llegar al esfuerzo de fluencia ($S_Y = 248 \text{ MPa}$) con factor de seguridad de $\eta = 2$ y no tener una deformación excesiva. El modelo que se utilizará en este caso se muestra en la figura 5.9.

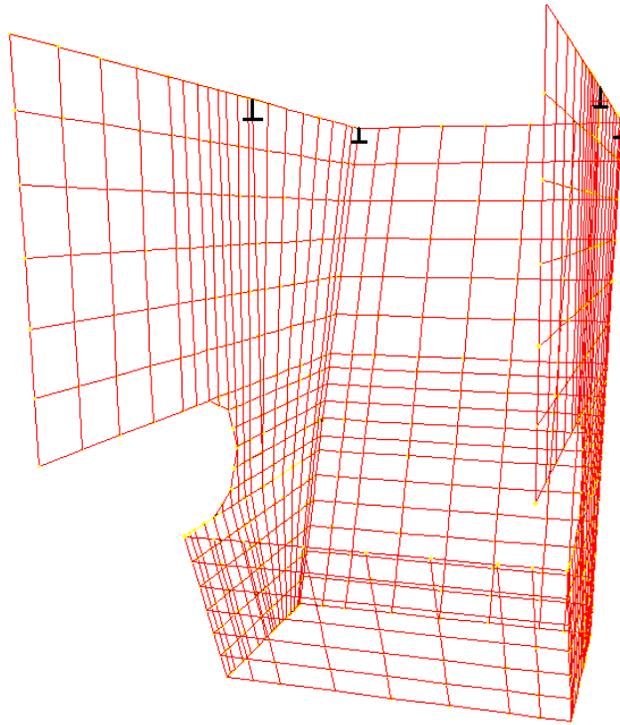


Figura 5.9: Modelo de Tolva de Alimentación

Igual que para el caso de la tolva de recepción se utilizará el elemento SHELL para modelar las paredes. Además se colocarán ángulos tanto en la parte superior como en el inicio de la tolva propiamente dicha (300 mm por encima de la parte inferior), para más detalle ver plano PC-TA-01. La tolva será sujeta de su extremo superior en cuatro puntos, estos serán representados como empotramientos.

Luego de realizar las iteraciones de diseño necesarias se obtuvo que el espesor de las paredes de la tolva debe ser 4 mm, y el ángulo seleccionado es L40x40x3 mm. El gráfico de los esfuerzos obtenidos se muestra en la figura 5.10.

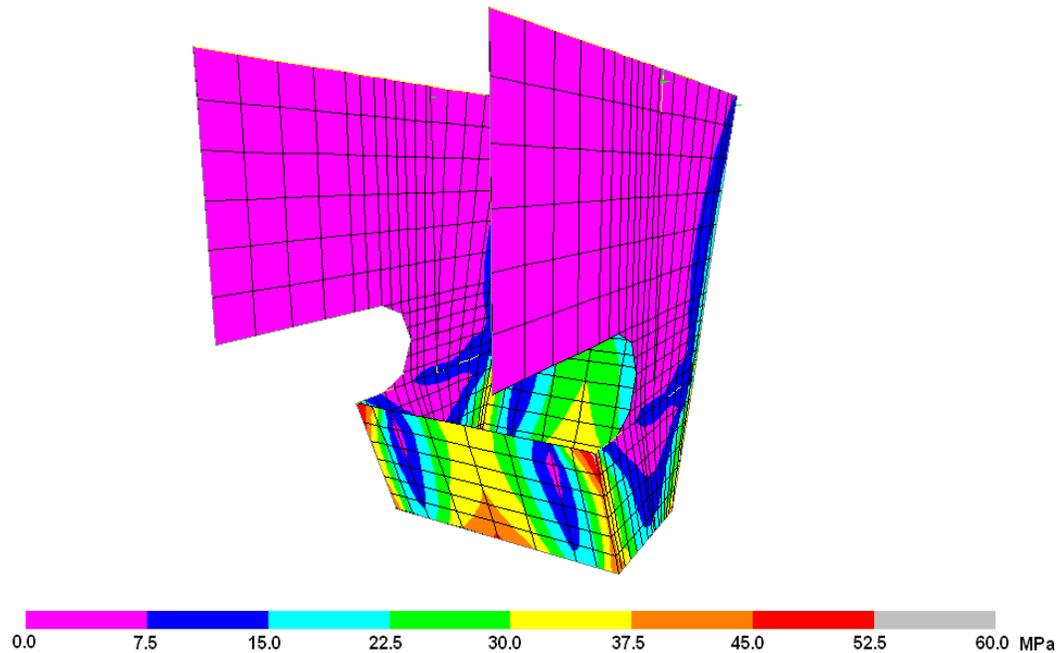


Figura 5.10: Esfuerzos en Tolva de Alimentación.

Como se observa en la figura anterior los esfuerzos de Von Mises desarrollados en la tolva debido a la presión producida por el impacto del material no son mayores a 60 MPa, lo cual cumple con el criterio de diseño que utilizado. Las deformaciones obtenidas con el programan no superan los 3 mm.

CAPÍTULO 6

6. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.

6.1. Descripción.

El control de los equipos utilizados en el proyecto será automatizado, esto es para evitar los errores que pudieran producirse mediante el control manual. Para poder realizar el circuito de control se harán las siguientes consideraciones:

- ✓ Para que una banda transportadora funcione, el siguiente equipo debe estar activo para evitar la acumulación del carbón transportado en la zona de transferencia de material.
- ✓ Las bandas transportadoras deben correr vacías antes de detenerse, por tanto estas deben permanecer encendidas el tiempo suficiente para descargar todo el material que se encuentra sobre la misma.
- ✓ Debe haber una parada de emergencia que detenga todo el sistema.

- ✓ Cada equipo debe tener paradas de emergencia individuales.
- ✓ Además del encendido general, el sistema debe tener encendidos individuales.
- ✓ En el caso del apilador y extractor, el sistema debe ser capaz de evitar que los equipos colisionen.

La figura 6.1 muestra el esquema final del proyecto completo de manera que se pueda tener una idea precisa de las acciones de control que debe realizar el sistema de automatización.

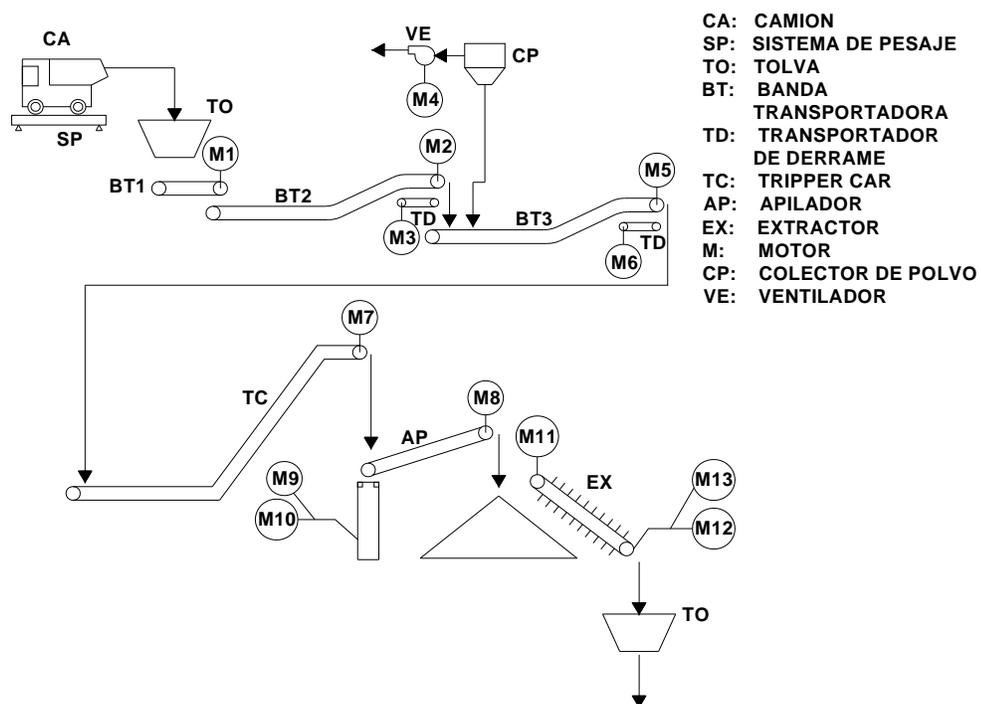


Figura 6.1: Esquema Final del Proyecto Completo para Sistemas de Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón.

Descarga de los Camiones a la Tolva de Recepción.

En la zona de descarga de los camiones habrá una luz verde que indicará cuando el nivel de la tolva es el correcto para poder realizar la descarga sin problemas.

Encendido del Sistema de Recepción y Almacenamiento.

Todos los equipos del sistema se encenderán al mismo tiempo cuando el botón de marcha sea accionado ya que puede ocurrir que todas las bandas transportadoras se encuentren cargadas de material al inicio; esto sucedería luego de una parada de emergencia o de un corte de energía.

Como ya se dijo el sistema de control debe asegurar que ninguna banda transportadora funcione si los equipos posteriores a esta se encuentran apagados, esto es, que la banda BT1 no funcione si las bandas BT2, BT3, el Carro de descarga y el Apilador no están encendidos, así mismo que la banda BT2 no funcione si la banda BT3, el Carro de Descarga y el Apilador no están encendidos, y así con el resto de equipos. Además del encendido normal, cada equipo tendrá accionamientos individuales, estos funcionarán únicamente si el encendido normal no ha sido activado.

Para accionar los motores M12 y M13, que controlan el movimiento e inclinación del apilador respectivamente, se utilizará una botonera distinta a la utilizada para el encendido del resto de equipos.

Encendido del Sistema de Extracción.

En el sistema de extracción se utilizará una botonera para accionar al motor M11, el cual mueve los cangilones del extractor, y otra para accionar los motores M12 y M13 que controlan el movimiento e inclinación del extractor respectivamente. El motor M11 podrá ser accionado únicamente si la banda de alimentación al proceso (que no pertenece a este proyecto) está accionada.

Parada de los Sistemas y Equipos.

Como ya se dijo anteriormente, en una parada normal del sistema, las bandas transportadoras deben funcionar el tiempo suficiente para que estas descarguen todo el material que se encuentra sobre estas. El tiempo necesario para cada banda se muestra a continuación:

TABLA 22

TIEMPO QUE TARDA EL MATERIAL EN RECORRER BANDAS

EQUIPO	TIEMPO
Banda Transportadora BT1	30 s.
Banda Transportadora BT2	240 s.
Banda Transportadora BT3	120 s.
Banda Transportadora del Carro de Descarga	240 s.
Banda Transportadora del Apilador	30 s.

La parada de emergencia general simplemente mandará a apagar todo el sistema. Las paradas de emergencia individuales mandarán a apagar cada equipo y a todos los que alimentan a este, por ejemplo si se apaga el motor M3 (banda BT3) los motores M2 y M1 (bandas BT1 y BT2) se detendrán, esto se logra debido a la configuración del encendido de los equipos.

El sistema de extracción no tendrá paradas de emergencia, solo paradas normales de los equipos.

Control de Movimiento de Extractor y Apilador.

Para evitar que el extractor y el apilador colisionen se mandará a apagar los motores M9 y M12 cuando estos se encuentren a 1m de distancia y además se cumpla una de las siguientes situaciones:

Para mandar a apagar el motor M9:

- El apilador se encuentra a la derecha del extractor y el apilador se mueve hacia la izquierda.
- El apilador se encuentra a la izquierda del extractor y el apilador se mueve hacia la derecha.
- El cilindro del apilador no se encuentra a media carrera o retraído y el “boom” del extractor no está totalmente levantado.

La última situación permite que el “boom” del apilador pase por debajo del “boom” del extractor sin peligro de colisión entre ambos. Para mandar a apagar el motor M12 se debe cumplir una de las siguientes situaciones:

- El apilador se encuentra a la derecha del extractor y el extractor se mueve hacia la derecha.
- El apilador se encuentra a la izquierda del extractor y el extractor se mueve hacia la izquierda.
- El cilindro del apilador no se encuentra a media carrera o retraído y el “boom” del extractor no está totalmente levantado.

6.2. Selección de Dispositivos.

Para la parada de emergencia de las bandas transportadoras se utilizan cables de seguridad los cuales cercan a la banda, si es necesario realizar una parada de emergencia simplemente se hala el cable. Para detener la banda transportadora cuando la cinta se rompe se utilizan sensores magnéticos en el cabezal de cola ya que al romperse la cinta este se detiene, el sensor detecta esto y envía una señal para detener la banda. Además se utilizan sensores de alineación que adviertan cuando la banda está desalineada.

El tipo de control que se utilizará para este proyecto se denomina Control de Procesos por Lotes, en este caso todos los dispositivos de control tienen dos estados.

Para poder accionar o detener el funcionamiento del sistema de automatización se utilizan botoneras de marcha y parada, la simbología de las mismas se muestran en la figura 6.2.



Figura 6.2: Simbología de Botoneras de Marcha y Parada.

Las botoneras utilizadas para poder realizar lo especificado anteriormente se listan a continuación con sus respectivas funciones:

- MG: Marcha General del Conjunto de Bandas (Encendido Normal).
- PG: Parada del Conjunto de Bandas.
- PE: Parada de Emergencia General del Sistema.
- EM1: Parada de Emergencia de motor M1.
- EM2: Parada de Emergencia de motor M2.
- EM3: Parada de Emergencia de motor M3.
- EM4: Parada de Emergencia de motor M4.
- EM5: Parada de Emergencia de motor M5.
- EM6: Parada de Emergencia de motor M6.
- EM7: Parada de Emergencia de motor M7.
- EM8: Parada de Emergencia de motor M8.

- PEM1: Marcha de motor M1 luego de parada de emergencia individual.
- PEM2: Marcha de motor M2 luego de parada de emergencia individual.
- PEM3: Marcha de motor M3 luego de parada de emergencia individual.
- PEM4: Marcha de motor M4 luego de parada de emergencia individual.
- PEM5: Marcha de motor M5 luego de parada de emergencia individual.
- PEM6: Marcha de motor M6 luego de parada de emergencia individual.
- PEM7: Marcha de motor M7 luego de parada de emergencia individual.
- PEM8: Marcha de motor M8 luego de parada de emergencia individual.
- MM1: Marcha individual de motor M1.
- MM2: Marcha individual de motor M2.
- MM3: Marcha individual de motor M3.
- MM4: Marcha individual de motor M4.
- MM5: Marcha individual de motor M5.
- MM6: Marcha individual de motor M6.
- MM7: Marcha individual de motor M7.
- MM8: Marcha individual de motor M8.
- PM1: Parada individual de motor M1.
- PM2: Parada individual de motor M2.
- PM3: Parada individual de motor M3.
- PM4: Parada individual de motor M4.
- PM5: Parada individual de motor M5.
- PM6: Parada individual de motor M6.

- PM7: Parada individual de motor M7.
- PM8: Parada individual de motor M8.
- E1: Marcha de motores M9 y M10.
- E2: Marcha de motores M12 y M13.
- E3: Marcha de motor M11.
- PE1: Parada de motores M9 y M10.
- PE2: Parada de motores M12 y M13.
- PE3: Parada de motor M11.
- MT: Marcha de control de luz para Tolva de Recepción.
- PT: Parada de control de luz para Tolva de Recepción.

El encendido de los diferentes motores del sistema se lo realizará mediante relés, de manera que si el relé M1 está energizado el motor M1 funciona, esto ocurre así con los motores desde M1 a M8 y el motor M11; para los motores M9 y M10 (que controlan el movimiento e inclinación del apilador respectivamente) y los motores M12 y M13 (que controlan movimiento e inclinación del extractor) al estar energizados sus respectivos relés los motores quedan listos para funcionar, mas no funcionan hasta que el operador de cada máquina los active. El relé AL activará una alarma cuando el apilador se encuentre a una distancia de 2 m del extractor. El relé LT activará una luz verde como señal de que el nivel de la tolva de recepción es

el adecuado para la descarga del siguiente camión. El resto de relés son utilizados para llevar a cabo las acciones de control requeridas.

Para que el sistema de automatización realice las acciones de control requeridas se utilizan contactos, ya sean estos normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC).

Los contactos cambian de estado cuando el relé que los controla es energizado y vuelven a su estado original cuando este es desenergizado. También se utilizarán relés temporizadores, estos envían la señal a los contactos luego de un tiempo determinado. La simbología de los relés y contactos se muestran en la figura 6.2.

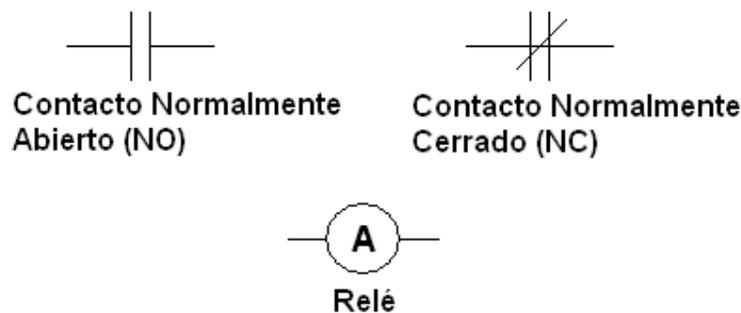


Figura 6.2: Simbología de Relés y Contactos.

Los contactos utilizados cuyos relés no se encuentran dentro del circuito diseñado se listan a continuación:

- SP1: Contacto NO, se activará cuando un sensor de proximidad indique que el apilador se encuentre a 2 m del extractor.

- SP2: Contacto NC, se activará cuando el sensor de proximidad indique que el apilador se encuentre a 1 m del extractor.
- SD: Contacto NO, se activará cuando un sensor indique que el extractor se encuentra a la derecha del apilador.
- SI: Contacto NO, se activará cuando un sensor indique que el extractor se encuentra a la izquierda del apilador.
- M9I: Contacto NO, se activará cuando el motor de posición del apilador lo mueva a la izquierda.
- M9D: Contacto NO, se activará cuando el motor de posición del apilador lo mueva a la derecha.
- M12I: Contacto NO, se activará cuando el motor de posición del extractor lo mueva a la izquierda.
- M12D: Contacto NO, se activará cuando el motor de posición del extractor lo mueva a la derecha.
- MBTA: Contacto NO, se activará cuando la banda de alimentación del proceso se encuentre funcionando.

Otros elementos que se utilizarán son: switch de nivel para la tolva de recepción (NT), switch de media carrera para el cilindro que controla el “boom” del apilador (MC) y switch de posición para el “boom” del extractor (EX). Estos switch serán normalmente abiertos.

Finalmente se utilizarán sensores de posición para el extractor y el apilador. El sensor utilizado emitirá una señal que activará el contacto SP1 cuando la distancia entre el apilador y extractor sea de 2 m, este contacto activará a su vez una alarma de advertencia. Cuando la distancia entre el apilador y extractor sea de 1 m, el sensor activará un segundo contacto SP2 hará detener los motores del apilador y extractor si hay peligro de colisión.

El circuito de control que se obtiene con las consideraciones hechas en este capítulo se muestra en el plano PC-SA-01.

Además de los dispositivos descritos se asume que los motores eléctricos están provistos de los dispositivos de protección adecuados (termistores, fusibles, etc.)

CAPÍTULO 7

7. ANÁLISIS DE COSTOS.

Para el cálculo del costo de los equipos importados del proyecto se utilizaron los precios referenciales de los diferentes fabricantes tales como FAM, BESTA, KOCH, LOREN COOK, WAM, MARTÍN. El costo del material para la fabricación de las diferentes estructuras se obtuvo tomando una media del costo por unidad de masa en el mercado local de los perfiles seleccionados (UNP, IPE, ángulos), así como de las planchas metálicas utilizadas.

7.1. Costos de Fabricación e Importación de Equipos.

Equipos Importados.

Para calcular el costo de los equipos importados hay que considerar el costo del equipo en fábrica (precio FOB) mas el flete, seguro e impuestos a pagar.

La tabla 23 y 24 muestra los costos de importación.

TABLA 23
CALCULO DEL VALOR CIF

EQUIPO	PRECIO FOB	FLETE	SEGURO	CIF
Celdas de Carga	7700,00	45,00	154,90	7899,90
Banda Transportadora BT1	2300,00	24,00	46,48	2370,48
Banda Transportadora BT2	143000,00	1500,00	2890,00	147390,00
Banda Transportadora BT3	295000,00	3075,00	5961,50	304036,50
Colector de Polvo	10.000,00	510,00	210,20	10.720,20
Ventilador	1.350,00	12,00	27,24	1.389,24
Carro de Descarga	250.000,00	4.500,00	5.090,00	259.590,00
Apilador	450.000,00	8.100,00	9.162,00	467.262,00
Extractor	666.000,00	12.000,00	13.560,00	691.560,00
Transportador de Derrame	8.400,00	150,00	171,00	8.721,00
			SUB-TOTAL	1'900.939,32

TABLA 24

COSTOS DE EQUIPOS E IMPORTACIÓN

EQUIPO	CIF	ARANCEL	FODINFA	GASTOS LOCALES	TOTAL
Celdas de Carga	7899,90	1184,99	59,25	4,50	9.148,63
Banda Transportadora BT1	2370,48	355,57	17,78	3,20	2.747,03
Banda Transportadora BT2	147390,00	22108,50	1105,43	200,00	170.803,93
Banda Transportadora BT3	304036,50	45605,48	2280,27	410,00	352.332,25
Colector de Polvo	10.720,20	1.608,03	80,40	68,00	12.476,63
Ventilador	1.389,24	208,39	10,42	1,60	1.609,65
Carro de Descarga	259.590,00	38.938,50	1.946,93	600,00	301.075,43
Apilador	467.262,00	70.089,30	3.504,47	1.080,00	541.935,77
Extractor	691.560,00	103.734,00	5.186,70	1.600,00	802.080,70
Transportador de Derrame	8.721,00	1.308,15	65,41	20,00	10.114,56
				SUB-TOTAL	USD 2'204.324,56

El valor del flete es de aproximadamente 150 USD por TM o m³. El costo del seguro es del 2% de la suma del flete mas el precio FOB. La suma del precio FOB, el flete y el seguro se denomina valor CIF y sirve para calcular los aranceles; para el tipo de equipos a importar el arancel es del 10% del valor CIF. El FODINFA se calcula tomando el 5% del arancel. Finalmente los gastos locales de la naviera es de aproximadamente USD 20 por TM o m³. El costo total de la importación de los equipos es de **USD 2'204.324,56**.

Equipos Fabricados Localmente.

La tabla 25 muestra el precio unitario y final de los diferentes equipos que se deben fabricar para el desarrollo del proyecto.

TABLA 25
COSTOS DE FABRICACIÓN

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Sistema de Pesaje Estructura Metálica	3600	KG	1,60	5760,00
Tolva de Recepción Estructura Metálica	13200	KG	1,60	21120,00
Steel Panel	138	M2	7,00	966,00
Banda Trans. BT1 Estructura Metálica	850	KG	1,60	1360,00
Steel Panel	16	M2	7,00	112,00

TABLA 25 (Continuación)

COSTOS DE FABRICACIÓN

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Banda Trans. BT2				
Estructura Metálica	22500	KG	1,60	36000,00
Steel Panel	980	M2	7,00	6860,00
Banda Trans. BT3				
Estructura Metálica	38700	KG	1,60	61920,00
Steel Panel	390	M2	7,00	2730,00
Nave Almacenamiento				
Estructura Metálica	370000	KG	1,60	592000,00
Steel Panel	20135	M2	7,00	140945,00
SUB-TOTAL				USD 869.773,00

7.2. Costos de Montaje y Puesta en Marcha.

El costo del montaje y puesta en marcha de todo el proyecto se muestra en la tabla 26. Los precios unitarios son medias obtenidas de acuerdo a experiencias previas en montajes similares.

TABLA 26
COSTOS DE MONTAJE

DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Sistema de Pesaje				
Estructura Metálica	3600	KG	0,30	1080,00
Celdas de Carga	6	U	200,00	1200,00
Tolva de Recepción				
Estructura Metálica	13200	KG	0,30	3960,00
Steel Panel	138	M2	1,00	138,00
Banda Transportadora BT1				
Estructura Metálica	850	KG	0,30	255,00
Banda	160	KG	0,30	48,00
Steel Panel	16	M2	1,00	16,00
Banda Transportadora BT2				
Estructura Metálica	22500	KG	0,30	6750,00
Banda	10000	KG	0,30	3000,00
Steel Panel	980	M2	1,00	980,00
Banda Transportadora BT3				
Estructura Metálica	38700	KG	0,30	11610,00
Banda	20500	KG	0,30	6150,00
Steel Panel	390	M2	1,00	390,00
Sistema de Desempolvado				
Colector de Polvo	3400	KG	0,30	1020,00
Ventilador	80	KG	0,30	24,00

TABLA 26 (Continuación)

COSTOS DE MONTAJE

DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO
Carro de Descarga	30000	KG	0,30	9000,00
Apilador	54000	KG	0,30	16200,00
Extractor	80000	KG	0,30	24000,00
Trans. de Derrame	1000	KG	0,30	300,00
Nave Almacenamiento				
Estructura Metálica	370000	KG	0,30	111000,00
Steel Panel	20135	M2	1,00	20135,00
SUB-TOTAL				USD 217.256,00

Finalmente en la tabla 27 se muestra el resumen de los costos de todos los equipos y el costo total de la obra mecánica del proyecto completo.

TABLA 27
COSTO TOTAL DEL PROYECTO

DESCRIPCION	PRECIO DE MONTAJE	PRECIO DE FABRICACION IMPORTACION	PRECIO TOTAL
Sistema de Pesaje	2280,00	14.908,63	17188,63
Tolva para Recepción	4098,00	22086,00	26184,00
Banda Transportadora BT1	319,00	4219,03	4538,03
Banda Transportadora BT2	10730,00	213663,93	224393,93
Banda Transportadora BT3	18150,00	416982,25	435132,25
Sistema de Desempolvado	1044,00	14.086,28	15130,28
Tripper Car	9000,00	301.075,43	310075,43
Apilador	16200,00	541.935,77	558135,77
Extractor	24000,00	802.080,70	826080,70
Transportador de Derrame	300,00	10.114,56	10414,56
Nave para Almacenamiento	131135,00	732945,00	864080,00
TOTAL			USD 3'291.353,56

Por lo tanto el total de la inversión inicial del proyecto es de **USD 3'291.353,56**. Para calcular cual es el ahorro anual que se tiene debido a la utilización del carbón como combustible industrial en reemplazo del bunker, que es uno de los combustibles mas utilizados en nuestro medio, se considerará que se tiene un consumo de 30 TM/h de carbón bituminoso durante las 24 horas del día todos los días del año, lo cual representa un total de 7.94×10^9 MJ (con un poder calorífico de 30.2 MJ/kg).

El precio del bunker es de alrededor de 0.64 USD/gal y el poder calorífico es de 140 MJ/gal con lo que se tiene un precio de:

$$P_{\text{UNITARIO}} = \frac{0.64 \frac{\text{USD}}{\text{gal}}}{140 \frac{\text{MJ}}{\text{gal}}}$$
$$P_{\text{UNITARIO}} = 0,0045 \frac{\text{USD}}{\text{MJ}}$$

El precio total por combustible utilizando bunker es de:

$$\text{Precio Total} = 0,0045 \frac{\text{USD}}{\text{MJ}} \times 7,94 \times 10^9 \text{ MJ}$$
$$\text{Precio Total} = \text{USD } 35'730.000$$

El precio por unidad de energía del carbón en el mercado internacional es de 0,0015 USD/MJ (ver tabla 3, capítulo 1); los gastos de importación imponen un incremento de aproximadamente el 45%, por tanto el precio final sería de 0,0022 USD/MJ. Con esto se tiene:

$$\text{Precio Total} = 0,0022 \frac{\text{USD}}{\text{MJ}} \times 7,94 \times 10^9 \text{ MJ}$$
$$\text{Precio Total} = \text{USD } 17'468.000$$

Por lo que el ahorro anual en combustible es de USD 18'262.000. La inversión total de la implementación del carbón como combustible industrial es de aproximadamente USD 18'000.000 (incluyendo trabajos mecánicos, civiles y eléctricos de los sistemas de recepción y almacenamiento, transporte al molino y molienda de carbón). Considerando esto la inversión es recuperada en 12 meses aproximadamente.

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- ✓ Debido a la gran demanda de energía que representa la industria mundial, y ya que la explotación de los combustibles fósiles tradicionalmente utilizados como el petróleo y el gas natural llegará a su cenit en esta década y luego decaerá aproximadamente un 50% para el año 2050 (2), existe la necesidad de buscar una alternativa viable para la obtención de energía. Una de las opciones es la utilización del carbón mineral ya que, debido a la abundancia de este, puede suplir por largo tiempo la demanda de energía mundial, además la estabilidad del precio y bajo costo hacen que su uso sea económicamente viable.
- ✓ Una de las grandes desventajas de la utilización del carbón mineral es que la combustión de combustibles sólidos es poco eficiente y produce gran cantidad de contaminantes, tanto sólidos como gaseosos. Es por esto que una de las industrias más idóneas para la

utilización de este combustible es la del cemento, ya que todos los residuos sólidos que se producen debido a la combustión del carbón pueden ser utilizados como materia prima para la obtención del clinker (componente del cemento); en cuanto a los contaminantes gaseosos, estos deben ser controlados utilizando las diferentes técnicas existentes (lavadores húmedos, equipos de absorción o adsorción, incineradores).

- ✓ Otra forma de producir contaminación es realizando un inadecuado manejo y transporte del carbón. Esto es evitado utilizando colectores de polvo y transportadores de derrame, no solo por cuestiones ambientales, sino para evitar el peligro de que ocurra una explosión debido a la acumulación de polvo de carbón.

- ✓ Una de las consideraciones más importante en cualquier tipo de proyecto es la seguridad, aún más si se trata del manejo de combustibles. Es por esta razón que hay que poner especial atención en las recomendaciones y normas que dictan las diferentes instituciones encargadas de regular estas actividades (NFPA en Estados Unidos y las normas de la Unión Europea). En forma general se debe evitar las acumulaciones de polvo y hay que realizar un monitoreo constante de la temperatura del carbón, sobre todo en el lugar de almacenamiento para poder reconocer de forma inmediata una posible ignición espontánea y tomar las medidas necesarias para evitarla o controlarla de ser el caso.

- ✓ Para poder controlar la cantidad de carbón mineral que se receipta es necesario utilizar un sistema de pesaje. Entre los equipos existentes el más adecuado es el puente de pesado debido a la simplicidad de su funcionamiento. En el diseño de la estructura metálica del puente de pesaje el criterio dominante fue evitar la deflexión excesiva. Aunque se puede utilizar estructuras más livianas que resistan las cargas existentes de acuerdo con la norma del AISC, estas producen deflexiones mayores a lo permisible. En cambio, en el diseño de las secciones ubicadas en los apoyos el criterio dominante fue evitar la falla por cortante, para esto se colocaron rigidizadores en este sector.

- ✓ Las tolvas de flujo de masa aventajan de gran manera a las tolvas flujo de embudo las cuales son utilizadas cuando la altura disponible es limitada o por cuestiones económicas (lo cual no es el caso de este proyecto). Por estos motivos las tolvas utilizadas son de flujo de masa; con esto no solamente se obtiene un flujo continuo y se evita el problema del estancamiento de material, sino que se simplifica el diseño ya que se puede predecir de manera más exacta las presiones y esfuerzos desarrollados sobre las paredes de la tolva.

- ✓ Los esfuerzos en las paredes de la Tolva de Recepción están por debajo del esfuerzos de fluencia. Mediante la utilización del Programa Computacional SAP2000 se observó claramente que en las esquinas de las paredes se producen concentradores de esfuerzos, de igual manera que en los apoyos de las columnas por lo que se colocaron rigidizadores para de esta manera soportar mejor las cargas y distribuir las tanto en el anillo inferior como en el superior. Debido a la deformación excesiva que tiene lugar en las paredes de la tolva se colocaron anillos rigidizadores fabricados de ángulos. También pueden colocarse rigidizadores longitudinales, pero estos no aumentan de manera apreciable la rigidez de la tolva.

- ✓ Para el transporte de material al granel por grandes distancias (como es el caso del este proyecto debido a las condiciones asumidas) el dispositivo más adecuado es la banda transportadora. La selección y diseño de los diferentes componentes de las bandas utilizadas se facilitó gracias a la ayuda de un programa computacional para diseño de bandas desarrollado como tesis de grado en la FIMCP, este programa diseña y selecciona los elementos de acuerdo a las normas dadas por la Asociación de Fabricante se Equipos para Transporte (CEMA); de esta manera se pueden realizar rápidamente los diferentes cálculos involucrados y cambiar las condiciones existentes sin que esto represente mayor problema, optimizando de esta manera el diseño.

- ✓ Debido al gran espacio utilizado para el almacenamiento del carbón la luz de la nave diseñada es de 50 m, por lo que la mejor opción es utilizar arcos para las estructuras principales de soporte. Para evitar que los extremos de los arcos soporten el momento generado por la estructura al empotrarlos al piso se colocan apoyos pivotantes, de esta manera disminuyen los esfuerzos, aunque se pierda rigidez.
- ✓ El sistema de automatización debe ser diseñado de tal forma que se eviten accidentes y se tenga un funcionamiento correcto evadiendo la posibilidad de que los operarios de los equipos cometan equivocaciones que repercutan contra la integridad tanto de los trabajadores como de las máquinas. Es por esto que el diseñador debe describir el procedimiento de operación y funcionamiento de los diferentes.
- ✓ Para cada uno de los equipos seleccionados o diseñados debe haber un plano de cargas para que el ingeniero civil pueda diseñar y construir la cimentación necesaria.
- ✓ La mayoría de proyectos industriales son interdisciplinarios, sobre todo en aquellos de gran tamaño. En el proyecto realizado el ingeniero mecánico desarrolla el diseño y selección de los equipos y entrega la información necesaria a los ingenieros civiles y eléctricos para que puedan realizar su trabajo.

- ✓ La implementación de un sistema que utilice carbón como combustible es aplicable solo para empresas con una gran capacidad de inversión y con grandes consumos de combustible que justifiquen el proyecto. El costo del carbón por unidad de energía (incluido los costos de importación) es el 44% del costo del bunker (combustible ampliamente utilizado en la industria), por lo que el ahorro en combustible es del 56%.
- ✓ El tipo de apilador utilizado para este proyecto no es un equipo complejo, por tanto es viable que este sea diseñado y fabricado localmente en lugar de que sea exportado, con lo cual se disminuirían los costos. En esta tesis no se hizo el diseño del mismo porque esto demandaría un estudio profundo de esta parte del sistema lo cual no es el objetivo que se persigue. El diseño del resto de equipos requiere ingeniería especializada y la experiencia del fabricante es casi indispensable; una alternativa para disminuir costos para este tipo de equipos es comprar los planos de construcción al proveedor y con estos realizar la fabricación localmente.
- ✓ La utilización de colectores de polvo y otros sistemas de despolvado, no solo en este sino en todos los proyectos que involucren el manejo y transporte de carbón mineral, es esencial por dos motivos: por cumplir regulaciones ambientales y para evitar las acumulaciones de polvo de carbón ya que estas constituyen un peligro inminente de ignición espontánea o incluso de explosión.

- ✓ Como en todo proyecto industrial todo el personal involucrado debe ser capacitado para poder realizar el transporte y manipulación del carbón en forma adecuada; además es de vital importancia que haya un procedimiento definido para llevar a cabo en caso de una posible ignición espontánea, este procedimiento debe ser realizado siguiendo las recomendaciones dadas por la NFPA.

BIBLIOGRAFÍA

1. PERRY ROBERTH H, Manual del Ingeniero Químico, Editorial McGraw Hill, Madrid – España 2001, Séptima Edición.
2. ASOCIACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL CENIT DEL PETRÓLEO Y GAS, Boletín 47, Noviembre 2004.
3. ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, Informe Mundial de la Energía, 2004.
4. HINOJOSA RUIZ HEBER, “Software para el Diseño de Transportadores de Banda” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2002).
5. BATES LYN, Problems in Particulate Flow PART A: Flow Regimes, University of Florida, Florida – EEUU, 1999.
6. TARDOS GABRIEL I, Stresses en Bin and Hoppers (Use of Jenike’s Method for Hopper Design), University of Florida, Florida – EEUU, 1998.

7. SCHULZE DIETMAR, The Behavior of Powders and Bulk Solids, 2004.
8. SCHULZE DIETMAR, Stresses in Silos, 2003.
9. SCHULZE DIETMAR, Storage of Powders and Bulk Solids in Silos, 2004.
10. CARSON JOHN W. y PETRO GREG, How to Design Efficient and Reliable Feeders for Bulk Solids.
11. DICK D. STUART y ROYAL T. A., Design Principles for Chutes to Handle Bulk Solids, 1992.
12. CARSON JOHN W. y JENKYN R. T., Load Development and Structural Considerations in Silo Design, 1993.
13. CARSON JOHN W., Silo Failure: Case Histories and Lessons Learned, 2000.
14. PURUTYAN HERMAN, PITTENGER BRIAN H. y CARSON JOHN W., Six Steps to Design a Storage Vessel that Really Works, 1999.

15. CHASE GEORGE G., Solids Notes, Cap. 10, University of Akron.
16. JONHANSON JERRY D., Toward a Common Language for Bulk Solids Handling Characterization.
17. COAL AGE, Controlling Dust without Using Bag Houses, November 2000.
18. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión, Libro VI, Anexo 3.
19. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI, Anexo 4.
20. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design, 1995.
21. SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures: Analysis Reference, 1998.

22. DIN 1055 – PART 6, Design Loads for Buildings, Loads in silo bins, 1897.
23. MARINELLI J. y CARSON JOHN W., Solve Solids Flow Problems in Bin, Hoppers and Feeders.
24. HERZIG KAI, Carrying Capacity of Single Supported Steel Silos With Bracing Members, 1997.
25. WORLD COAL INSTITUTE, Coal Power for Progress: Clean Coal Technologies.
26. F. L. SMITH, Instruction manual: Precaution when using Coal and Lignite.
27. McCORMAC JACK C. Y NELSON JAMES K., Análisis de Estructuras Métodos Clásico y Matricial, Alfaomega Grupo Editor S.A., México 2002.
28. DEPARTMENT OF ENERGY HANDBOOK, Primer on Spontaneous Heating and Pyrophoricity.

29. INTENSIV FILTER, Pocket Book Dedusting Technology Filter Media, Alemania 1990.
30. FOX ROBERT W., Introducción a la Mecánica de Fluidos, McGraw Hill, México 1995.
31. MARTIN SPROCKET AND GEAR INC. Catalog 1090, Arlington Texas USA 1995.

PÁGINAS CONSULTADAS

- ✓ www.coalage.com
- ✓ www.dietmar-schulze.de
- ✓ www.altmayer.de
- ✓ www.zeppelin.de
- ✓ www.fam.de
- ✓ www.erpt.org
- ✓ www.jenike.com
- ✓ www.powderbulk.com

APÉNDICE A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VENTILADOR SELECCIONADO.



COOK

CPS

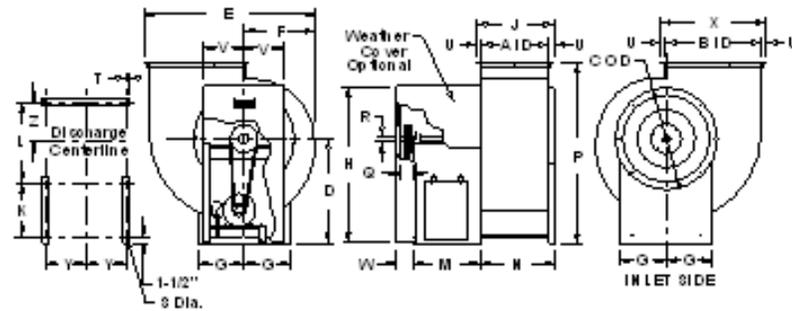
120 CPS

Flat Blade Centrifugal Blower

Clockwise Up-Blast

Arrangement 10, Class I

Class I



Dimensions are in inches.

A	9-3/16	M	13-1/8	Y	8-5/8
B	13-1/8	N	11	Z	5-1/2
C	16-1/8	P	31-3/8		
D	18	Q	3		
E	22-13/16	R	1		
F	9-3/4	S	9/16		
G	9-3/8	T	3/4		
H	26-1/4	U	1-1/2		
J	12-5/16	V	8-1/16		
K	10	W	4-1/16		
L	11-7/8	X	16-1/4		

APÉNDICE B

TRANSPORTADOR DE DERRAME

Transportador de Rastras de Fondo Plano



HP (por pie de longitud)

Series	Tamaño	100 PPM	125 PPM	150 PPM	175 PPM	200 PPM	Máxima Longitud de Cadena
		HP/Pie	HP/Pie	HP/Pie	HP/Pie	HP/Pie	
900F	9"	.070	.090	.108	.122	.140	238"
1200F	12"	.106	.132	.158	.185	.211	270
1400F	14"	.134	.170	.205	.240	.270	215
1600F	16"	.180	.220	.264	.308	.360	165
1800F	18"	.225	.280	.340	.395	.451	340
2000F	20"	.280	.350	.420	.490	.558	300
2400F	24"	.380	.470	.565	.660	.765	230

NOTAS:

- Para calcular el HP, multiplique el factor de HP apropiado por la longitud total del transportador en pies. Esto permite una eficiencia del 85% del tren de poder de la transmisión y un factor de onda de 1.5 para el arranque.
- Los HP están basados en una carga máxima de granos pequeños, secos y de flujo libre que pesan 48 libras por pie cúbico o 60 libras por bushel. Los HP variarán con otros materiales.
- Los HP y las longitudes máximas de transportadores son solamente para transportadores horizontales.
- Las longitudes máximas de transportadores están calculadas a 175 FPM y pueden variar dependiendo de la velocidad y de los materiales. Si se requieren de transportadores más grandes, consulte a www.martin.com.
- Pueden requerirse terminales de cabeza especiales para acomodar anticipadamente el estire de la cadena cuando se aproxima a la altura máxima.

Capacidad PPM / RPM

Series	Tamaño	100 PPM		125 PPM		150 PPM		175 PPM		200 PPM	
		PCH	RPM								
900F	9"	4000	42	5310	51	6372	62	7434	72	8497	82
1200F	12"	6300	32	8005	41	9495	49	11000	57	12700	62
1400F	14"	8400	27	10600	34	12650	40	14500	47	16858	54
1600F	16"	10860	24	13608	30	16311	36	18995	42	21718	48
1800F	18"	13500	22	16943	27	20351	33	23700	38	27100	44
2000F	20"	16500	20	20670	25	24800	30	28945	34	33000	39
2400F	24"	24000	17	29300	21	35154	25	41000	29	46902	33

NOTAS:

- Las capacidades mostradas están basadas en una carga máxima de granos pequeños, secos y de flujo libre que pesan 48 libras por pie cúbico o 60 libras por bushel. La capacidad variará con otros materiales.
- Las capacidades están basadas solamente en transportadores horizontales.
- Las descargas intermedias afectarán adversivamente la capacidad.
- Para convertir capacidad a bushels, multiplique los pies cúbicos por .80.

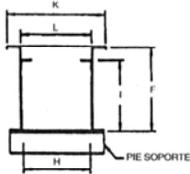
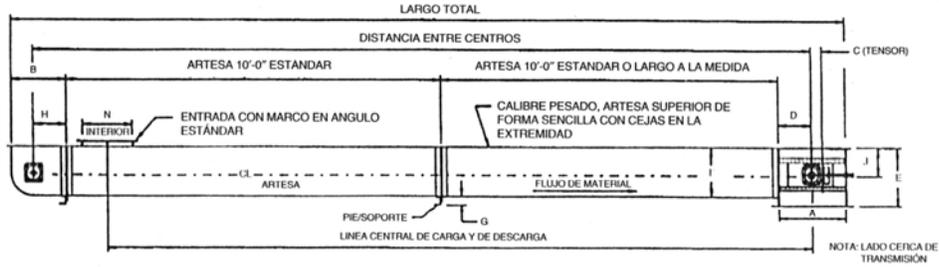
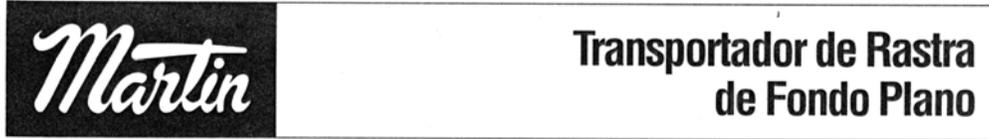
- Los pesos mostrados de cola y de cabeza incluyen rodamientos, eje, sprocket y cubiertas.
- Los pesos intermedios mostrados incluyen ruedas locas de regreso, artesa, cubiertas y pernos.
- Todos los pesos son estimados al embarcarse. Para determinar las estructuras que soportan al transportador, se debe de usar el peso del transportador más el peso del material contenido en el transportador.

Grosor de Material y Pesos Aproximados de Embarque

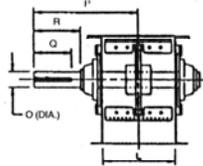
Series	Cola de Contorno	Peso' Lbs.	Cabeza	Peso' Lbs.	10' 0" Intermedio		Entrada Estándar	Peso Lbs.	Cubierta
					Trabajo Estándar	Peso' Lbs.			
900F	10 ga.	105	3/8"	302	10 ga.	319	10 ga.	10	14 ga.
1200F	10 ga.	130	3/8"	363	10 ga.	397	10 ga.	12	14 ga.
1400F	10 ga.	165	3/8"	458	10 ga.	452	10 ga.	15	14 ga.
1600F	10 ga.	211	3/8"	506	10 ga.	494	10 ga.	17	14 ga.
1800F	10 ga.	296	3/8"	810	10 ga.	690	10 ga.	21	12 ga.
2000F	3/8"	406	1/2"	1124	10 ga.	752	10 ga.	23	12 ga.
2400F	3/8"	615	1/2"	1601	10 ga.	850	10 ga.	29	12 ga.

APÉNDICE B (Continuación)

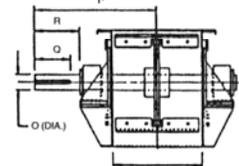
TRANSPORTADOR DE DERRAME



SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE ARTESA

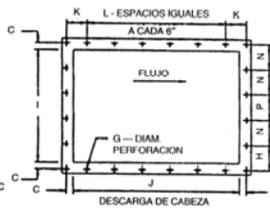
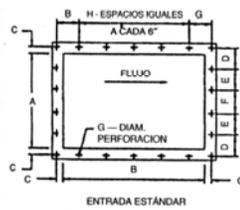


PARA TAMAÑOS — 9", 12", 14", 15", 18"



PARA TAMAÑOS — 20" AND 24"

Tamaño de Transportador	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
900F	26	13 1/4	3	13	15	12 1/4	2 1/4	6	10	6 1/4	14	10	9 1/2	16	2 1/4	16	7	9
1200F	30	14 1/4	4	16	19 1/2	15 1/4	4 1/4	6 1/4	13	7 1/2	18	13	12 1/2	18	2 1/4	18 1/4	7	8 1/2
1400F	30	16 1/4	4	16	21 1/2	17 1/4	4 1/4	7 1/4	15	8 1/2	19 1/2	15	13 1/2	20	3 1/4	20 1/4	7	8 1/2
1600F	30	18 1/4	6	16	23 1/2	19 1/4	4 1/4	8 1/4	17	9 1/2	21 1/2	17	14 1/2	22	3 1/4	24	8	10 1/2
1800F	36	20 1/4	6	20	27	22 1/4	4 1/4	9 1/4	19	11	25	19	16	25	3 1/4	25 1/4	8	10 1/2
2000F	36	21 1/4	7	20	29	24 1/4	4 1/4	10 1/4	21	12	27	21	19 1/2	27	4 1/4	29 1/4	8	11 1/4
2400F	36	26 1/4	7	20	33	28 1/4	4 1/4	12 1/4	25	14	31	25	20	31	4 1/4	31 1/4	8	10 1/4



Para información adicional, contacte su distribuidor **Martin** más cercano.

Dimensiones del Reborde

Tamaño de Transportador	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P	Q
900F	7	16	1	4 1/2	—	—	3	2	10	26	5	3	4	—	4	1/4
1200F	10	18	1 1/4	4	—	4 1/2	4 1/4	2	13	30	4 1/4	4	5	—	5 1/4	1/4
1400F	12	20	1 1/4	4 1/2	—	5 1/2	5 1/4	2	15	30	4 1/4	4	3 1/2	3 1/2	3 1/2	1/4
1600F	14	22	1 1/4	3 1/2	3 1/4	3 1/2	3 1/4	3	17	30	4 1/4	4	3 1/2	4	4	1/4
1800F	15	25	1 1/2	3 1/2	3 1/4	4	5	3	19	36	4 1/2	5	4 1/4	4 1/2	4 1/2	1/4
2000F	17	27	1 1/2	4	4	4	6	3	21	36	4 1/2	5	4 1/4	4 1/2	4 1/2	1/4
2400F	21	31	1 1/2	4 1/4	4 1/4	5	5	4	25	36	4 1/2	5	5 1/4	5 1/4	5 1/4	1/4

APÉNDICE C

FACTORES DE SERVICIO RECOMENDADOS



Selección de Transmisión en Existencia

Para seleccionar la mejor transmisión de Banda-V para cualquier aplicación, utilizando poleas de existencia siga las siguientes instrucciones paso por paso:

ANTES DE SELECCIONAR UNA TRANSMISION, NECESITA CONOCER LOS SIGUIENTES FACTORES:

1. Los caballos de fuerza necesarios para la transmisión.
2. RPM de la Unidad Motriz.
3. RPM de la máquina impulsada.
4. La distancia de centros aproximada de la transmisión.
5. El tamaño del eje de las dos unidades..
6. El promedio de horas al día de operación.

TABLA 1 — FACTORES DE SERVICIO

EL ADECUADO FACTOR DE SERVICIO SE DETERMINA POR:	FACTORES DE SERVICIOS TIPICOS					
<ol style="list-style-type: none"> 1. El grado y frecuencia de las cargas pico. 2. El número de horas de operación al año, divididas en un promedio de horas al día de servicio continuo. 3. La categoría adecuada de servicio, (intermitente, normal o continuo). Seleccione aquella que más se aproxime a las condiciones de su aplicación. 	TIPOS DE MAQUINAS DE TRANSMISION			TIPOS DE UNIDADES MOTRICES		
Los tipos de máquinas de transmisión anotados a continuación son sólo ejemplos representativos. Seleccione de la siguiente lista la categoría que más se aproxime a su selección. SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:	MOTORES ELECTRICOS			MOTORES ELECTRICOS		
Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2	AC Torque Norma Jaula de Ardilla y sincrónico AC Fase Split DC Motor en derivación Motores de Combustión Interna			AC Torque-Alto AC Hi-Slip AC Repulsión-Inducción AC Fase Simple Devanado en serie AC Arrilo Slip DC Devanado Compuesto		
	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopletes y aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza Transportadores de trabajo ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Mezcladores de masa Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza Generadores Ejes de línea Máquinas de lavandería Herramientas para máquinas Cuchillas, Pinos, Puncadoras Máquinas de imprenta Bombas de Rotación para Reemplazo Positivo Revolvedoras y Cribas	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para ladrillos Elevadores de cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Drogas, Helicoidales, Tabillas) Molinos de martillo Baldores de Molinos de Papel Bombas para Pistones Sopletes para Reemplazo Positivo Pulverizadores Máquinas para madera y sierras Máquinas textiles	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradores (Giratorios, Mordazas, Roladores) Molinos (Bolas, Roladoras, Laminadoras) Gruas Calandrias de hule — Extrusoras — molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Equipo con ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

PARA UNA BUENA SELECCION DE TRANSMISION COMERCIAL, UTILICE EL FACTOR DE SERVICIO CONTINUO

APÉNDICE D

GRÁFICOS PARA SELECCIÓN DE BANDAS

Selección de Transmisión en Existencia



EJEMPLO TÍPICO

1. La unidad motriz es un motor eléctrico de torque normal de 5 caballos de fuerza.
2. La velocidad de la unidad motriz es de 1750 RPM.
3. Un reductor de velocidad para un transportador helicoidal *Martin* debe ser impulsada a 800 RPM.
4. La distancia de centros deseada es de 20".
5. El diámetro del eje motriz es de 1½" y el diámetro del eje impulsado es también de 1½"
6. El transportador operará de 18 a 20 horas al día.

TABLA 2 — Tabla de Selección por Sección Transversal para Ranuras de Alta Capacidad

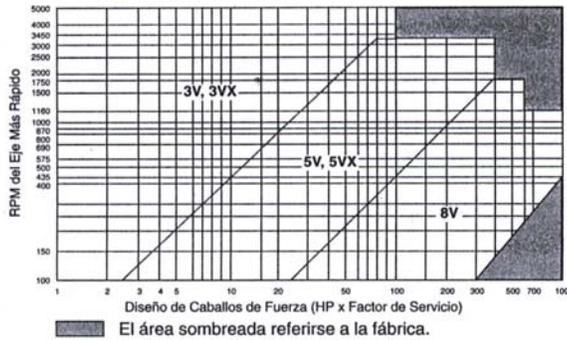


TABLA 3 — Tabla de Selección por Sección Transversal para Ranuras Convencionales



TABLA 4 — Mínimos Diámetros Recomendados en Poleas para Motores Eléctricos

CABALLO DE FUERZA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

*NOTA: Los datos sobre la línea son del National Electrical Manufacturers Association Standard MG 1-3.16 y MG1-3.16a. Los datos debajo de la línea son un compendio de datos de Electrical Motor Manufacturers. Son generalmente conservativos, y los motores y rodamientos específicos pueden permitir el uso de una polea para motor más pequeña. Consulte al fabricante de motores.

PRECAUCION

NO UTILICE LAS POLEAS DE LINEA EN EQUIPOS TALES COMO DESEMBARCADORES, DESBASTADORES DE MADERA, TRITURADORES U OTROS EQUIPOS SUJETOS A CARGAS DE CHOQUE SEVERO. CONSULTE A *Martin* PARA RECOMENDACIONES.

APÉNDICE E

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BANDAS 3V

3V Selección de Transmisión en Existencia



Relación de Velocidad	Combinación de Polea		Velocidades Impulsadas y HP por Banda								Distancia Nominal Entre Centros y Factor de Corrección de la Longitud de Arco						
			3500 RPM Motriz		1750 RPM Motriz		1160 RPM Motriz		870 RPM Motriz		Designación de largo de Banda 3VX						
	Motriz D.E.	Impuls. D.E.	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	250	300	355	400	450	500	560
1.92	3.15	6.00	1824	5.91	912	3.29	604	2.29	453	1.78	—	7.7	10.5	12.7	15.2	17.8	20.8
1.93	2.35	4.50	1809	3.39	904	1.92	600	1.35	450	1.05	7.0	9.6	12.3	14.6	17.1	19.6	22.6
1.95	3.15	6.00	1791	6.63	895	3.63	593	2.53	445	1.95	—	7.1	9.9	12.2	14.7	17.2	20.2
1.95	4.12	8.00	1792	8.81	896	4.91	594	3.41	445	2.63	—	—	8.0	10.3	12.6	15.4	18.4
2.01	5.30	10.60	1742	12.05	871	6.82	577	4.74	433	3.66	—	—	—	9.6	12.2	15.3	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.94	0.97
2.02	2.50	5.00	1732	3.88	866	2.18	574	1.53	431	1.19	6.5	9.0	11.8	14.1	16.6	19.1	22.1
2.02	2.65	5.30	1733	4.36	867	2.44	574	1.71	431	1.33	6.1	8.7	11.4	13.7	16.2	18.7	21.7
2.02	2.80	5.60	1734	4.83	867	2.70	575	1.89	431	1.46	5.7	8.3	11.1	13.3	15.8	18.3	21.3
2.02	3.00	6.00	1735	5.46	868	3.04	575	2.12	431	1.64	—	—	7.8	10.6	12.8	15.4	17.9
2.04	2.35	4.75	1713	3.39	856	1.92	568	1.35	426	1.06	6.8	9.3	12.1	14.4	16.9	19.4	22.4
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96
2.04	6.90	14.00	1719	15.88	859	9.30	570	6.49	427	5.01	—	—	—	—	—	—	—
2.07	2.20	4.50	1691	2.91	846	1.66	560	1.17	420	0.92	7.1	9.7	12.4	14.7	17.2	19.7	20.7
2.08	3.15	6.50	1682	5.93	841	3.30	558	2.30	418	1.78	—	7.2	10.0	12.3	14.8	17.3	20.4
2.08	3.35	6.90	1686	6.54	843	3.63	559	2.53	419	1.96	—	6.7	9.5	11.8	14.3	16.9	19.9
2.13	2.65	5.60	1640	4.36	820	2.44	543	1.71	408	1.33	5.8	8.4	11.2	13.4	16.0	18.5	21.5
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.79	0.84	0.87	0.90	0.92	0.94	0.97
2.13	5.00	10.60	1642	11.27	821	6.35	544	4.41	408	3.40	—	—	—	9.8	12.4	15.5	—
2.14	2.50	5.30	1633	3.88	817	2.18	541	1.53	406	1.19	6.2	8.8	11.5	13.8	16.3	18.8	21.8
2.15	2.35	5.00	1626	3.40	813	1.92	539	1.35	404	1.06	6.6	9.1	11.9	14.2	16.7	19.2	22.2
2.16	2.80	6.00	1618	4.84	809	2.70	536	1.89	402	1.47	—	7.9	10.7	13.0	15.5	18.0	21.0
2.16	6.50	14.00	1618	14.99	809	8.70	536	6.06	402	4.68	—	—	—	—	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.78	0.83	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96
2.19	2.20	4.75	1601	2.91	801	1.66	531	1.18	398	0.92	6.9	9.5	12.2	14.5	17.0	19.5	22.5
2.19	3.00	6.50	1601	5.47	800	3.04	531	2.12	398	1.65	—	7.3	10.1	12.4	14.9	17.5	20.5
2.21	3.15	6.90	1584	5.93	792	3.30	525	2.30	394	1.78	—	6.9	9.7	12.0	14.5	17.0	20.0
2.21	3.65	8.00	1585	7.45	792	4.14	525	2.88	394	2.22	—	—	8.3	10.6	13.2	15.7	18.7
2.24	4.75	10.60	1559	10.60	780	5.95	517	4.13	388	3.19	—	—	—	10.0	12.6	15.7	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96
2.27	2.50	5.60	1545	3.89	773	2.19	512	1.53	384	1.19	5.9	8.5	11.3	13.5	16.1	18.6	21.6
2.28	2.35	5.30	1533	3.40	767	1.93	508	1.36	381	1.06	6.3	8.9	11.6	13.9	16.4	18.9	21.9
2.29	2.65	6.00	1529	4.37	765	2.45	507	1.71	380	1.33	—	8.0	10.8	13.1	15.6	18.1	21.1
2.30	2.20	5.00	1520	2.92	760	1.66	504	1.18	378	0.92	6.7	9.2	12.0	14.3	16.8	19.3	22.3
2.32	3.00	6.90	1507	5.47	754	3.05	500	2.12	375	1.65	—	7.0	9.8	12.1	14.6	17.1	20.1
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.77	0.82	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96
2.34	6.00	14.00	1493	13.83	746	7.93	495	5.52	371	4.26	—	—	—	—	—	—	11.6
2.35	2.80	6.50	1492	4.84	746	2.70	495	1.89	371	1.47	—	7.5	10.3	12.6	15.1	17.6	20.6
2.36	10.60	25.00	+	+	740	14.51	491	10.33	368	8.02	—	—	—	—	—	—	—
2.37	4.50	10.60	1476	9.91	738	5.54	489	3.85	367	2.97	—	—	—	10.2	12.8	15.8	—
2.38	8.00	19.00	+	+	734	10.94	487	7.66	365	5.93	—	—	—	—	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.0	0.80	0.85	0.88	0.91	0.93	0.96
2.41	2.35	5.60	1450	3.41	725	1.93	481	1.36	361	1.06	6.0	8.6	11.4	13.7	16.2	18.7	21.7
2.41	3.35	8.00	1453	6.55	726	3.64	482	2.53	361	1.96	—	—	8.5	10.8	13.4	15.9	18.9
2.43	2.50	6.00	1441	3.89	721	2.19	478	1.54	358	1.20	—	8.1	10.9	13.2	15.7	18.2	21.3
2.44	2.20	5.30	1433	2.92	717	1.67	475	1.18	356	0.92	6.4	9.0	11.8	14.0	16.5	19.0	22.0
2.46	2.65	6.50	1411	4.37	705	2.45	468	1.71	351	1.33	—	7.6	10.4	12.7	15.2	17.7	20.7
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.76	0.82	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96
2.49	2.80	6.90	1405	4.85	703	2.71	466	1.89	349	1.47	—	7.1	9.9	12.2	14.7	17.3	20.3
2.51	5.60	14.00	1392	12.84	696	7.31	462	5.08	346	3.92	—	—	—	—	—	—	11.9
2.56	3.15	8.00	1365	5.94	682	3.30	452	2.30	339	1.78	—	—	8.7	11.0	13.5	16.1	19.1
2.58	2.20	5.60	1356	2.92	678	1.67	449	1.18	337	0.92	6.1	8.7	11.5	13.8	16.3	18.8	21.8
2.59	2.35	6.00	1353	3.41	676	1.93	448	1.36	336	1.06	5.6	8.2	11.0	13.3	15.8	18.4	21.4
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.76	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.96
2.59	4.12	10.60	1350	8.84	675	4.92	448	3.42	336	2.64	—	—	—	—	10.4	13.0	16.1
2.63	2.50	6.50	1329	3.90	665	2.19	441	1.54	330	1.20	—	7.7	10.5	12.8	15.3	17.8	20.8
2.63	2.65	6.90	1328	4.38	664	2.45	440	1.72	330	1.33	—	7.2	10.0	12.3	14.8	17.4	20.4
2.66	5.30	14.00	1317	12.08	659	6.83	437	4.75	327	3.66	—	—	—	—	—	—	12.1
2.69	3.00	8.00	1299	5.48	649	3.05	430	2.13	323	1.65	—	—	8.8	11.1	13.6	16.2	19.2
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO											0.0	0.80	0.85	0.88	0.91	0.93	0.96

3VX = LOS VALORES DE LAS BANDAS V DENTADAS/RANURADAS ESTÁN DADOS SOLAMENTE PARA 3VX DEBIDO A LAS TENDENCIAS DE LA INDUSTRIA EN GENERAL.

+ SI LA VELOCIDAD DE CORONA EXCEDE A LOS 6500 PIES POR MINUTO, CONSULTE A *Martin*

APÉNDICE F

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BANDAS 5V

5V

Selección de Transmisión en Existencia

Relación de Velocidad	Combinación de Polea		Velocidades Impulsadas y HP por Banda												Distancia Nominal Entre Centros y Factor de Corrección de la Longitud de Arco		
			1750 RPM Motriz			1160 RPM Motriz			870 RPM Motriz			690 RPM Motriz			Designación de largo de Banda 5V/SVX		
			Impuls. RPM	HP por Banda SV	HP por Banda SVX	Impuls. RPM	HP por Banda SV	HP por Banda SVX	Impuls. RPM	HP por Banda SV	HP por Banda SVX	Impuls. RPM	HP por Banda SV	HP por Banda SVX			
1.93	9.75	18.70	908	27.66	32.89	602	20.32	23.32	451	16.00	18.11	358	13.10	14.72	—	—	—
1.95	4.40	8.50	896	5.80	9.69	594	4.35	6.87	445	3.50	5.37	353	2.93	4.39	14.7	19.8	25.3
1.95	10.90	21.20	896	11.62	17.12	594	7.34	10.65	445	10.53	20.73	353	15.19	16.86	—	—	—
1.96	4.65	9.00	895	6.93	10.86	593	5.15	7.67	445	4.12	5.99	353	3.42	4.89	14.1	19.2	24.7
1.97	16.00	31.50	+	+	+	587	36.09	40.47	441	29.08	31.85	349	24.04	26.03	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
1.98	6.70	13.20	882	15.85	20.12	584	11.48	14.14	438	9.03	10.97	348	7.41	8.92	—	—	—
1.99	7.10	14.00	881	17.50	21.87	584	12.68	15.38	438	9.97	11.93	347	8.17	9.69	—	—	—
2.00	5.20	10.30	875	9.40	13.40	580	6.88	9.44	435	5.46	7.34	345	4.51	5.99	12.6	14.1	15.6
2.00	5.50	10.90	875	10.72	14.77	580	7.81	10.39	435	6.18	8.07	345	5.09	6.58	11.8	13.3	14.9
2.00	6.30	12.50	875	14.17	18.36	580	10.27	12.90	435	8.09	10.01	345	6.64	8.14	—	—	12.9
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.01	4.65	9.25	870	6.95	10.86	577	5.15	7.68	433	4.12	5.99	343	3.43	4.89	13.9	15.4	16.9
2.01	4.90	9.75	870	8.07	12.02	577	5.94	8.48	433	4.73	6.61	343	3.92	5.39	13.3	14.8	16.3
2.01	7.50	15.00	869	19.13	23.60	576	13.87	16.60	432	10.90	12.88	343	8.93	10.46	—	—	—
2.01	8.00	16.00	869	21.12	25.73	576	15.34	18.12	432	12.05	14.06	343	9.87	11.42	—	—	—
2.01	11.80	23.60	871	34.51	40.73	578	25.88	29.21	433	20.48	22.76	344	16.80	18.52	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.01	14.00	28.00	872	40.66	48.36	578	31.43	35.25	433	25.09	27.59	344	20.65	22.49	—	—	—
2.02	5.90	11.80	868	12.46	16.58	575	9.05	11.65	431	7.14	9.05	342	5.87	7.36	—	12.2	13.8
2.03	9.25	18.70	861	25.88	30.90	571	18.93	21.86	428	14.89	16.97	339	12.19	13.79	—	—	—
2.07	4.40	9.00	846	5.82	9.71	560	4.37	6.88	420	3.52	5.38	333	2.94	4.40	14.3	15.8	17.3
2.07	5.50	11.30	844	10.74	14.78	559	7.82	10.40	419	6.19	8.08	333	5.10	6.58	11.4	13.0	14.5
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.07	10.30	21.20	846	29.62	35.08	561	21.86	24.94	421	17.23	19.38	334	14.12	15.75	—	—	—
2.09	9.00	18.70	837	24.96	29.89	555	18.23	21.13	416	14.33	16.40	330	11.74	13.32	—	—	—
2.10	11.30	23.60	834	32.95	38.90	553	24.57	27.81	415	19.41	21.65	329	15.92	17.60	—	—	—
2.11	6.30	13.20	828	14.19	18.38	549	10.28	12.91	412	8.10	10.02	327	6.65	8.15	—	—	12.2
2.11	6.70	14.00	831	15.87	20.14	551	11.49	14.15	413	9.04	10.98	328	7.42	8.93	—	—	—
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.11	15.00	31.50	+	+	+	550	33.83	37.91	413	27.12	29.75	327	22.37	24.28	—	—	—
2.12	4.65	9.75	825	6.97	10.88	547	5.17	7.69	410	4.13	6.00	325	3.44	4.90	13.4	15.0	16.5
2.12	4.90	10.30	824	8.09	12.04	546	5.95	8.49	409	4.74	6.61	325	3.93	5.40	12.8	14.3	15.8
2.12	5.20	10.90	826	9.42	13.42	548	6.89	9.45	411	5.47	7.35	326	4.52	5.99	12.0	13.6	15.1
2.13	4.40	9.25	822	5.83	9.72	545	4.37	6.88	409	3.52	5.38	324	2.94	4.40	14.1	15.6	17.1
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.13	7.10	15.00	822	17.53	21.89	545	12.69	15.39	409	9.98	11.94	324	8.18	9.70	—	—	—
2.13	13.20	28.00	822	38.60	45.70	545	29.48	33.10	408	23.45	25.86	324	19.28	21.06	—	—	—
2.14	5.90	12.50	819	12.49	16.59	543	9.06	11.66	407	7.15	9.06	323	5.88	7.37	—	11.6	13.1
2.15	7.50	16.00	814	19.16	23.62	540	13.88	16.62	405	10.91	12.89	321	8.94	10.47	—	—	—
2.17	5.50	11.80	808	10.75	14.79	535	7.83	10.40	402	6.19	8.09	318	5.11	6.59	11.0	12.5	14.1
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.18	10.90	23.60	804	31.66	37.40	533	23.50	26.67	400	18.55	20.75	317	15.21	16.87	—	—	—
2.19	9.75	21.20	800	27.71	32.93	531	20.35	23.34	398	16.02	18.13	316	13.12	14.73	—	—	—
2.20	5.20	11.30	797	9.44	13.43	528	6.90	9.45	396	5.47	7.36	314	4.52	6.00	11.6	13.2	14.7
2.21	8.50	18.70	790	23.09	27.85	524	26.81	19.64	393	13.21	15.24	312	10.82	12.38	—	—	—
2.24	4.40	9.75	780	5.85	9.73	517	4.38	6.89	388	3.53	5.39	307	2.95	4.41	13.6	15.2	16.7
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.24	4.65	10.30	781	6.98	10.89	517	5.18	7.70	388	4.14	6.00	308	3.44	4.91	13.0	14.5	16.0
2.24	6.30	14.00	781	14.21	18.39	517	10.29	12.92	388	8.11	10.03	308	6.66	8.16	—	—	—
2.25	4.90	10.90	778	8.11	12.05	516	5.97	8.50	387	4.75	6.62	307	3.94	5.40	12.2	13.8	15.3
2.25	12.50	28.00	778	36.65	43.28	516	27.72	31.19	387	21.99	24.33	307	18.06	19.80	—	—	—
2.26	5.90	13.20	775	12.50	16.61	514	9.07	11.67	385	7.16	9.06	305	5.89	7.38	—	—	12.5
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	
2.26	6.70	15.00	775	15.89	20.16	514	11.51	14.16	385	9.05	10.99	306	7.42	8.93	—	—	—
2.26	14.00	31.50	775	40.70	48.39	514	31.46	35.27	385	25.11	27.61	305	20.67	22.51	—	—	—
2.27	7.10	16.00	770	17.55	21.91	511	12.71	15.40	383	9.99	11.94	304	8.19	9.71	—	—	—
2.29	5.20	11.80	763	9.45	13.43	506	6.91	9.46	379	5.48	7.36	301	4.53	6.00	11.2	12.7	14.3
2.30	5.50	12.50	762	10.77	14.80	505	7.84	10.41	379	6.20	8.09	300	5.11	6.59	—	11.8	13.4
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA LONGITUD DE ARCO																	

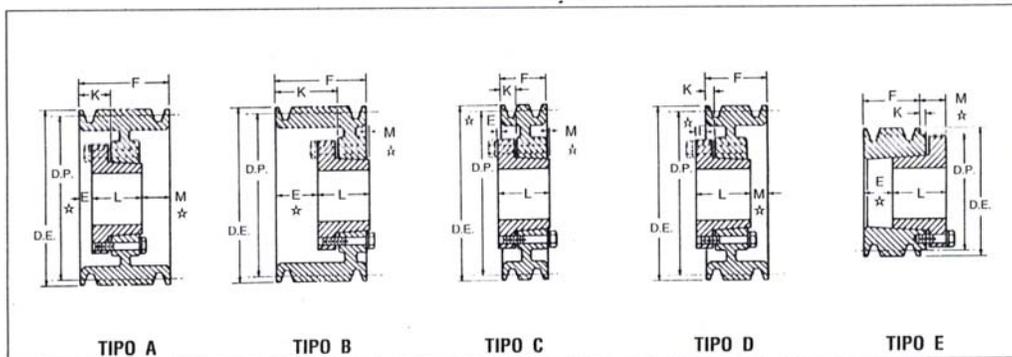
5V = BANDA-V ESTÁNDAR
 5VX = BANDA-V DENTADA/RANURADA
 + SI LA VELOCIDAD DE CORONA EXCEDE A LOS 6500 PIES POR MINUTO, CONSULTE A

APÉNDICE G

POLEAS DE ALTA CAPACIDAD PARA BANDAS 3V

3V

Poleas QD de Alta Capacidad
"Hi-Cap" en Existencia



Las dimensiones para las poleas *Martin* se encuentran enlistadas en las siguientes tablas con sus correspondientes bujes QD. El tipo de polea mostrada a continuación se indica con una letra, y la construcción se indica con un número, como se muestra en la siguiente página.

Dimensiones en pulgadas, peso en libras

1 Ranura*										2 Ranuras									
F = 1/16"										F = 1/32"									
No. de Parte	DE	DP Banda 3V	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	K	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje	No. de Parte	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	K	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje
1 3V 220 JA	2.20	2.15	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	.7	2 3V 220 JA	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	.9
1 3V 235 JA	2.35	2.30	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	.8	2 3V 235 JA	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.0
1 3V 250 JA	2.50	2.45	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	.8	2 3V 250 JA	E-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.2
1 3V 265 JA	2.65	2.60	C-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	0	.9	2 3V 265 JA	D-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.3
1 3V 280 JA	2.80	2.75	C-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	0	.9	2 3V 280 JA	D-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.4
1 3V 300 JA	3.00	2.95	C-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	0	1.0	2 3V 300 JA	D-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.6
1 3V 315 JA	3.15	3.10	C-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	0	1.0	2 3V 315 JA	D-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	1.8
1 3V 335 JA	3.35	3.30	C-1	JA	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	0	1.1	2 3V 335 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	2.0
1 3V 365 SH	3.65	3.60	D-1	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	1.3	2 3V 365 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	2.4
1 3V 412 SH	4.12	4.07	D-1	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	1.7	2 3V 412 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	2.7
1 3V 450 SH	4.50	4.45	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	2.1	2 3V 450 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	2.9
1 3V 475 SH	4.75	4.70	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	2.5	2 3V 475 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	3.1
1 3V 500 SH	5.00	4.95	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	2.8	2 3V 500 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	3.6
1 3V 530 SH	5.30	5.25	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	3.2	2 3V 530 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	4.5
1 3V 560 SH	5.60	5.55	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	3.2	2 3V 560 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	5.0
1 3V 600 SH	6.00	5.95	D-2	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	3.5	2 3V 600 SH	D-1	SH	1 1/4	3/8	3/8	1 1/4	3/8	5.5
1 3V 650 SH	6.50	6.45	D-3	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	3.9	2 3V 650 SDS	D-3	SDS	2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	5.8
1 3V 690 SH	6.90	6.85	D-3	SH	1 1/4	3/8	0	1 1/4	3/8	4.5	2 3V 690 SDS	D-3	SDS	2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	6.6
1 3V 800 SDS	8.00	7.95	C-3	SDS	2	3/8	0	1 1/4	0	5.5	2 3V 800 SDS	D-3	SDS	2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	7.0
1 3V 1060 SDS	10.60	10.55	C-3	SDS	2	3/8	0	1 1/4	0	8.0	2 3V 1060 SK	C-3	SK	2 1/2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	10.0
1 3V 1400 SK	14.00	13.95	C-3	SK	2 1/2	3/8	0	1 1/4	0	13.5	2 3V 1400 SK	C-3	SK	2 1/2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	16.0
1 3V 1900 SK	19.00	18.95	C-3	SK	2 1/2	3/8	0	1 1/4	0	17.0	2 3V 1900 SK	C-3	SK	2 1/2	3/8	3/8	1 1/4	3/8	25.0
	25.00	24.95									2 3V 2500 SF	C-3	SF	2 1/2	3/8	3/8	2 1/4	3/8	28.0

* F = 3/8" para 1 3V 800 SDS y 1 3V 1060 SDS, F = 3/4" para 1 3V 1400 SK y 1 3V 1900 SK

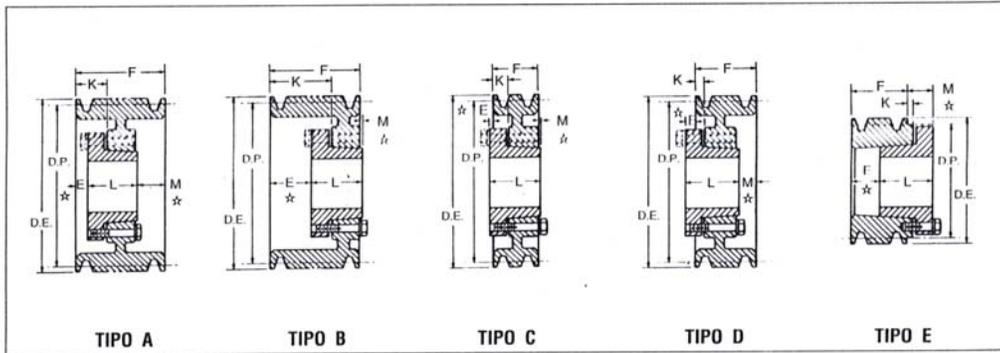
★ Las dimensiones E y M son nominales y variarán dependiendo de la tolerancia de la eje. Las poleas tipo E están barrenadas solamente para montaje reversible.

APÉNDICE H

POLEAS DE ALTA CAPACIDAD PARA BANDAS 5V

5V

Poleas QD de Alta Capacidad
"Hi-Cap" en Existencia



Dimensiones en pulgadas, peso en libras

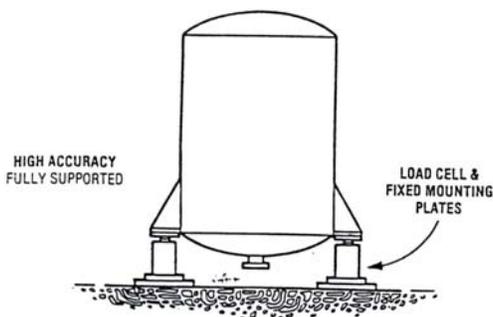
4 Ranuras											5 Ranuras										
F = 3/16											F = 3/8										
No. de Parte	DE	DP	Banda 5V	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	K	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje	No. de Parte	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	K	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje	
4 5V 440 SD	4.40	4.30	E-1	SD	2	1 1/4	0	1 1/4	1/2	5.0	5 5V 440 SD	E-1	SD	2	2 1/4	0	1 1/4	1/2	6.0	5.0	
4 5V 465 SD	4.65	4.55	E-1	SD	2	1 1/4	0	1 1/4	1/2	6.0	5 5V 465 SD	E-1	SD	2	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	7.0	6.0	
4 5V 490 SD	4.90	4.80	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	7.0	5 5V 490 SD	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	8.0	7.0	
4 5V 520 SD	5.20	5.10	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	8.0	5 5V 520 SD	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	9.0	8.0	
4 5V 550 SD	5.50	5.40	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	9.0	5 5V 550 SD	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	10.0	9.0	
4 5V 590 SD	5.90	5.80	A-1	SD	2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	10.8	5 5V 590 SK	A-1	SK	2 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	11.0	10.8	
4 5V 630 SK	6.30	6.20	A-1	SK	2 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	12.0	5 5V 630 SK	A-1	SK	2 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	12.0	12.0	
4 5V 670 SK	6.70	6.60	A-1	SK	2 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1/2	14.0	5 5V 670 SF	A-1	SF	2 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	13.0	14.0	
4 5V 710 SF	7.10	7.00	A-1	SF	2 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	15.0	5 5V 710 SF	A-1	SF	2 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	14.0	15.0	
4 5V 750 SF	7.50	7.40	A-1	SF	2 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	16.0	5 5V 750 SF	A-1	SF	2 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	16.0	16.0	
4 5V 800 E	8.00	7.90	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	19.0	5 5V 800 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	19.0	19.0	
4 5V 850 E	8.50	8.40	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	23.0	5 5V 850 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	22.0	23.0	
4 5V 900 E	9.00	8.90	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	25.0	5 5V 900 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	26.0	25.0	
4 5V 925 E	9.25	9.15	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	26.0	5 5V 925 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	28.0	26.0	
4 5V 975 E	9.75	9.65	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	28.0	5 5V 975 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	30.0	28.0	
4 5V 1030 E	10.30	10.20	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	30.0	5 5V 1030 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	33.0	30.0	
4 5V 1090 E	10.90	10.80	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	39.0	5 5V 1090 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	41.0	39.0	
4 5V 1130 E	11.30	11.20	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	40.0	5 5V 1130 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	42.0	40.0	
4 5V 1180 E	11.80	11.70	B-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	41.0	5 5V 1180 E	A-1	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	44.0	41.0	
4 5V 1250 E	12.50	12.40	B-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	43.0	5 5V 1250 E	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	45.0	43.0	
4 5V 1320 E	13.20	13.10	B-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	45.0	5 5V 1320 E	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	46.0	45.0	
4 5V 1400 E	14.00	13.90	B-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	46.0	5 5V 1400 E	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	47.0	46.0	
4 5V 1500 E	15.00	14.90	B-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	47.0	5 5V 1500 E	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	53.0	47.0	
4 5V 1600 E	16.00	15.90	B-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	49.0	5 5V 1600 E	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1 1/4	56.0	49.0	
4 5V 1870 E	18.70	18.60	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	71.0	5 5V 1870 F	B-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1 1/4	96.0	71.0	
4 5V 2120 E	21.20	21.10	A-3	E	3 1/2	1 1/4	1 1/4	2 1/4	1/2	72.0	5 5V 2120 F	B-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1 1/4	98.0	72.0	
4 5V 2360 F	23.60	23.50	C-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1/2	111.0	5 5V 2360 F	B-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1 1/4	120.0	111.0	
4 5V 2800 F	28.00	27.90	C-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1/2	118.0	5 5V 2800 F	B-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1 1/4	135.0	118.0	
4 5V 3150 F	31.50	31.40	C-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1/2	146.7	5 5V 3150 J	C-3	J	4 1/2	1 1/4	1 1/4	4 1/2	1 1/4	188.0	146.7	
4 5V 3750 F	37.50	37.40	C-3	F	3 1/2	1 1/4	1 1/4	3 1/4	1/2	178.0	5 5V 3750 J	C-3	J	4 1/2	1 1/4	1 1/4	4 1/2	1 1/4	224.0	178.0	
4 5V 5000 J	50.00	49.90	C-3	J	4 1/2	1 1/4	1 1/4	4 1/2	1/2	266.0	5 5V 5000 J	C-3	J	4 1/2	1 1/4	1 1/4	4 1/2	1 1/4	308.0	266.0	

* Las dimensiones E y M son nominales y variarán dependiendo de las tolerancias de los ejes. Las poleas tipo E están barrenadas solamente para montaje reversible.

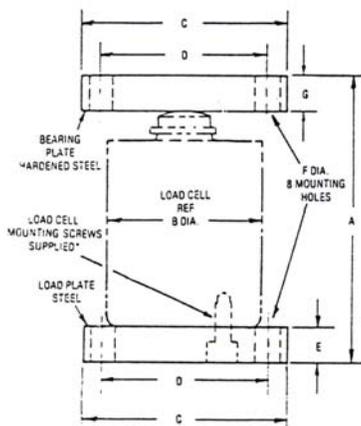
APÉNDICE I

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CELDAS DE CARGA

FIXED MOUNTING PLATES

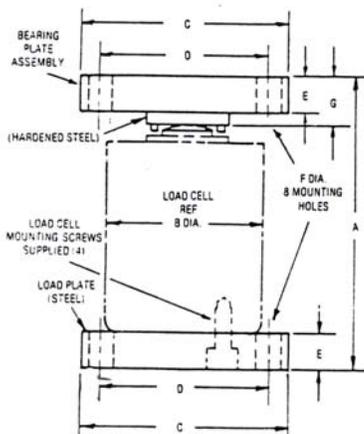


FIXED MOUNTING PLATES comprise the standard mounting kit when the vessel and support structure are both at ambient temperature and are of the same material. This kit contains a hardened steel "bearing plate", a steel "load plate" and the appropriate load cell mounting screw(s).



CAPACITY KGS (LBS)	A	B	C	D	E	F	G	CATALOG NUMBER
LOAD CELL TYPE C3P & U3G								
227 - 1361 (500 - 3000)	157.16 (6.188)	88.90 (3.500)	101.60 (4.000)	76.20 (3.000)	15.88 (.625)	9.52 (.375)	15.88 (.625)	251945
2268 - 4536 (5000 - 10000)	211.14 (8.313)	88.90 (3.500)	127.00 (5.000)	101.60 (4.000)	22.22 (.875)	11.11 (.438)	22.22 (.875)	204795
LOAD CELL TYPE C2P								
9072 - 22680 (20000 - 50000)	247.65 (9.750)	114.30 (4.500)	152.40 (6.000)	127.00 (5.000)	28.58 (1.125)	14.29 (.563)	28.58 (1.125)	204797
45359 (100000)	317.50 (12.500)	152.40 (6.000)	203.20 (8.000)	152.40 (6.000)	38.10 (1.500)	17.46 (.688)	47.62 (1.875)	204798
90718 (200000)	423.86 (16.688)	203.20 (8.000)	254.00 (10.000)	203.20 (8.000)	61.91 (2.438)	17.46 (.688)	66.68 (2.625)	206468

*1 SUPPLIED WITH LOAD CELL TYPE C3P & U3G. 4 WITH TYPE C2P



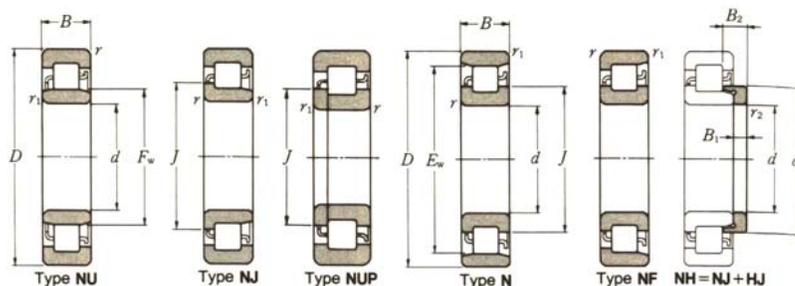
CAPACITY KGS (LBS)	A	B	C	D	E	F	G	CATALOG NUMBER
LOAD CELL TYPE C2P								
136078 (300000)	501.65 (19.750)	254.00 (10.000)	304.80 (12.000)	254.00 (10.000)	65.09 (2.563)	26.99 (1.063)	80.96 (3.188)	258619
226796 (500000)	523.88 (20.625)	203.20 (8.000)	304.80 (12.000)	254.00 (10.000)	74.61 (2.938)	26.99 (1.063)	93.66 (3.688)	258620

APÉNDICE J

RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS

Cylindrical Roller Bearings

Single row type



d 55~70mm

Boundary dimensions mm					Basic load ratings ¹⁾ N lbf		Limiting speeds ²⁾ r/min		Bearing numbers					Dimensions mm		
d	D	B	r ₂ min	r _{1s} min	dynamic C _r	static C _{0r}	grease	oil	NU	NJ	NUP	N	NF	F _w	E _w	J
55	100	25	1.5	1.1	79 000	93 000	6 300	7 400	NU2211	NJ	NUP	N	—	66.5	88.5	70.8
	100	25	1.5	1.1	17 800	20 800	5 600	6 600	NU2211E	NJ	NUP	—	—	66	—	70.8
	120	29	2	2	97 000	114 000	5 900	7 000	NU 311	NJ	NUP	N	NF	70.5	104.5	77.2
	120	29	2	2	111 000	111 000	5 300	6 300	NU 311E	NJ	NUP	—	—	70.5	—	77.7
	120	43	2	2	137 000	143 000	5 200	6 100	NU2311	NJ	NUP	N	—	70.5	104.5	77.2
	120	43	2	2	148 000	162 000	4 700	5 600	NU2311E	NJ	NUP	—	—	70.5	—	77.7
	140	33	2.1	2.1	201 000	233 000	4 300	5 000	NU 411	NJ	NUP	N	NF	77.2	117.2	85.2
60	95	18	1.1	1	139 000	139 000	7 500	8 800	NU1012	NJ	NUP	N	—	69.5	85.5	72.7
	110	22	1.5	1.5	31 500	31 500	6 400	7 600	NU 212	NJ	NUP	N	NF	73.5	97.5	78.4
	110	22	1.5	1.5	72 000	80 000	5 800	6 800	NU 212E	NJ	NUP	—	—	72	—	77.6
	110	28	1.5	1.5	101 000	123 000	5 800	6 800	NU2212	NJ	NUP	N	—	73.5	97.5	78.4
	110	28	1.5	1.5	131 000	157 000	5 200	6 100	NU2212E	NJ	NUP	—	—	72	—	77.6
	130	31	2.1	2.1	29 500	29 500	5 500	6 500	NU 312	NJ	NUP	N	NF	77	113	84.2
	130	31	2.1	2.1	124 000	128 000	4 900	5 800	NU 312E	NJ	NUP	—	—	77	—	84.6
	130	46	2.1	2.1	150 000	157 000	4 800	5 700	NU2312	NJ	NUP	N	—	77	113	84.2
	130	46	2.1	2.1	169 000	188 000	4 400	5 200	NU2312E	NJ	NUP	—	—	77	—	84.6
	150	35	2.1	2.1	222 000	262 000	3 900	4 600	NU 412	NJ	NUP	N	NF	83	127	91.8
65	100	18	1.1	1	167 000	168 000	7 000	8 200	NU1013	NJ	NUP	N	—	74.5	90.5	77.7
	120	23	1.5	1.5	37 500	37 500	5 900	7 000	NU 213	NJ	NUP	N	NF	79.6	105.6	84.8
	120	23	1.5	1.5	84 000	94 500	5 400	6 300	NU 213E	NJ	NUP	—	—	78.5	—	84.5
	120	31	1.5	1.5	108 000	119 000	5 400	6 300	NU2213	NJ	NUP	N	—	79.6	105.6	84.8
	120	31	1.5	1.5	120 000	149 000	4 800	5 600	NU2213E	NJ	NUP	—	—	78.5	—	84.5
	140	33	2.1	2.1	27 000	27 000	5 100	6 000	NU 313	NJ	NUP	N	NF	83.5	121.5	91
	140	33	2.1	2.1	149 000	181 000	4 600	5 400	NU 313E	NJ	NUP	—	—	82.5	—	91
	140	48	2.1	2.1	181 000	191 000	4 400	5 200	NU2313	NJ	NUP	N	—	83.5	121.5	91
	140	48	2.1	2.1	40 500	43 000	4 100	4 800	NU2313E	NJ	NUP	—	—	82.5	—	91
	160	37	2.1	2.1	188 000	212 000	3 600	4 300	NU 413	NJ	NUP	N	NF	89.3	135.3	98.5
70	110	20	1.1	1	195 000	203 000	6 500	7 600	NU1014	NJ	NUP	N	—	80	100	84
	125	24	1.5	1.5	44 000	45 500	5 500	6 500	NU 214	NJ	NUP	N	NF	84.5	110.5	89.6
	125	24	1.5	1.5	97 500	101 000	5 000	5 900	NU 214E	NJ	NUP	—	—	83.5	—	89.5
	125	31	1.5	1.5	119 000	137 000	5 000	5 900	NU2214	NJ	NUP	N	—	84.5	110.5	89.6
	125	31	1.5	1.5	125 000	160 000	4 500	5 200	NU2214E	NJ	NUP	—	—	83.5	—	89.5
	150	35	2.1	2.1	28 100	36 000	4 700	5 500	NU 314	NJ	NUP	N	NF	90	130	98
	150	35	2.1	2.1	156 000	168 000	4 200	5 000	NU 314E	NJ	NUP	—	—	89	—	98
	150	51	2.1	2.1	188 000	222 000	4 100	4 800	NU2314	NJ	NUP	N	—	90	130	98
	150	51	2.1	2.1	35 500	50 000	3 800	4 400	NU2314E	NJ	NUP	—	—	89	—	98
	150	51	2.1	2.1	158 000	188 000	3 800	4 400	NU2314E	NJ	NUP	—	—	89	—	98

1) The above figures change according to cage type and types of bearing.

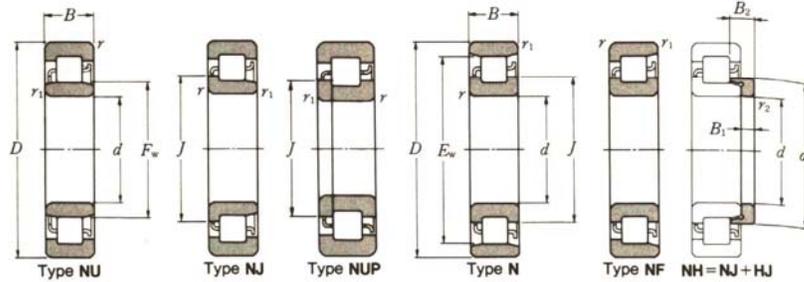
2) Applies to bearings with machined cage. For pressed cage, it is reduced to 80% of these values.

APÉNDICE J (Continuación)

RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS

Cylindrical Roller Bearings

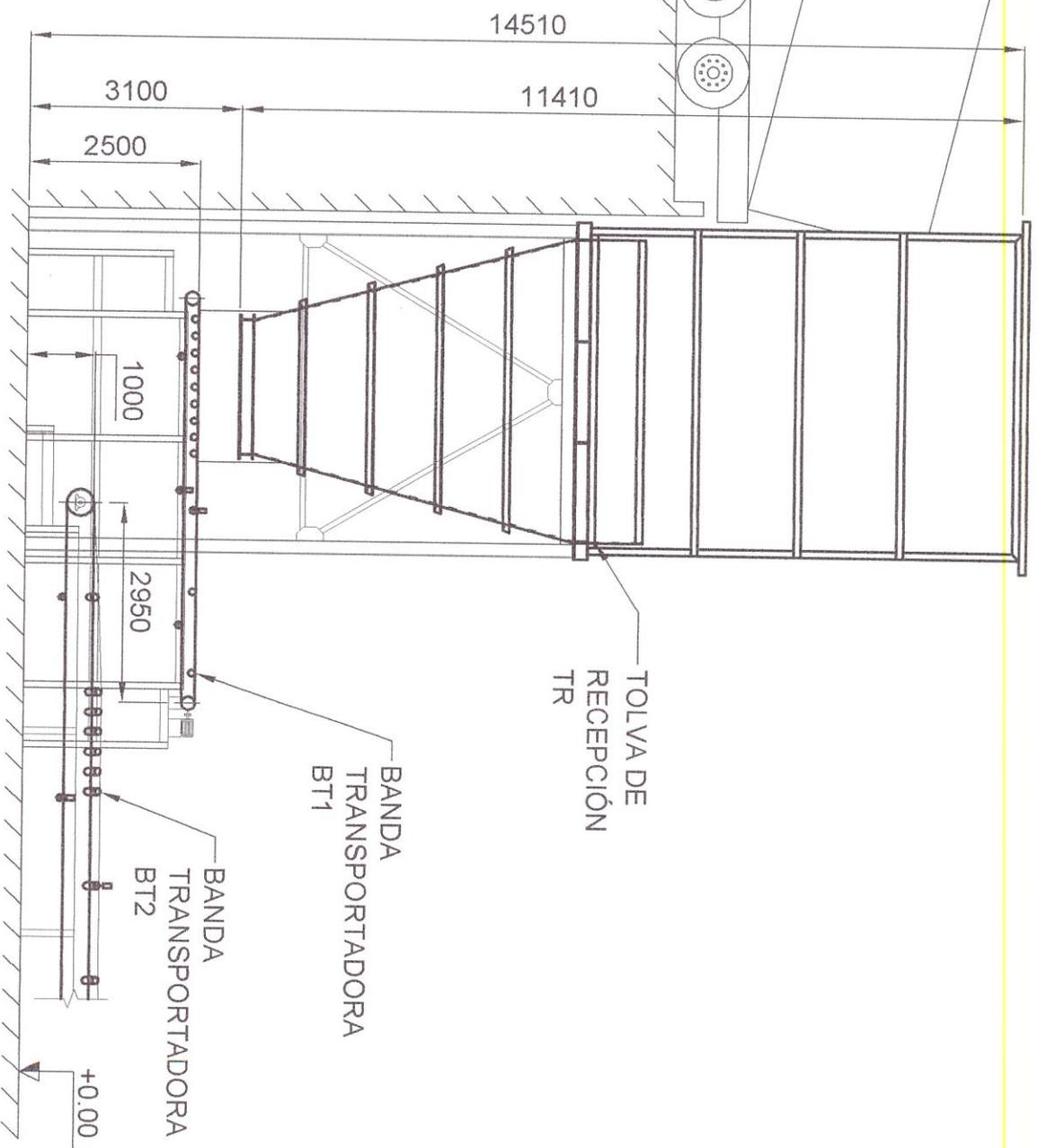
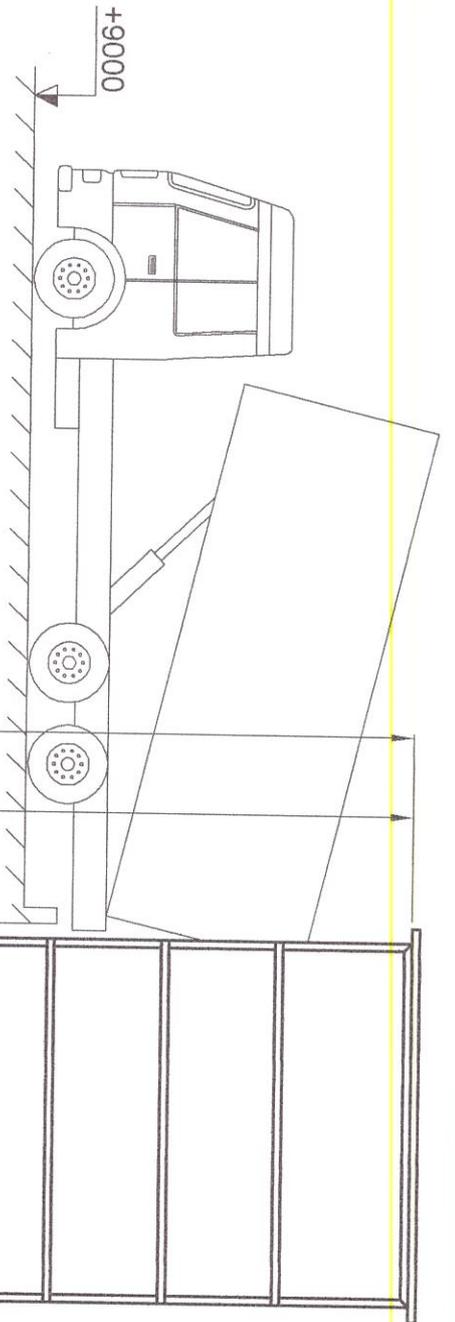
Single row type



d 90~110mm

d	Boundary dimensions mm					Basic load ratings ¹⁾ N lbf		Limiting speeds ²⁾ r/min		Bearing numbers					Dimensions mm		
	D	B	r _{s min}	r _{1s min}	r _{1s min}	dynamic C _r	static C _{or}	grease	oil	NU	NJ	NUP	N	NF	F _w	E _w	J
90	160	40	2	2	2	242 000 54 500	315 000 70 500	3 500	4 100	NU2218E	NJ	NUP	-	-	107	-	114.6
	190	43	3	3	3	240 000 54 000	285 000 59 500	3 700	4 300	NU 318	NJ	NUP	N	NF	115	165	125
	190	43	3	3	3	315 000 71 000	395 000 88 500	3 300	3 900	NU 318E	NJ	NUP	-	-	113.5	-	124.7
	190	64	3	3	3	325 000 73 500	385 000 85 500	3 200	3 800	NU2318	NJ	NUP	N	-	115	165	125
	190	64	3	3	3	435 000 98 000	535 000 120 000	2 900	3 400	NU2318E	NJ	NUP	-	-	113.5	-	124.7
	225	54	4	4	4	375 000 84 000	460 000 102 000	2 600	3 100	NU 418	NJ	NUP	N	NF	123.5	191.5	137
95	145	24	1.5	1.1	1.1	90 500 20 400	120 000 27 000	4 800	5 600	NU1019	NJ	NUP	N	-	108	132	112.8
	170	32	2.1	2.1	2.1	185 000 37 000	185 000 41 000	4 000	4 700	NU 219	NJ	NUP	N	NF	113.5	151.5	121
	170	32	2.1	2.1	2.1	220 000 49 500	285 000 59 500	3 600	4 300	NU 219E	NJ	NUP	-	-	112.5	-	121
	170	43	2.1	2.1	2.1	230 000 52 000	295 000 67 000	3 600	4 300	NU2219	NJ	NUP	N	-	113.5	151.5	121
	170	43	2.1	2.1	2.1	285 000 64 500	370 000 83 500	3 300	3 800	NU2219E	NJ	NUP	N	-	112.5	-	121
	200	45	3	3	3	274 000 61 500	310 000 70 000	3 400	4 000	NU 319	NJ	NUP	N	NF	121.5	173.5	132
	200	45	3	3	3	395 000 89 000	385 000 85 500	3 100	3 600	NU 319E	NJ	NUP	-	-	121.5	-	132.7
	200	67	3	3	3	385 000 85 500	495 000 111 000	3 000	3 500	NU2319	NJ	NUP	N	-	121.5	173.5	132
	200	67	3	3	3	460 000 104 000	565 000 131 000	2 700	3 200	NU2319E	NJ	NUP	-	-	121.5	-	132.7
240	55	4	4	4	490 000 110 000	485 000 108 000	2 500	2 900	NU 419	NJ	NUP	N	NF	133.5	201.5	147	
100	150	24	1.5	1.1	1.1	93 000 20 900	126 000 28 300	4 600	5 400	NU1020	NJ	NUP	N	-	113	137	117.8
	180	34	2.1	2.1	2.1	183 000 41 000	217 000 48 000	3 800	4 500	NU 220	NJ	NUP	N	NF	120	160	128
	180	34	2.1	2.1	2.1	249 000 56 000	305 000 68 500	3 500	4 100	NU 220E	NJ	NUP	-	-	119	-	128
	180	46	2.1	2.1	2.1	258 000 58 000	340 000 76 000	3 500	4 100	NU2220	NJ	NUP	N	-	120	160	128
	180	46	2.1	2.1	2.1	335 000 75 000	445 000 100 000	3 100	3 600	NU2220E	NJ	NUP	N	-	119	-	128
	215	47	3	3	3	315 000 71 000	365 000 81 500	3 300	3 800	NU 320	NJ	NUP	N	NF	129.5	185.5	140.5
	215	47	3	3	3	360 000 80 000	420 000 93 500	2 900	3 500	NU 320E	NJ	NUP	-	-	127.5	-	140.3
	215	73	3	3	3	460 000 104 000	590 000 133 000	2 900	3 400	NU2320	NJ	NUP	N	-	129.5	185.5	140.5
	215	73	3	3	3	570 000 128 000	715 000 161 000	2 600	3 100	NU2320E	NJ	NUP	-	-	127.5	-	140.3
250	58	4	4	4	445 000 101 000	495 000 110 000	2 300	2 800	NU 420	NJ	NUP	N	NF	139	211	153.5	
105	160	26	2	1.1	1.1	105 000 23 700	142 000 32 000	4 300	5 100	NU1021	NJ	NUP	N	-	119.5	145.5	124.7
	190	36	2.1	2.1	2.1	201 000 45 000	241 000 54 000	3 600	4 300	NU 221	NJ	NUP	N	NF	126.8	168.8	135
	225	49	3	3	3	360 000 81 000	415 000 94 000	3 100	3 700	NU 321	NJ	NUP	N	NF	135	195	147
	260	60	4	4	4	495 000 112 000	565 000 125 000	2 200	2 600	NU 421	NJ	NUP	N	NF	144.5	220.5	159.5
110	170	28	2	1.1	1.1	131 000 29 500	174 000 39 000	4 100	4 800	NU1022	NJ	NUP	N	-	125	155	131
	200	38	2.1	2.1	2.1	240 000 52 000	290 000 64 000	3 400	4 000	NU 222	NJ	NUP	N	NF	132.5	178.5	141.5
	200	38	2.1	2.1	2.1	293 000 66 000	365 000 82 000	3 100	3 700	NU 222E	NJ	NUP	-	-	132.5	-	142.1
	200	53	2.1	2.1	2.1	335 000 75 000	440 000 99 500	3 100	3 700	NU2222	NJ	NUP	N	-	132.5	178.5	141.5
	200	53	2.1	2.1	2.1	385 000 86 500	515 000 115 000	2 800	3 300	NU2222E	NJ	NUP	N	-	132.5	-	142.1

1) The above figures change according to cage type and types of bearing.
2) Applies to bearings with machined cage. For pressed cage, it is reduced to 80% of these values.



TOLVA DE RECEPCIÓN TR

BANDA TRANSPORTADORA BT1

BANDA TRANSPORTADORA BT2



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

**IMPLANTACIÓN GENERAL
CORTE A - A'**

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Escala:

1:100

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

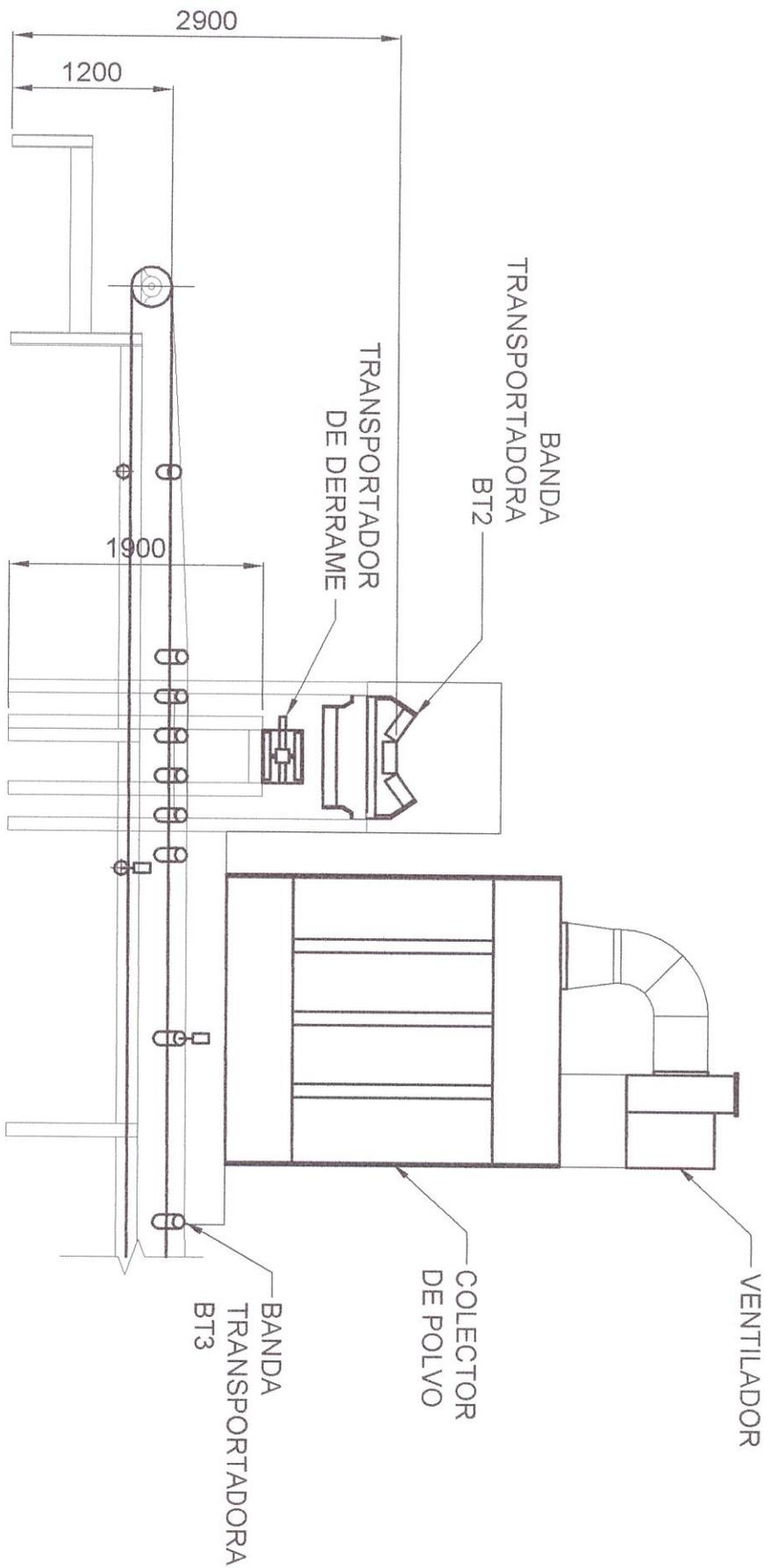
Fecha:

27/05/05

Plano:

PC-IG-02

2 5 6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

**IMPLANTACIÓN GENERAL
CORTE B - B'**

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:50

Fecha:

27/05/05

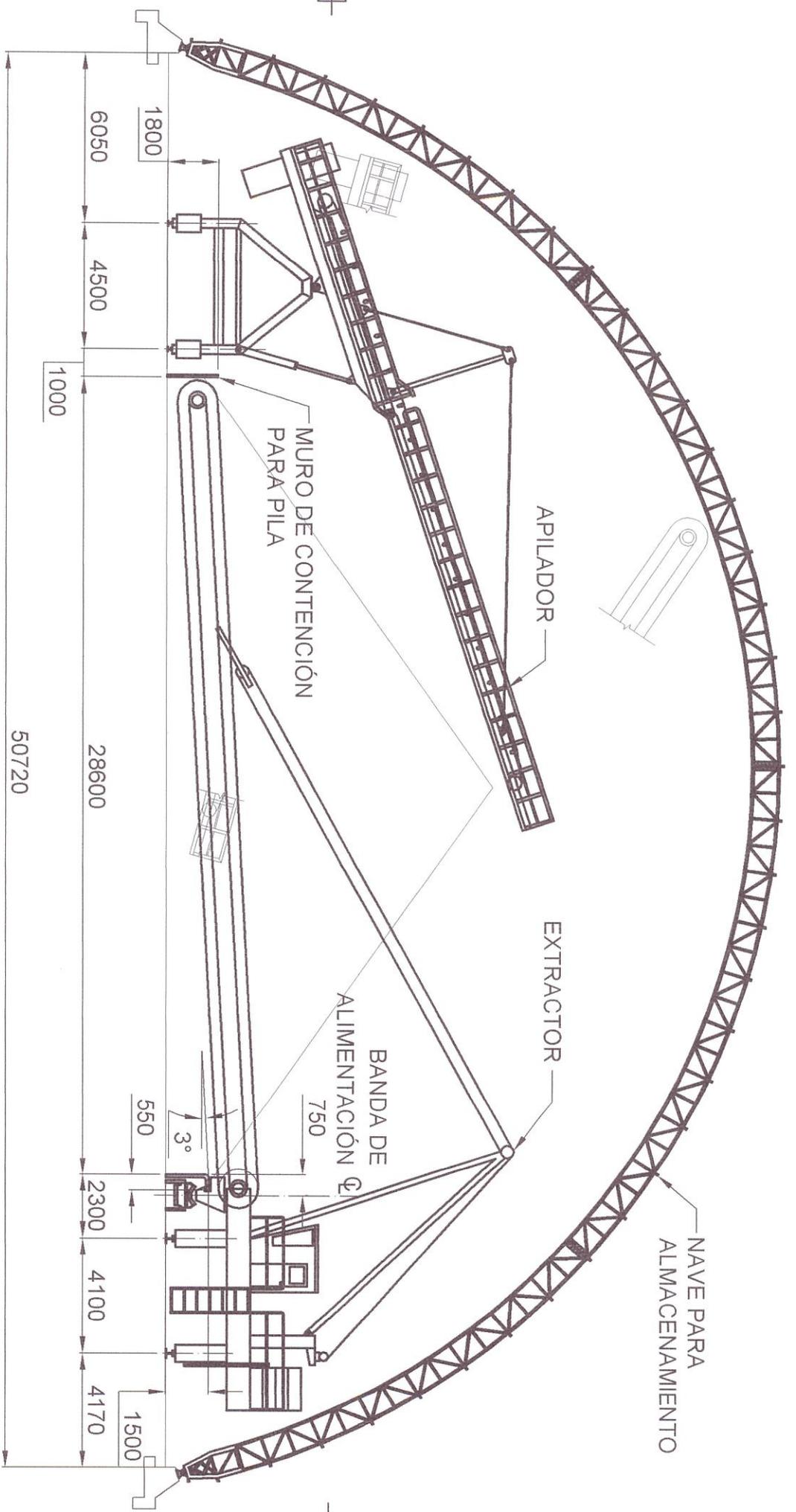
Plano:

PC-IG-03

2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

**IMPLANTACIÓN GENERAL
CORTE C - C'**

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:200

Fecha:

27/05/05

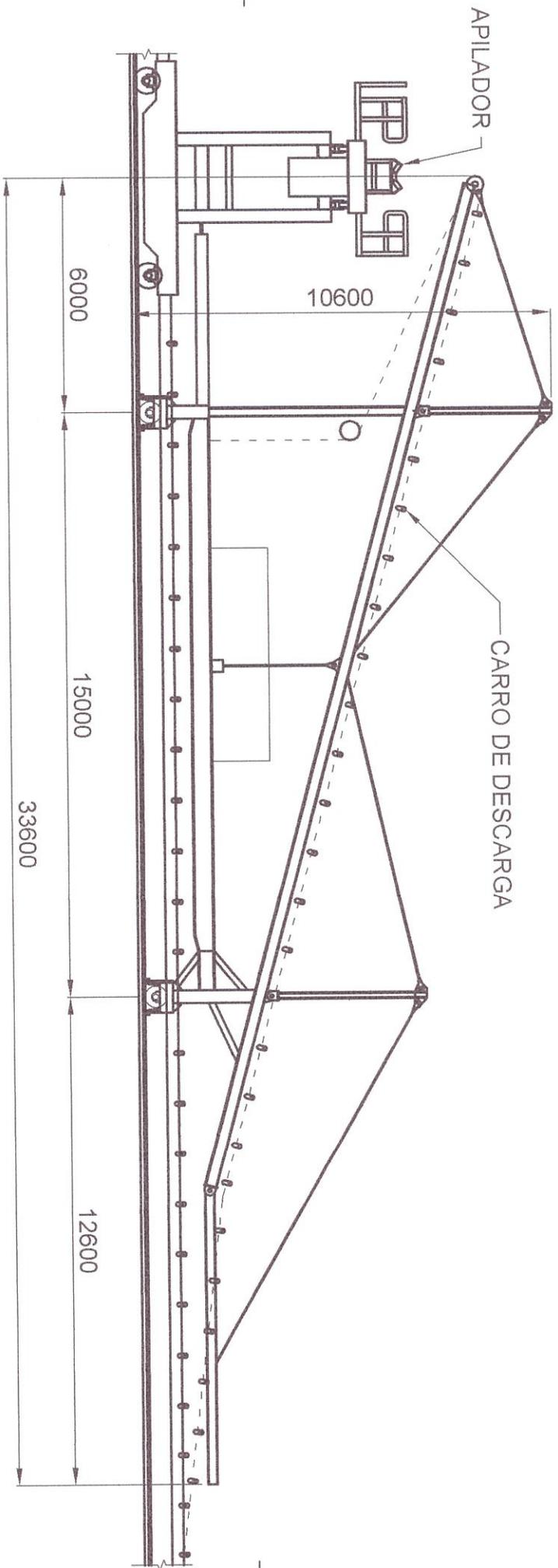
Plano:

PC-IG-04

2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

**IMPLANTACIÓN GENERAL
CORTE D - D'**

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:150

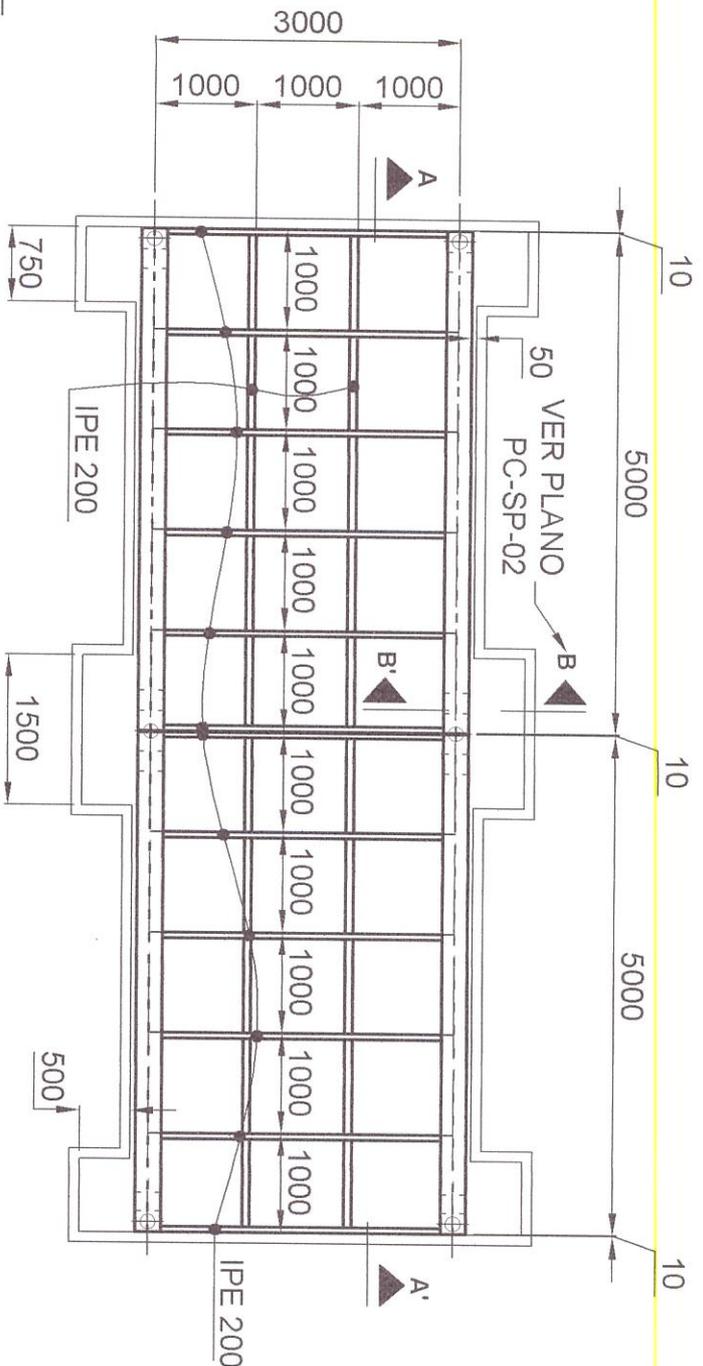
Fecha:

27/05/05

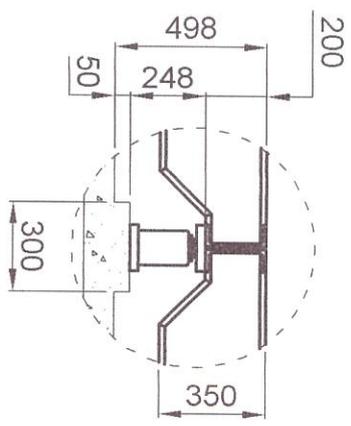
Plano:

PC-16-05

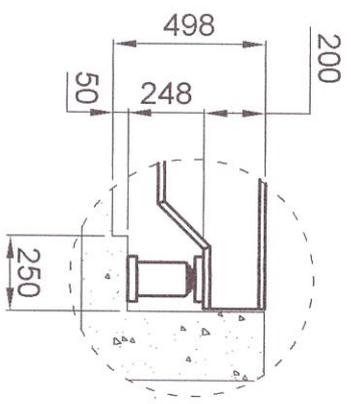
1 2 5 6



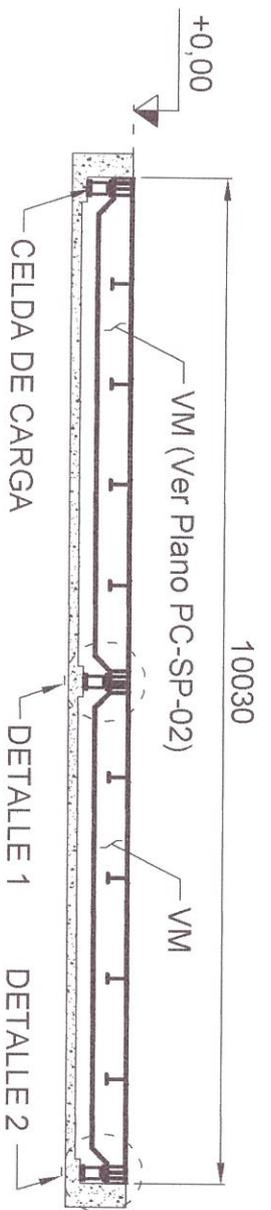
DETALLE 1
ESCALA 1:20



DETALLE 2
ESCALA 1:20



CORTE A-A'



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCION DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

SISTEMA DE PESAJE

Diseñado por:
PATRICIO MORENO

Revisado por:
ING. FEDERICO CAMACHO B

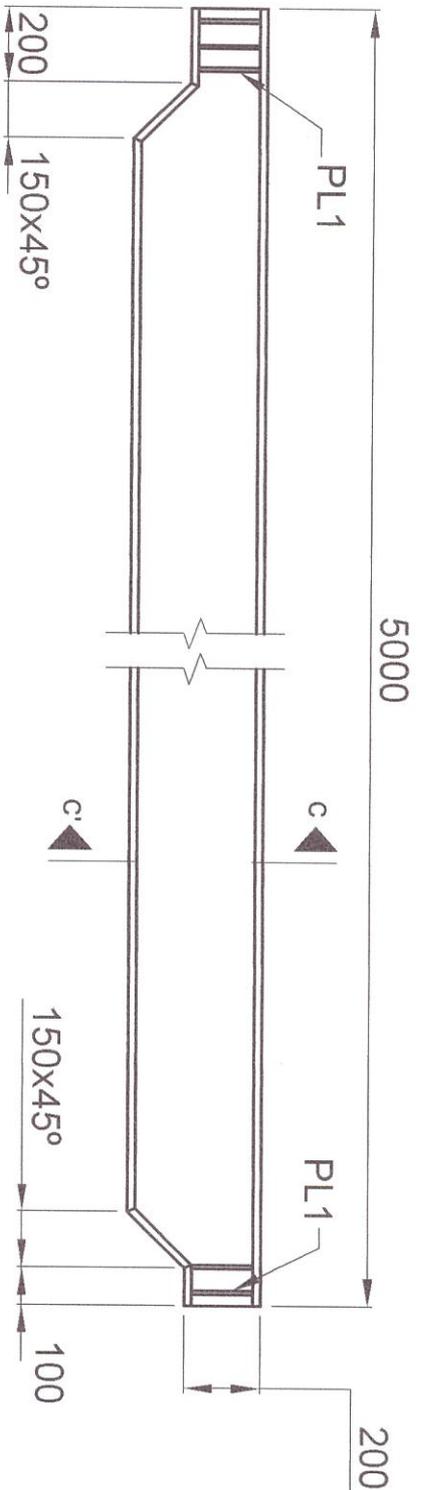
Sistema:
Escala:
1:75 (Indicadas)

Fecha:
27/05/05

Plano:
PC-SP-01

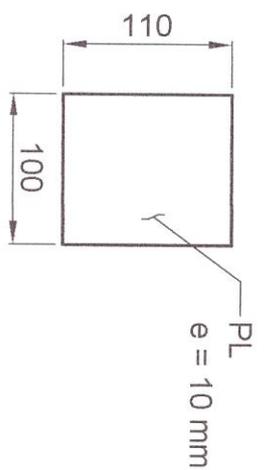
1 2 5 6

VIGA METALICA VM

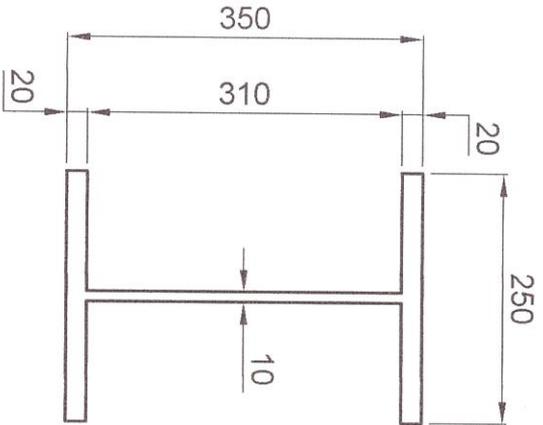
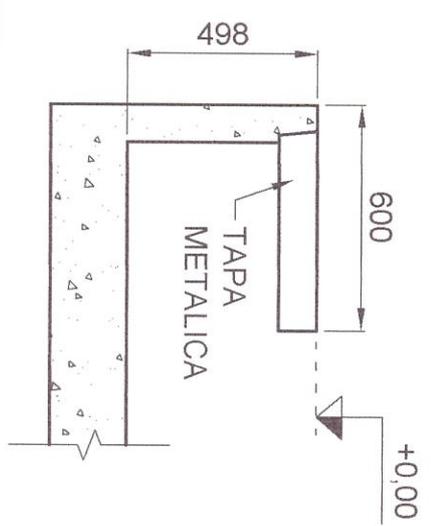


CORTE C-C'
ESCALA 1:7.5

PLACA PL1
ESCALA 1:5



CORTE B-B'
(PLANO PC-SP-01)
ESCALA 1:7.5



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCION DE CARBÓN MINERAL

Contiene:
SISTEMA DE PESAJE VIGA VM, CORTE B-B'

Diseñado por:
PATRICIO MORENO

Sistema:

Escala:
1:20 (Indicadas)

Fecha:
27/05/05

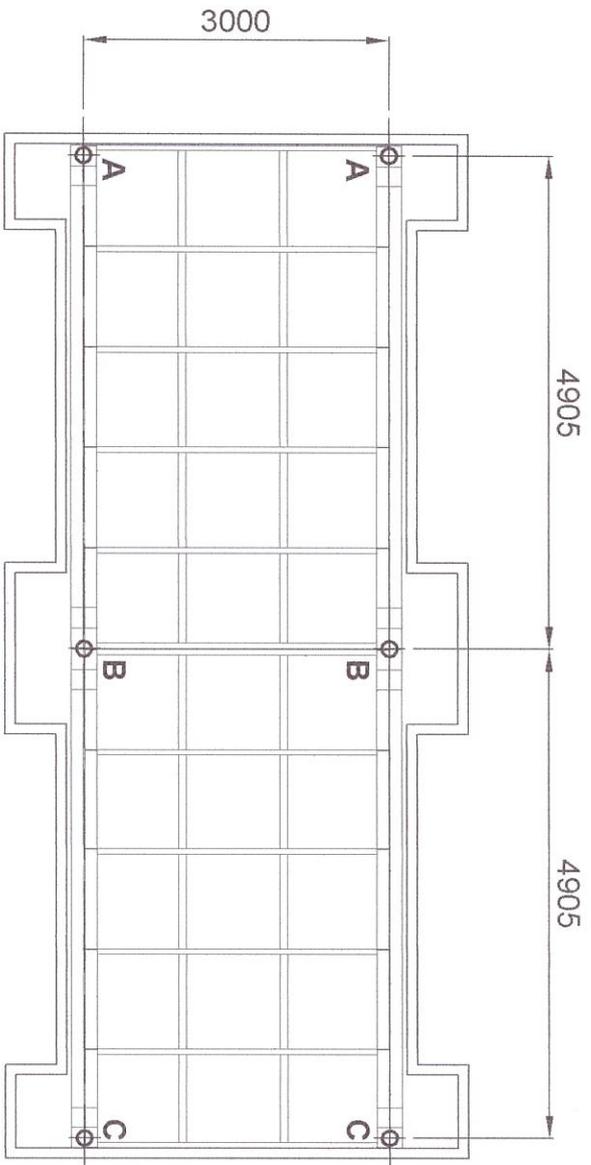
Revisado por:
ING. FEDERICO CAMACHO B

Plano:
PC-SP-02

1 2 3 4 5 6

E D C B

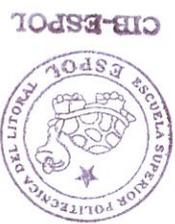
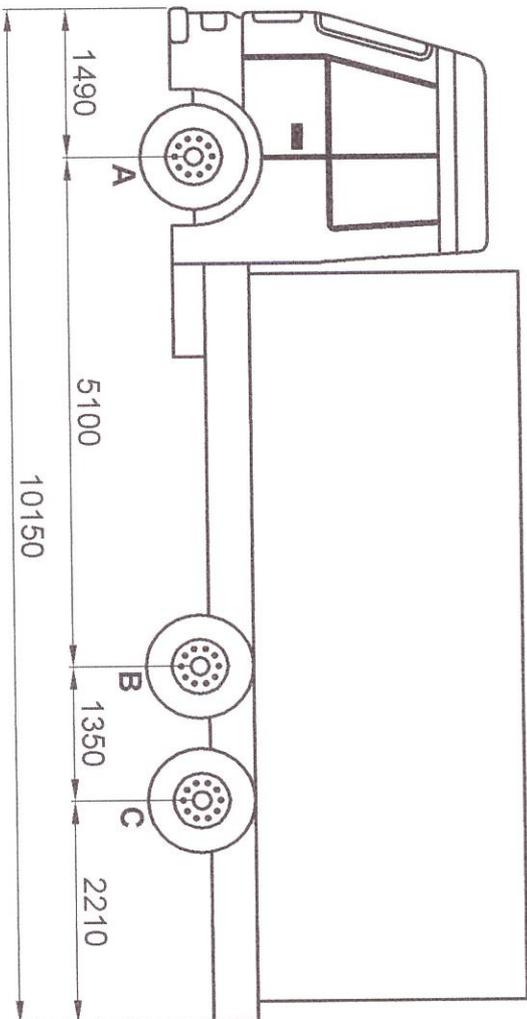
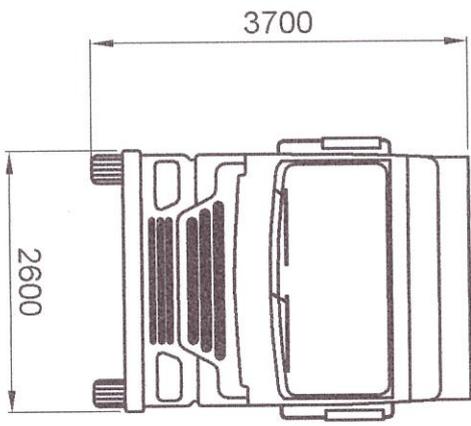
	CARGA MUERTA	CARGA VIVA
A	10 KN	184 KN
B	20 KN	184 KN
C	10 KN	184 KN



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCION DE CARBÓN MINERAL	
Contiene: SISTEMA DE PESAJE PLANO DE CARGAS		Diseñado por: PATRICIO MORENO	Revisado por : ING. FEDERICO CAMACHO B
Sistema : 		Escala : 1:75	Fecha : 27/05/05
			Plano : PC-SP-03

1 2 5 6

CARGAS DEL CAMIÓN		
VACÍO	LLENO	
A	24 kN x 2	98 kN x 2
B	10 kN x 2	73.5 kN x 2
C	10 kN x 2	73.5 kN x 2



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:		Diseñado por:	
CAMION PARA CARBON		PATRICIO MORENO	
Sistema:		Escala:	
		1:75	
Revisado por:		Fecha:	
ING. FEDERICO CAMACHO B		27/05/05	
Plano:		PC-SP-04	

ESTRUCTURA DE TOLVA DE RECEPCION

Contiene:



Sistema:

Escala: 1:100 (Indicadas)

Fecha: 27/05/05

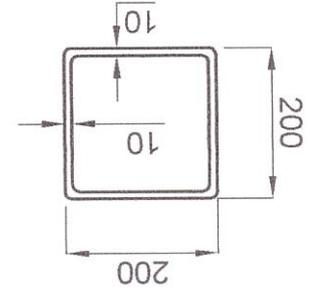
Plano: PC-TR-02

Diseñado por: PATRICIO MORENO

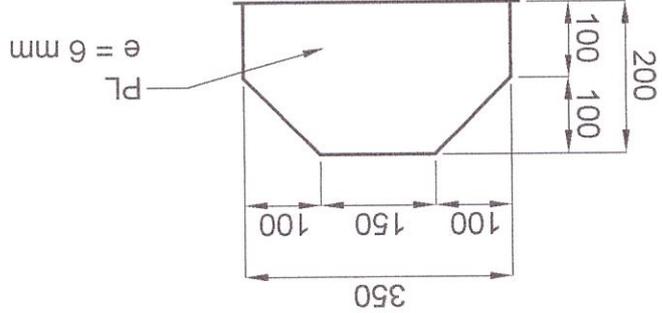
Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B

ESPOL - FIMCP

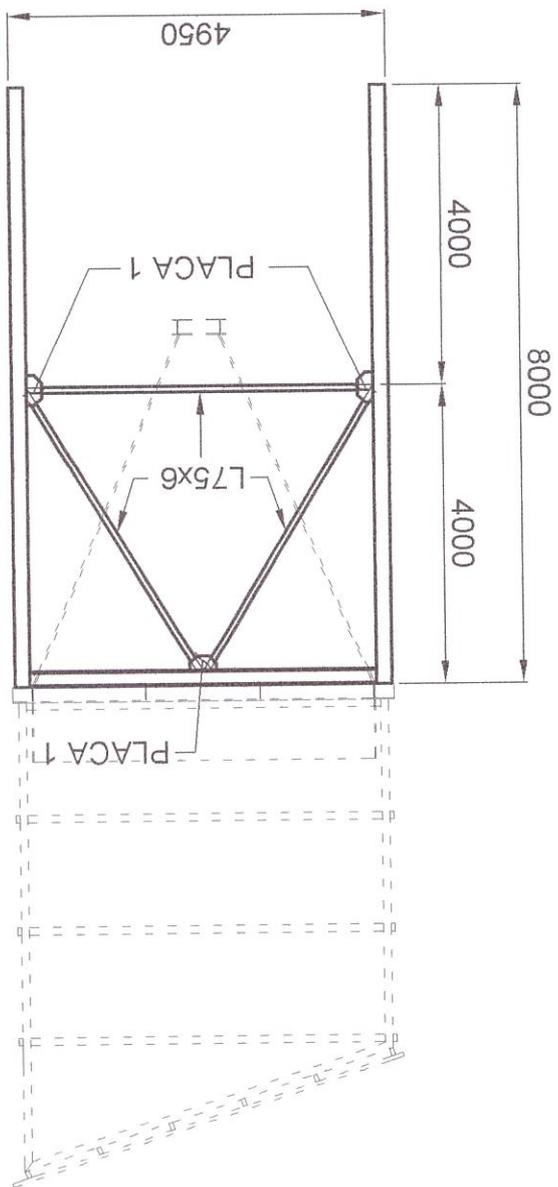
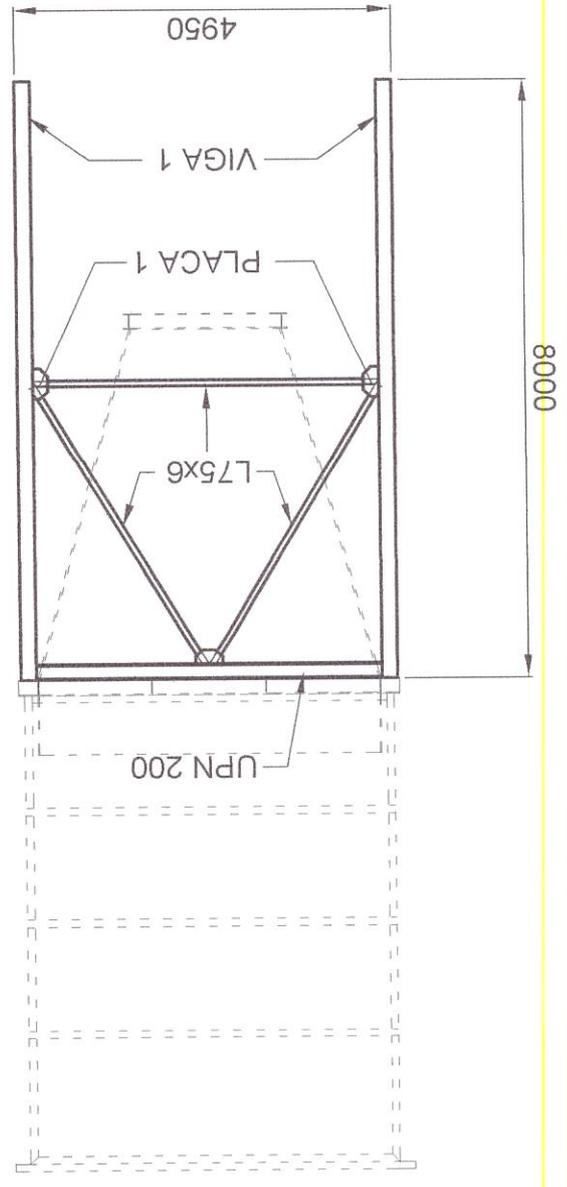
SISTEMA DE RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCION DE CARBÓN MINERAL



VIGA 1 ESCALA 1:10



PLACA 1 ESCALA 1:10



T
F
D
C
B
A

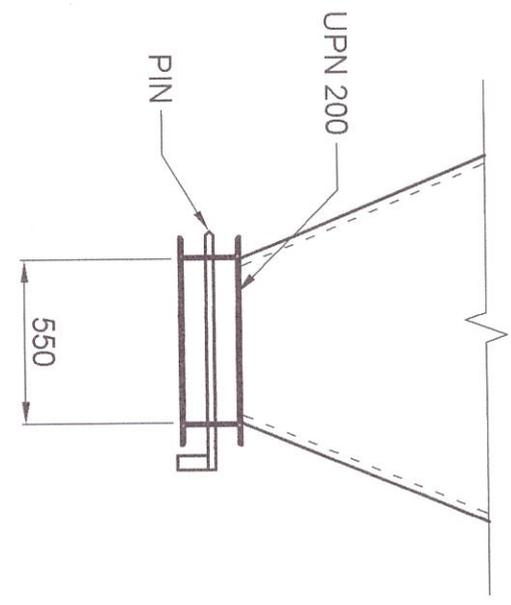
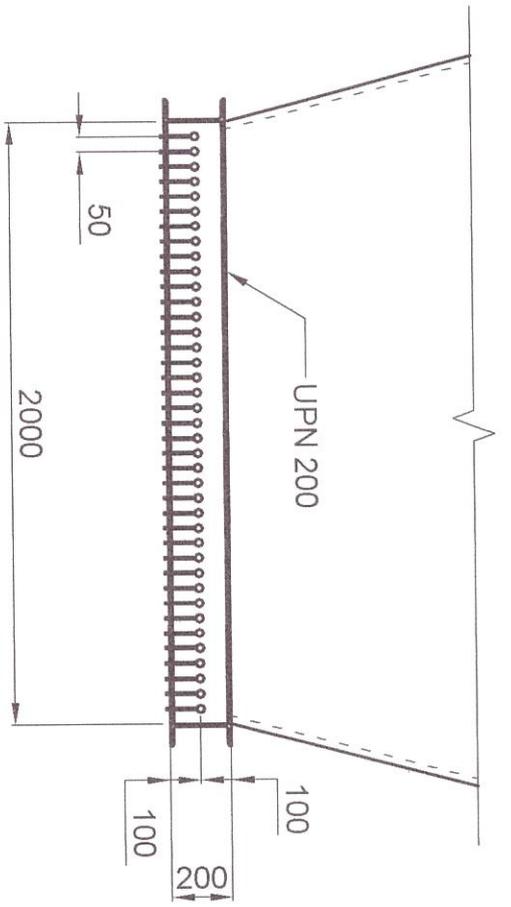
4

4

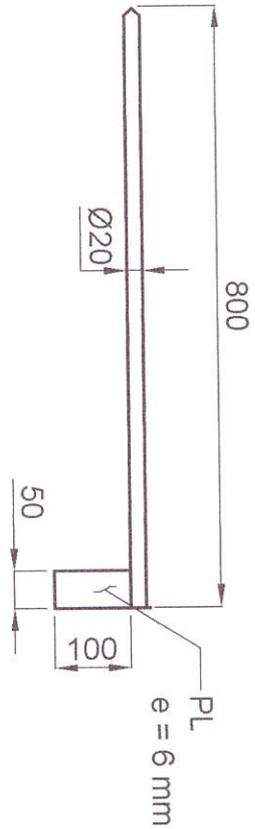
3

2

1



PIN TÍPICO
 ESCALA 1:10
 CANT.: 40

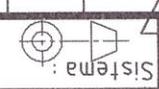


ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene: VALVULA DE PINES DE TOLVA DE RECEPCION		Diseñado por: PATRICIO MORENO	Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B
Sistema: 	Escala: 1:25 (Indicadas)	Fecha: 27/05/05	Plano: PC-TR-03

1 2 5 6

CUBIERTA Y SISTEMA DE DESEMPOLVADO

Contiene:



Escala: 1:100 (Indicadas)

Fecha: 27/05/05

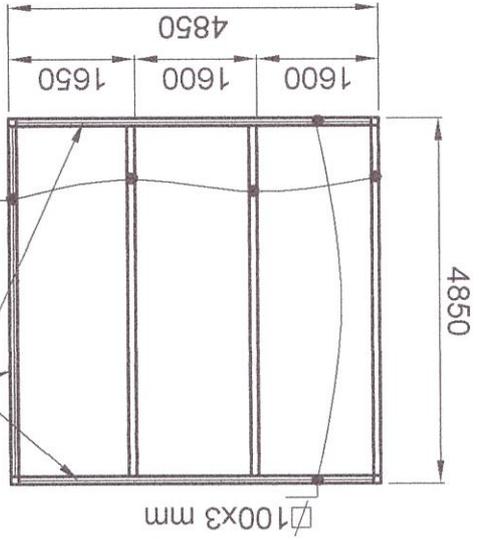
Plano: PC-TR-04

Diseñado por: PATRICIO MORENO

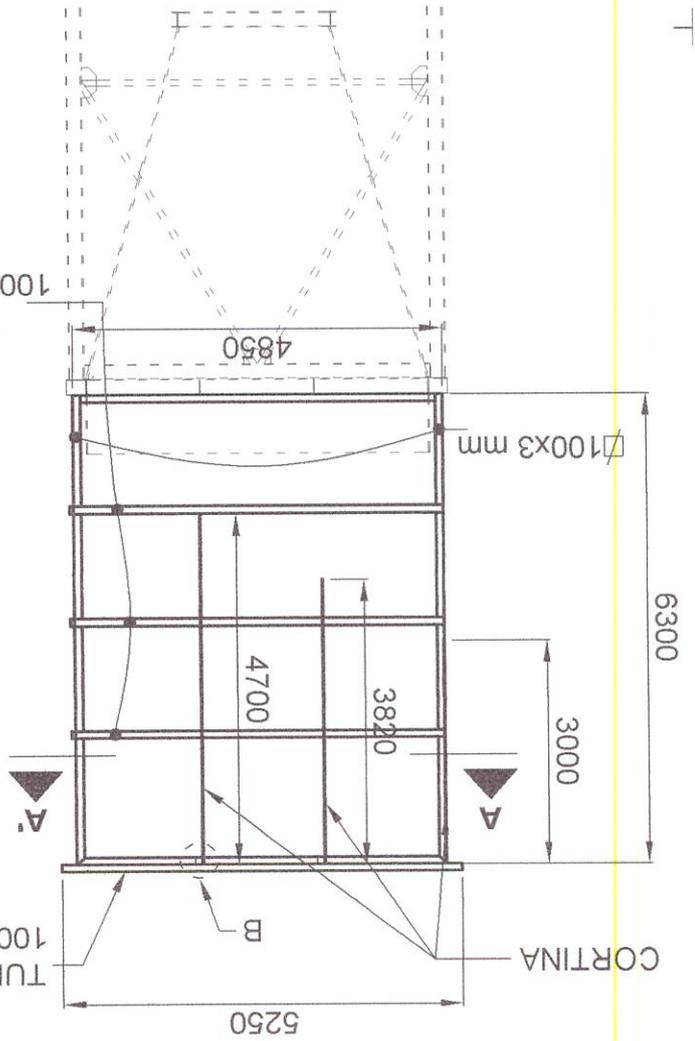
Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B

ESPOL - FIMCP

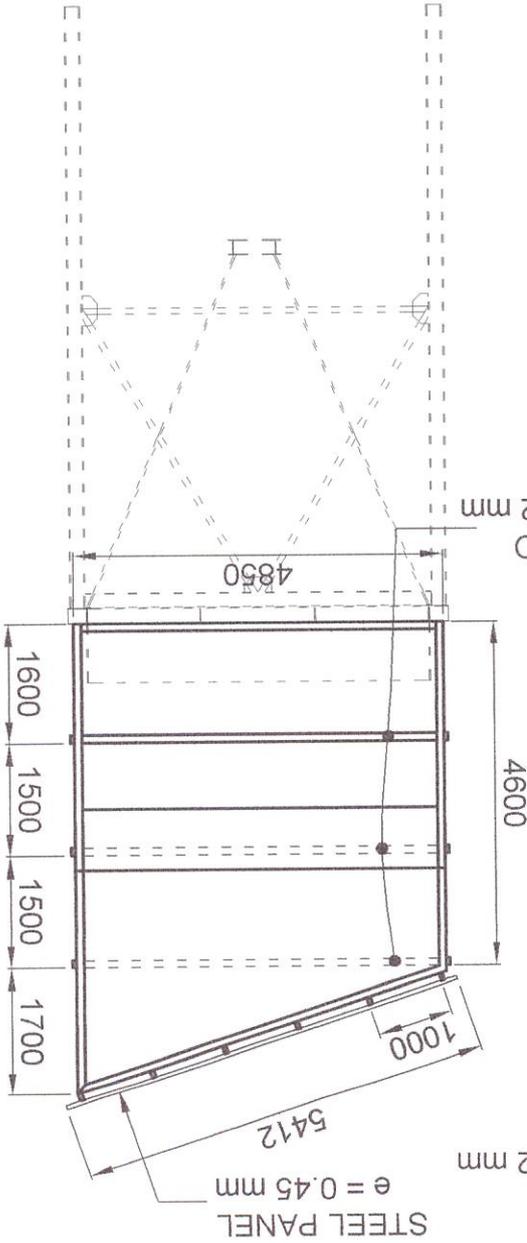
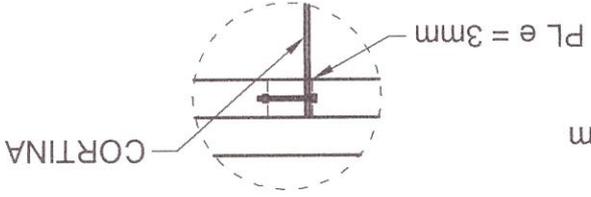
SISTEMA DE RECEPCION, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCION DE CARBÓN MINERAL



CORTE A-A'

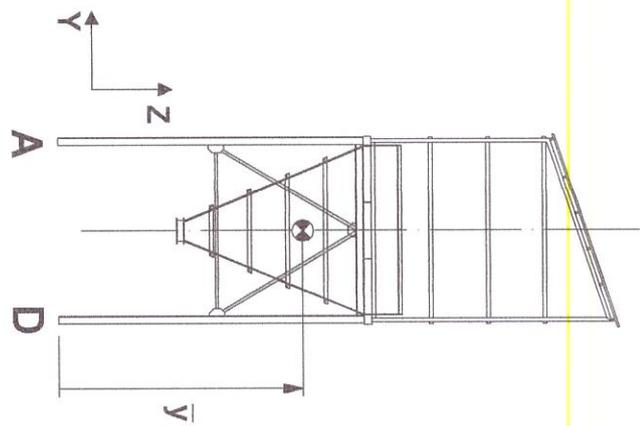
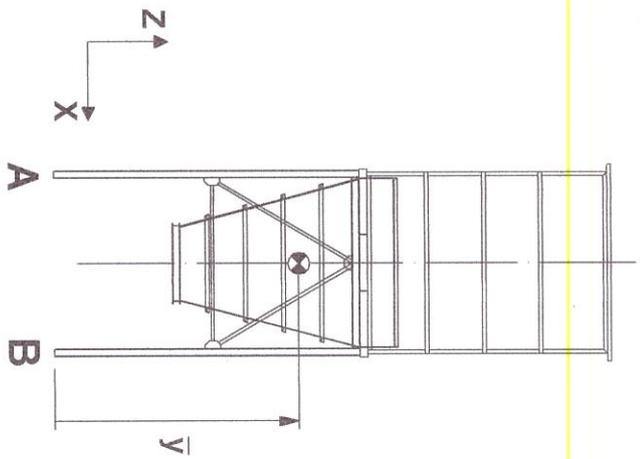
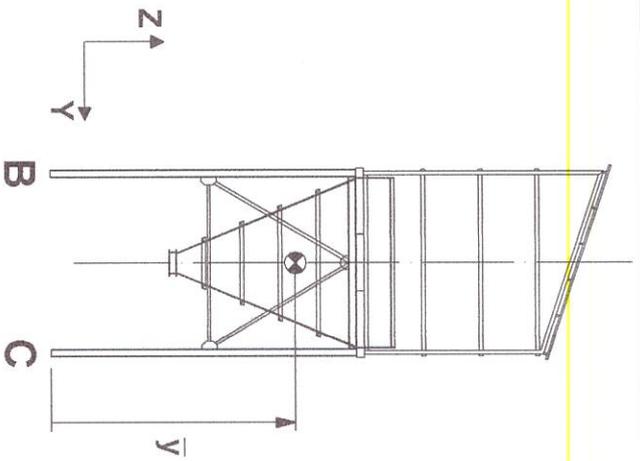


DETALLE B
ESCALA 1:20



F
E
D
C
B
A

4
3
2
1



	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN ² m)	My (kN ² m)
A	CM	5,5	6,8	-33,5	-54,4
	CV	-64,7	-44,8	-123,0	438,8
B	CM	-5,5	6,8	-33,5	-54,4
	CV	64,7	-44,8	-123,0	438,8
C	CM	-5,5	-6,8	-33,5	54,4
	CV	64,7	44,8	-123,0	-438,8
D	CM	5,5	-6,8	-33,5	54,4
	CV	-64,7	44,8	-123,0	-438,8

CENTRO DE GRAVEDAD (\bar{Y})	
SIN MATERIAL :	6610 mm
CON MATERIAL :	7030 mm

CM: CARGA MUERTA (DEBIDO AL PESO DE LA ESTRUCTURA)
 CV: CARVA VIVA (DEBIDO AL PESO DEL CARBÓN)

PESO: 134 kN (SIN MATERIAL)
 626 kN (CON MATERIAL)

ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

TOLVA DE RECEPCIÓN PLANO DE CARGAS

Diseñado por:
 PATRICIO MORENO

Revisado por :
 ING. FEDERICO CAMACHO B

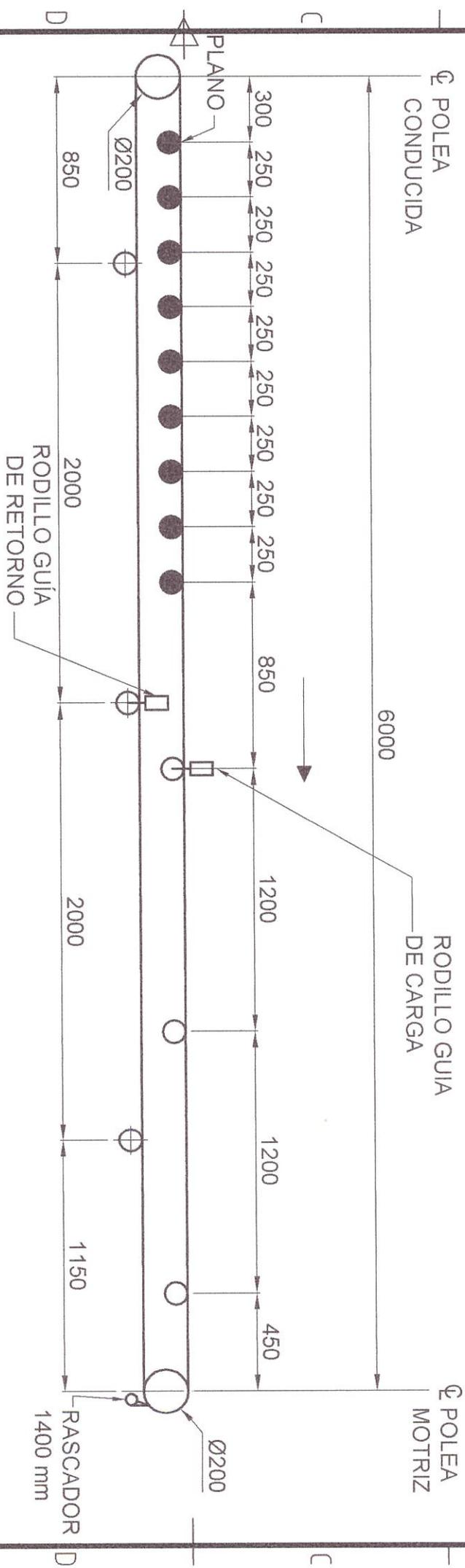
Sistema :



Escala :
 1:200

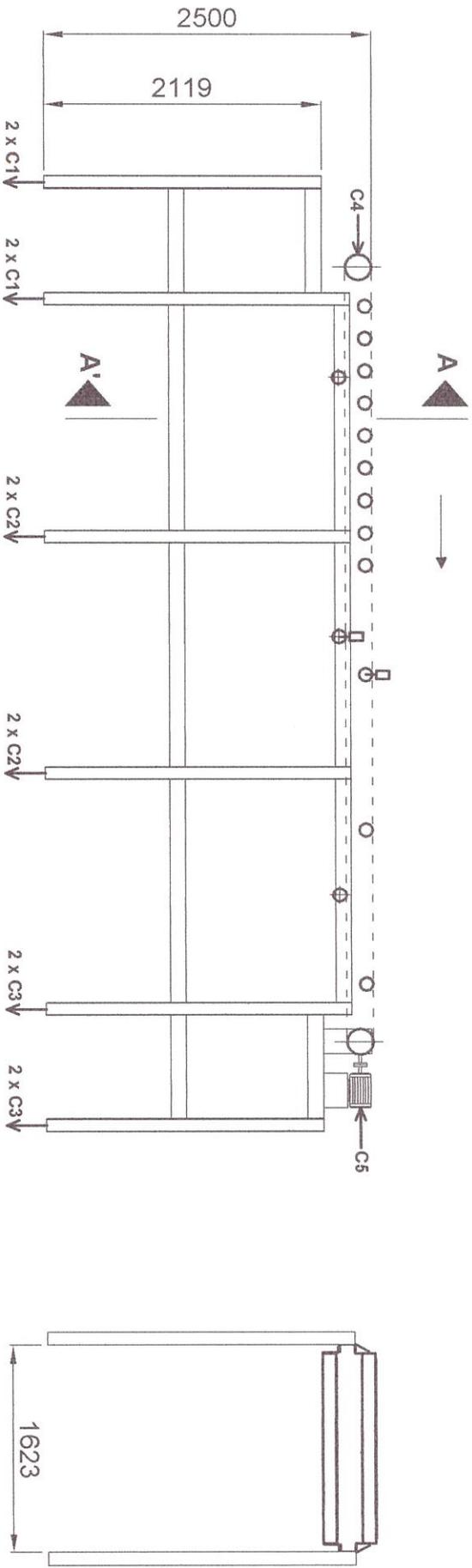
Fecha :
 27/05/05

Plano :
 PC-TR-05



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL			
Contiene:		Diseñado por:			
BANDA TRANSPORTADORA BT1		PATRICIO MORENO			
		Escala:		Revisado por:	
		1:25		ING. FEDERICO CAMACHO B	
		Fecha:		Plano:	
		27/05/05		PC-BT1-01	

1 2 5 6



CARGAS (kN)	
C1*	1,60
C2*	0,85
C3*	2,20
C4	32,60
C5	32,00

*Las cargas dadas son por cada pata

ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

BANDA

TRANSPORTADORA BT1

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:50

Fecha:

27/05/05

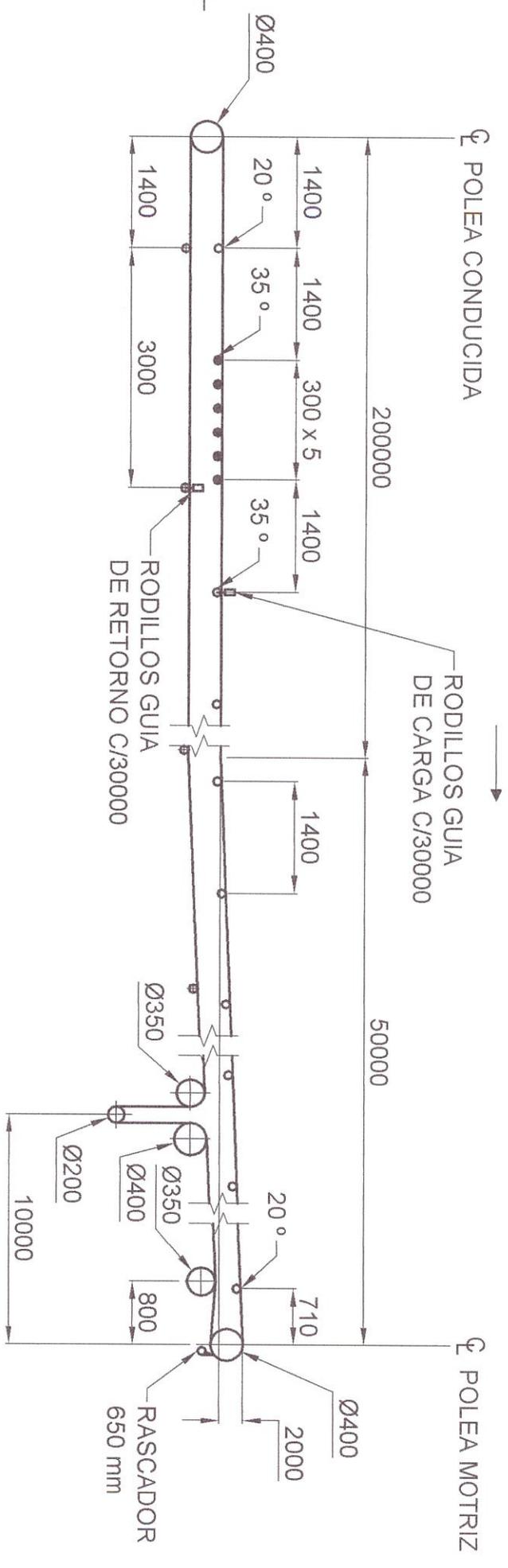
Plano:

PC-BT1-02

1 2

5

6



ESPOL - FIMICP SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

BANDA

TRANSPORTADORA BT2

Diseñado por: PATRICIO MORENO

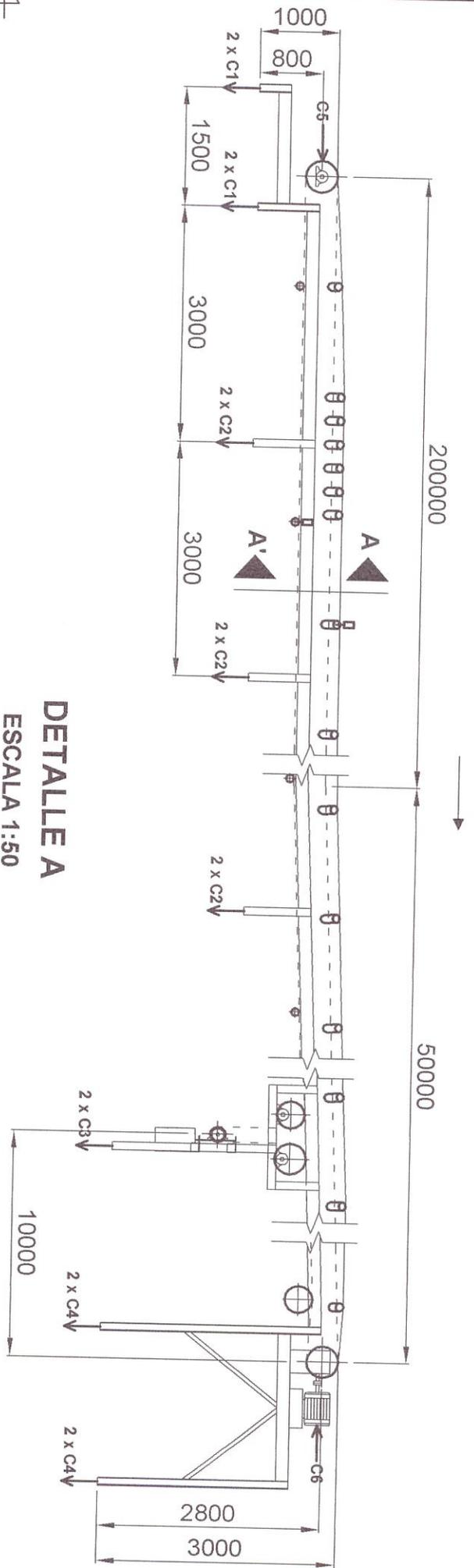
Sistema:

Escala: 1:75

Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B

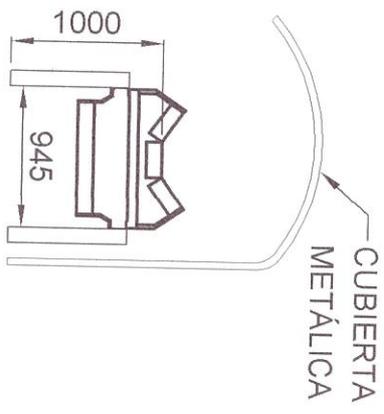
Fecha: 27/05/05

Plano: PC-BT2-01



CARGAS (kN)	
C1*	1,20
C2*	2,00
C3*	20,00
C4*	3,00
C5	19,00
C5	23,00

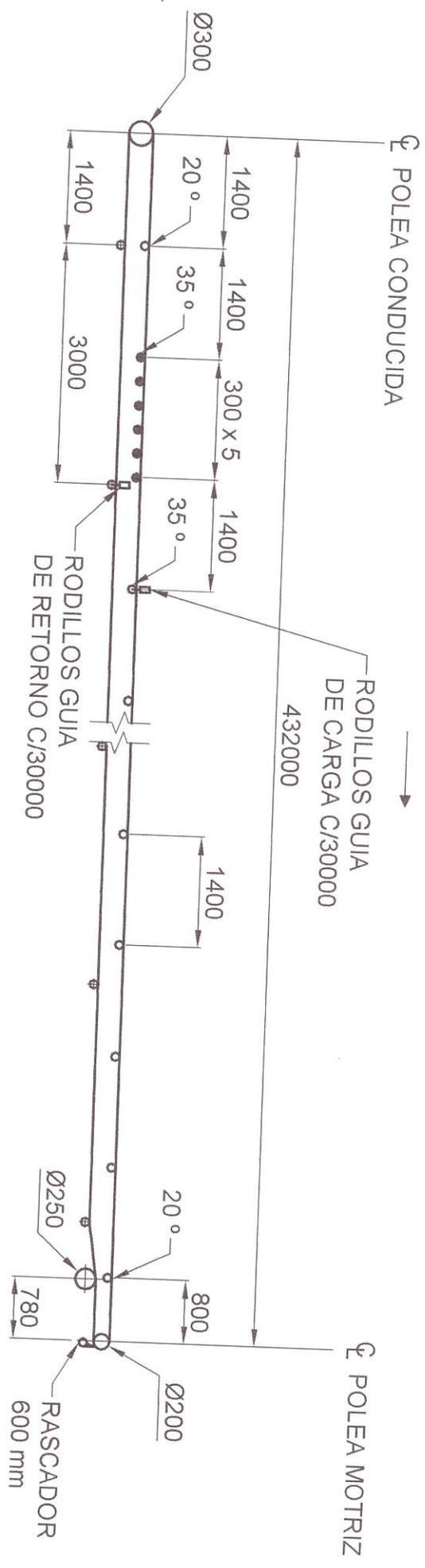
*Las cargas dadas son por cada pata



DETALLE A
ESCALA 1:50

ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:		Diseñado por:	
BANDA TRANSPORTADORA BT2		PATRICIO MORENO	
		Escala:	
		1:75 (Indicadas)	
		Revisado por:	
		ING. FEDERICO CAMACHO B	
		Fecha:	
		27/05/05	
		Plano:	
		PC-BT2-02	

1 2 5 6



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Confiene:		Diseñado por:	
BANDA TRANSPORTADORA BT3		PATRICIO MORENO	
Sistema:		Escala:	
		1:75	
Revisado por:		Fecha:	
ING. FEDERICO CAMACHO B		27/05/05	
Plano:		PC-BT3-01	

1

2

5

6

B

C

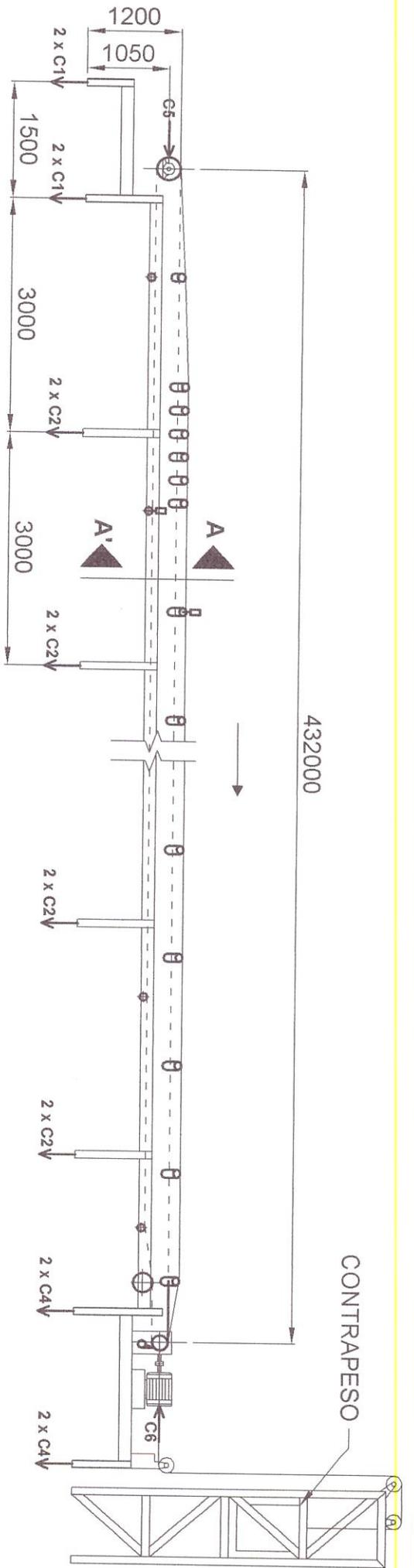
D

B

C

D

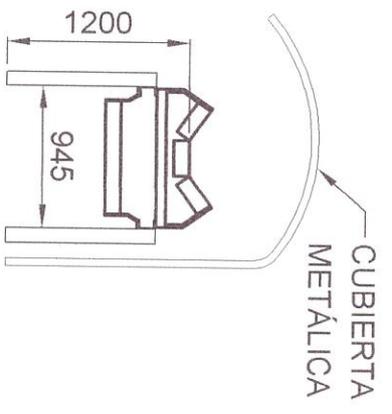
E



DETALLE A
ESCALA 1:50

CARGAS (kN)	
C1*	1,20
C2*	2,00
C3*	20,00
C4*	3,00
C5	19,00
C5	23,00

*Las cargas dadas son por cada pata

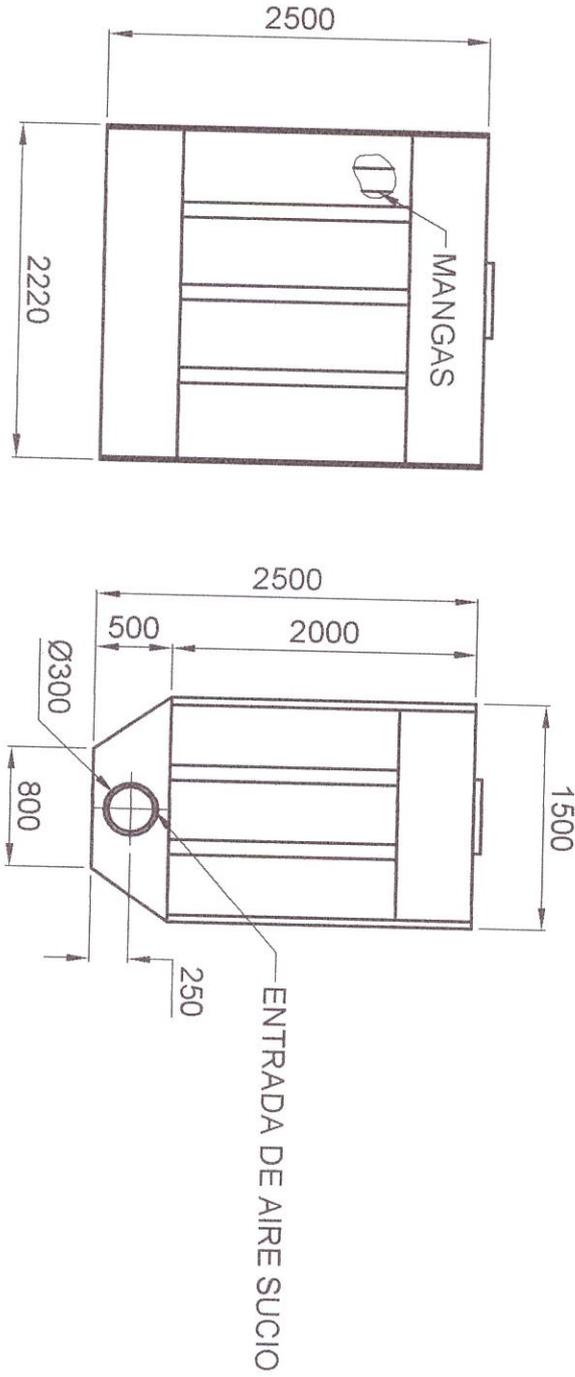
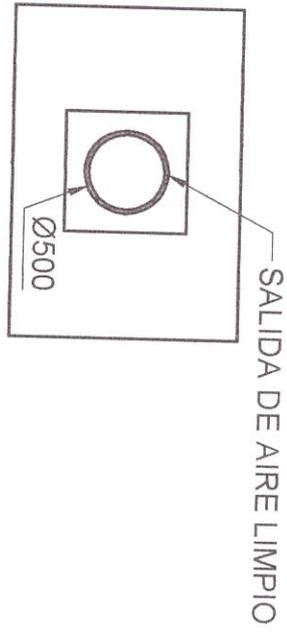


ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:			
BANDA TRANSPORTADORA BT3		Diseñado por: PATRICIO MORENO	
		Escala: 1:75 (Indicadas)	
		Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B	
		Fecha: 27/05/05	
		Plano: PC-BT3-02	

2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

COLECTOR DE POLVO

Contiene:

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:75

Fecha:

27/05/05

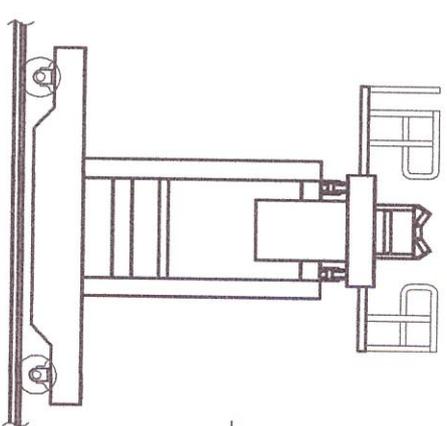
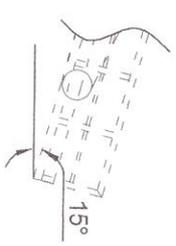
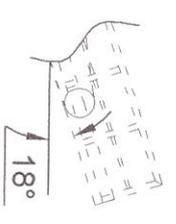
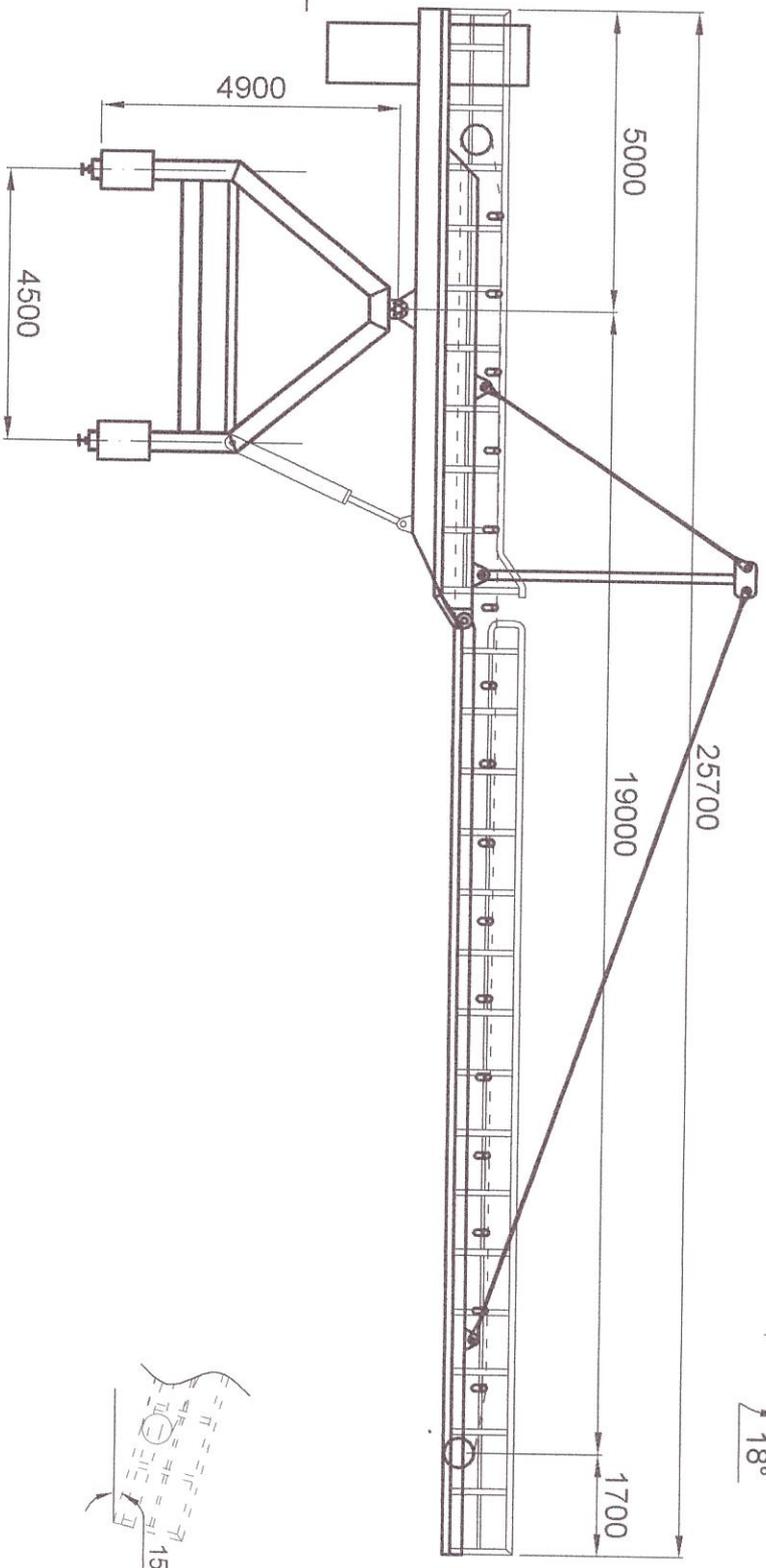
Plano:

PC-CP-01

1 2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

APILADOR (STACKER)

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:125

Fecha:

27/05/05

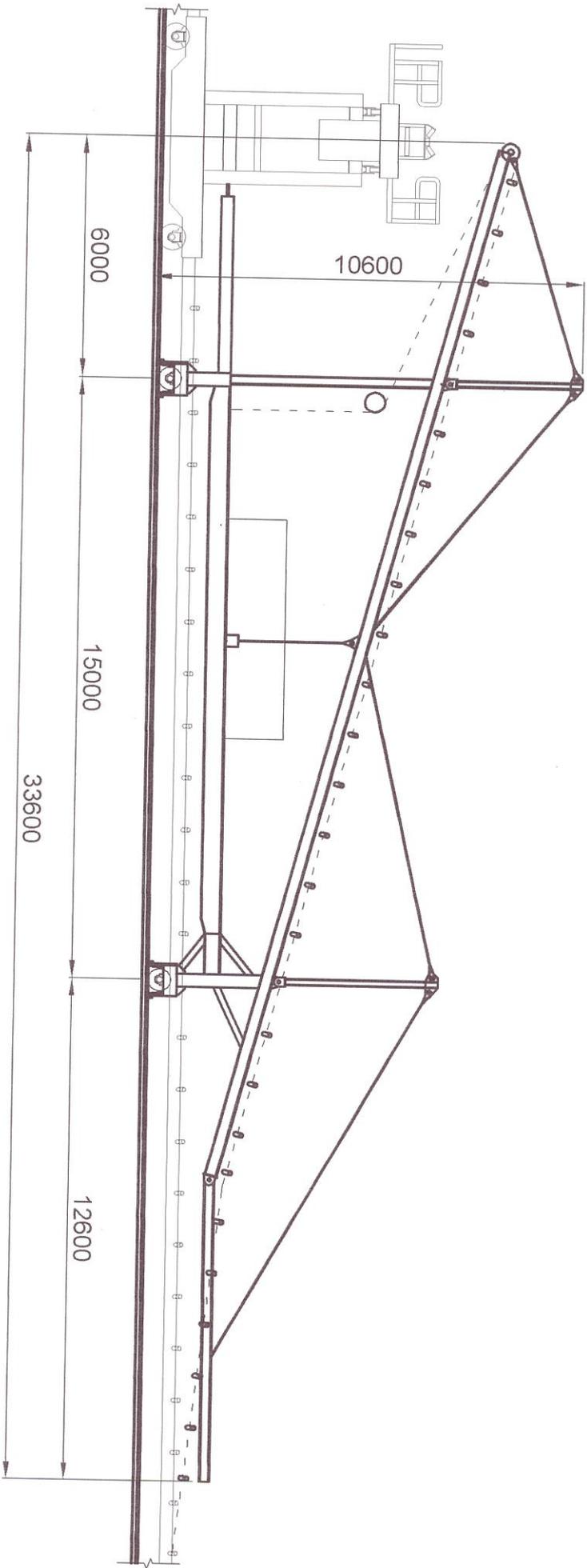
Plano:

PC-AP-01

2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

CARRO DE DESCARGA (TRIPPER CAR)

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:150

Fecha:

27/05/05

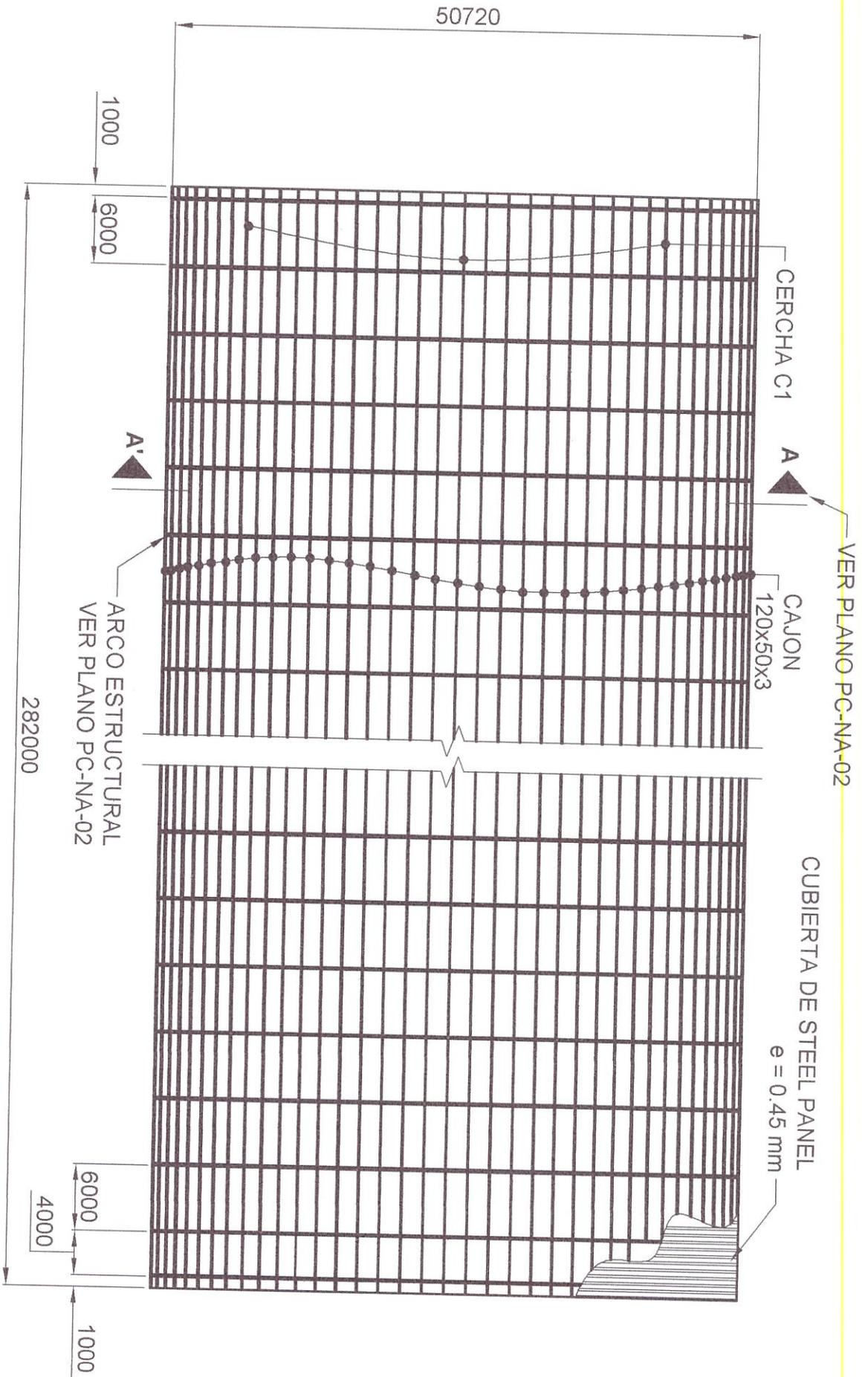
Plano:

PC-TC-01

2

5

6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE

CARBÓN MINERAL

Contiene:

**NAVE PARA ALMACENAMIENTO
VISTA DE PLANTA**

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:500

Fecha:

27/05/05

Plano:

PC-NA-01

2

5

6

E

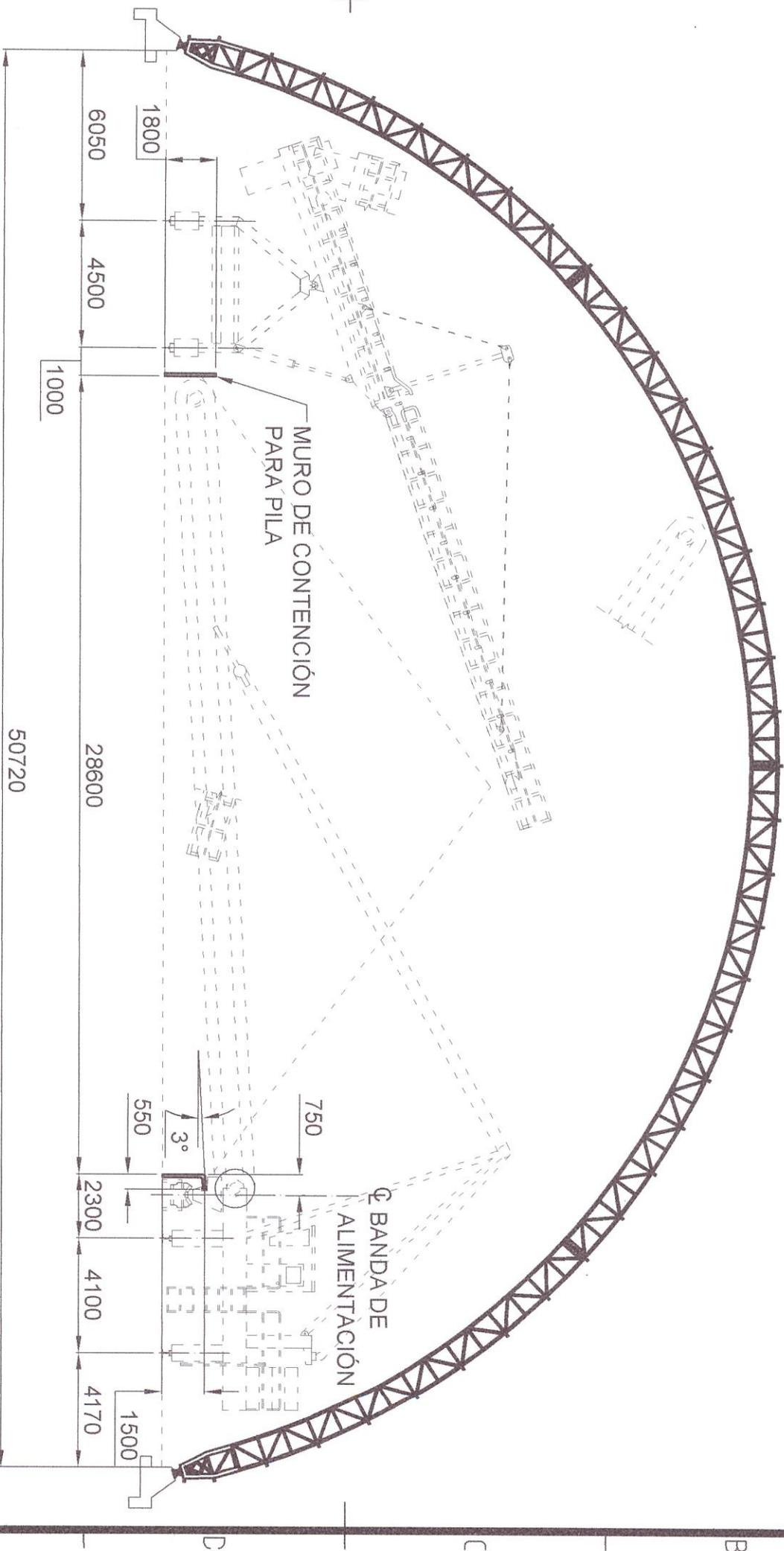
D

C

B

CORTE A-A'

(VER PLANO PC-NA-01)

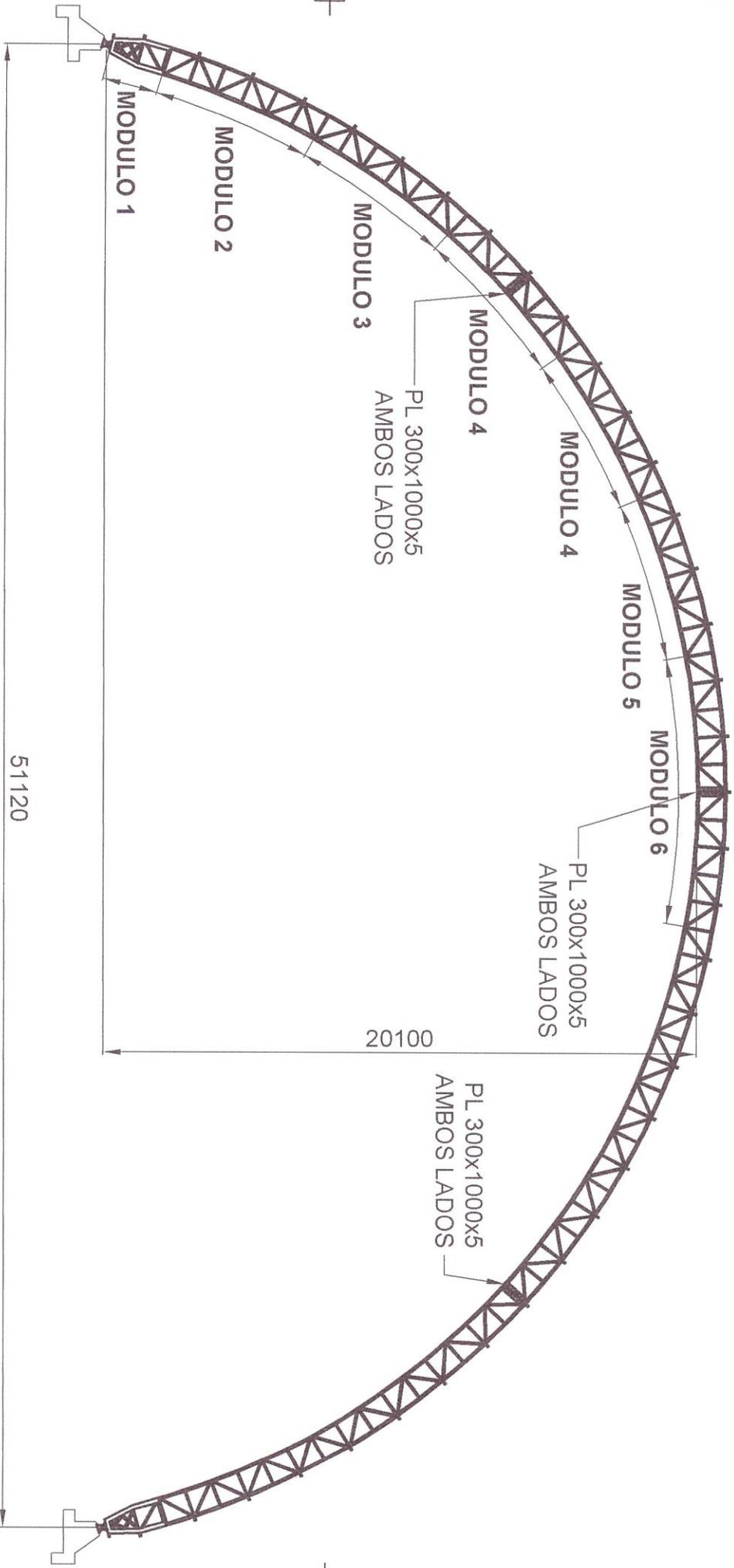


ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:	NAVE PARA ALMACENAMIENTO CORTE A-A'		
Diseñado por:	PATRICIO MORENO	Revisado por:	ING. FEDERICO CAMACHO B
Sistema:		Escala:	1:200
Fecha:	27/05/05	Plano:	PC-NA-02

1 2 3 4 5 6

ARCO ESTRUCTURAL

CANT.: 48



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

NAVE PARA ALMACENAMIENTO ARCO

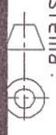
Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:200

Fecha:

27/05/05

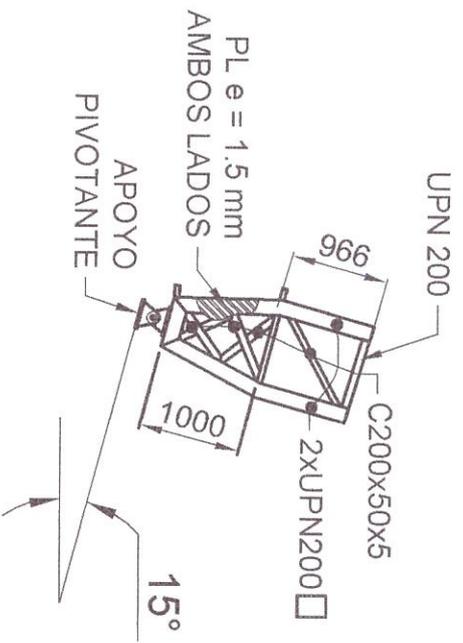
Plano:

PC-NA-03

1 2 3 4 5 6

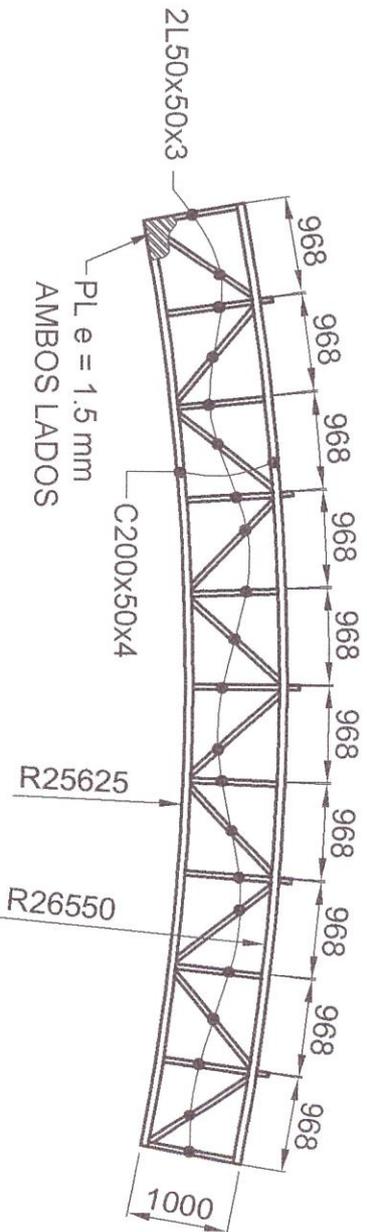
MODULO 1

CANT.: 96

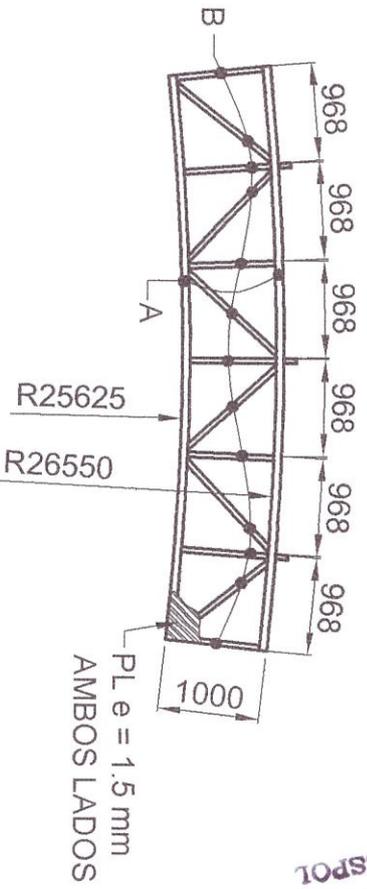


MODULO 5

CANT.: 48

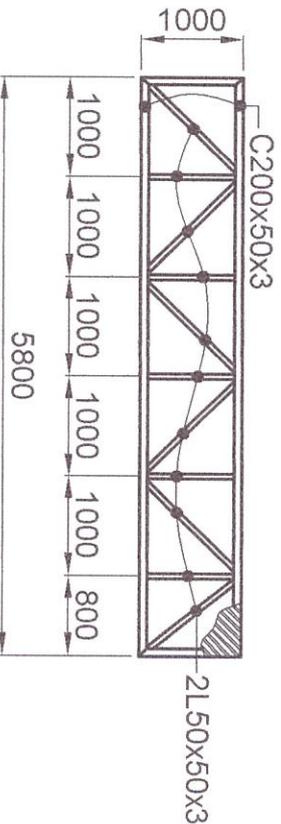


MODULOS 2,3,4, 5



CERCHA C1

CANT.: 141



MODULO	CANTIDAD	MATERIAL	
		A	B
2	96	UPN 200	C200x75x5
3	96	C200x75x5	2L50x50x4
4	192	C200x75x5	2L50x50x3
5	96	C200x75x4	2L50x50x3

ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE

CARBÓN MINERAL

Contiene:

NAVE PARA ALMACENAMIENTO
MODULOS Y CERCHA C1

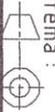
Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:



1:75

Fecha:

27/05/05

Plano:

PC-NA-04

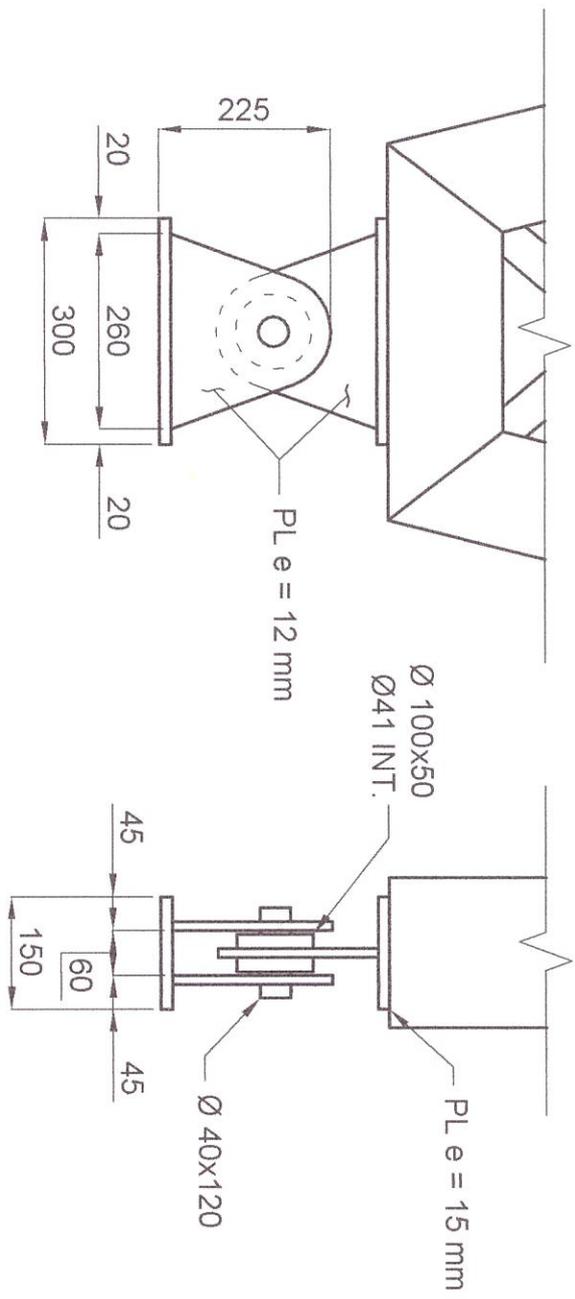
2

5

6

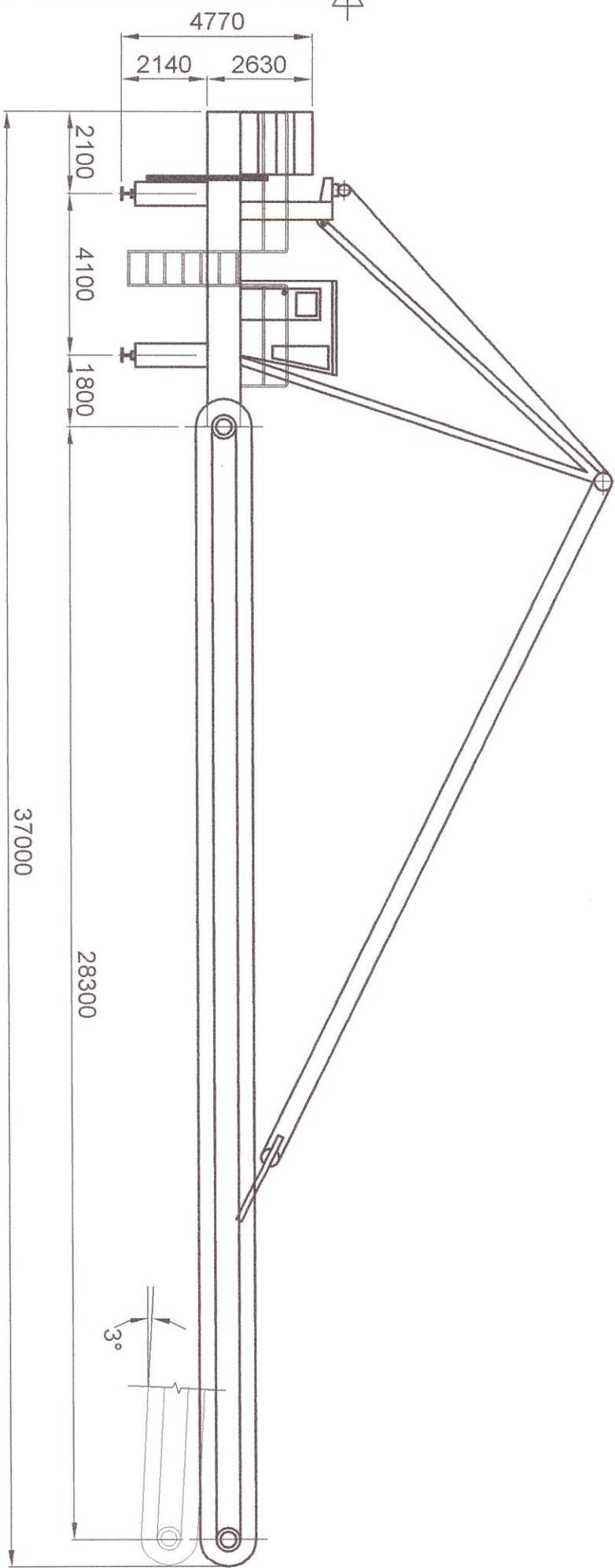
APOYO PIVOTANTE

CANT.: 96



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:	NAVE PARA ALMACENAMIENTO APOYO PIVOTANTE		
Diseñado por:	PATRICIO MORENO	Revisado por:	ING. FEDERICO CAMACHO B
Sistema:		Escala:	1:10
		Fecha:	27/05/05
		Plano:	PC-NA-05

1 2 3 4 5 6



ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

EXTRACTOR (RECLAIMER)

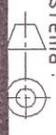
Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

1:150

Fecha:

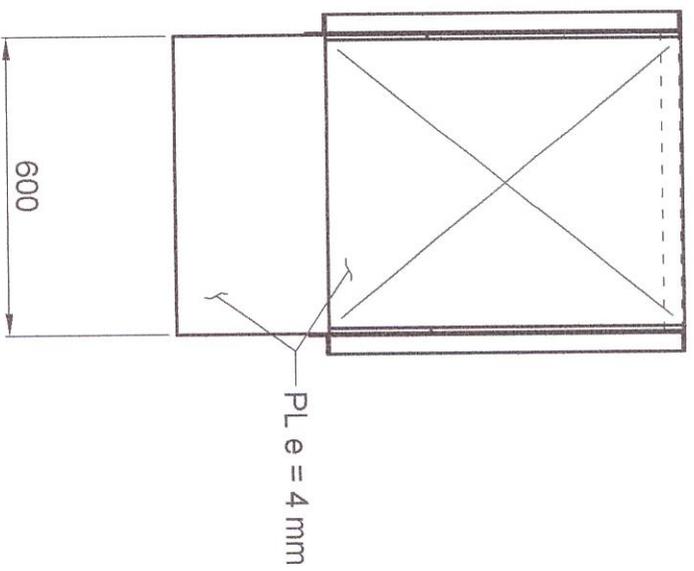
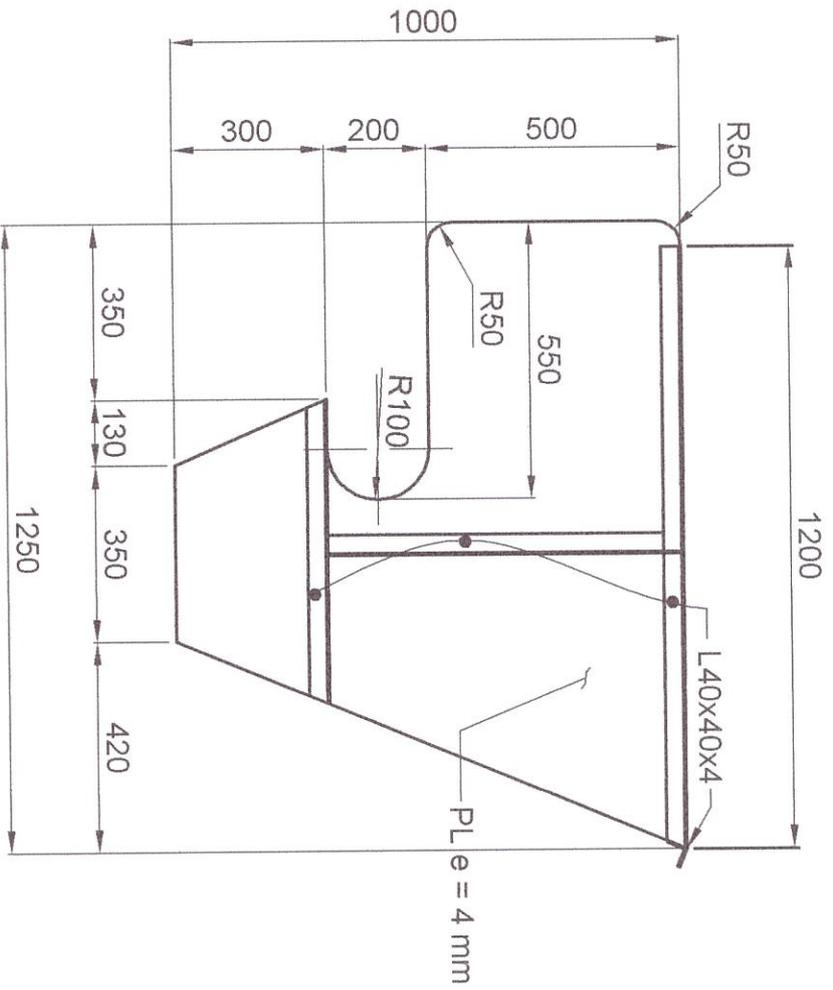
27/05/05

Plano:

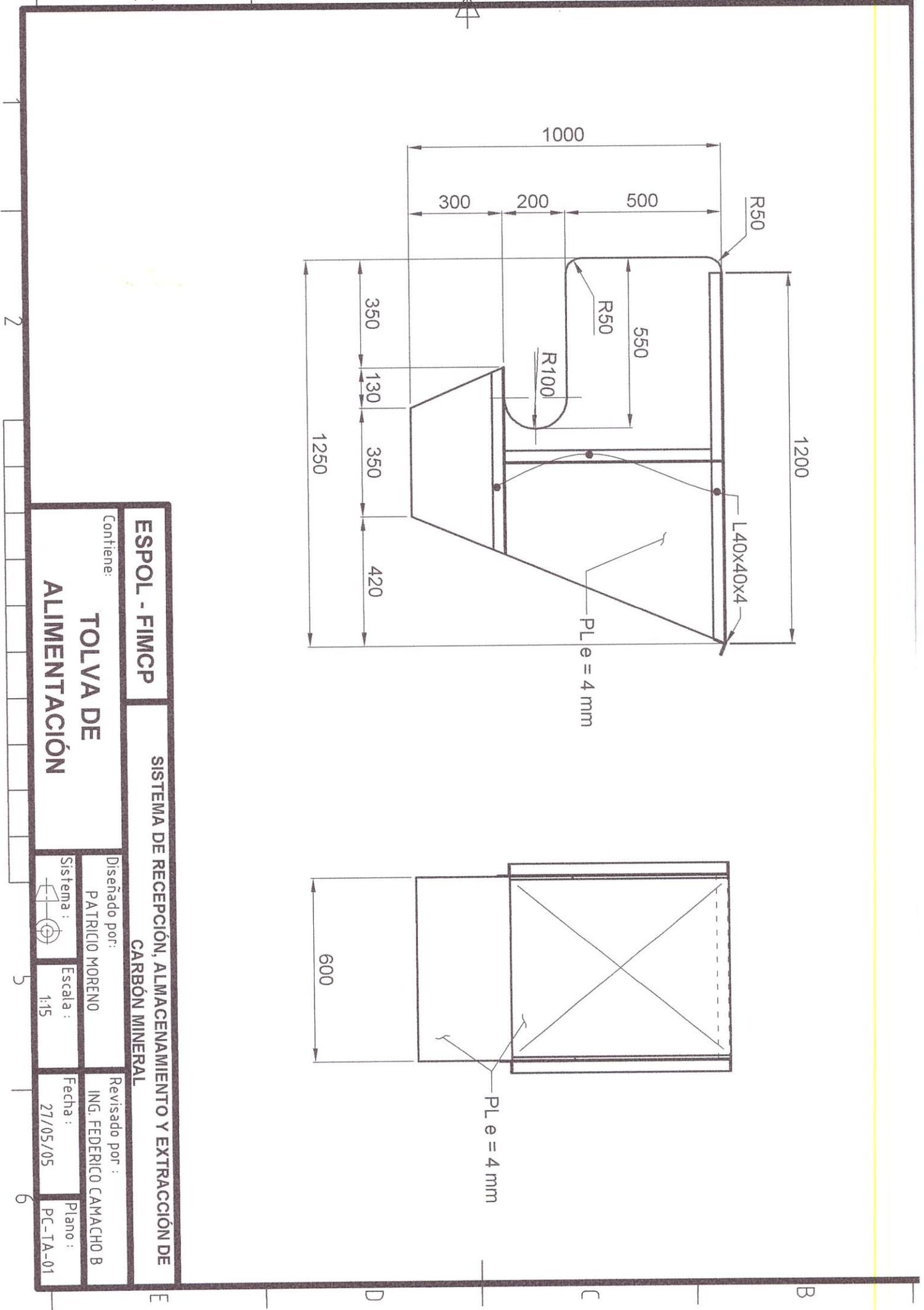
PC-EX-01

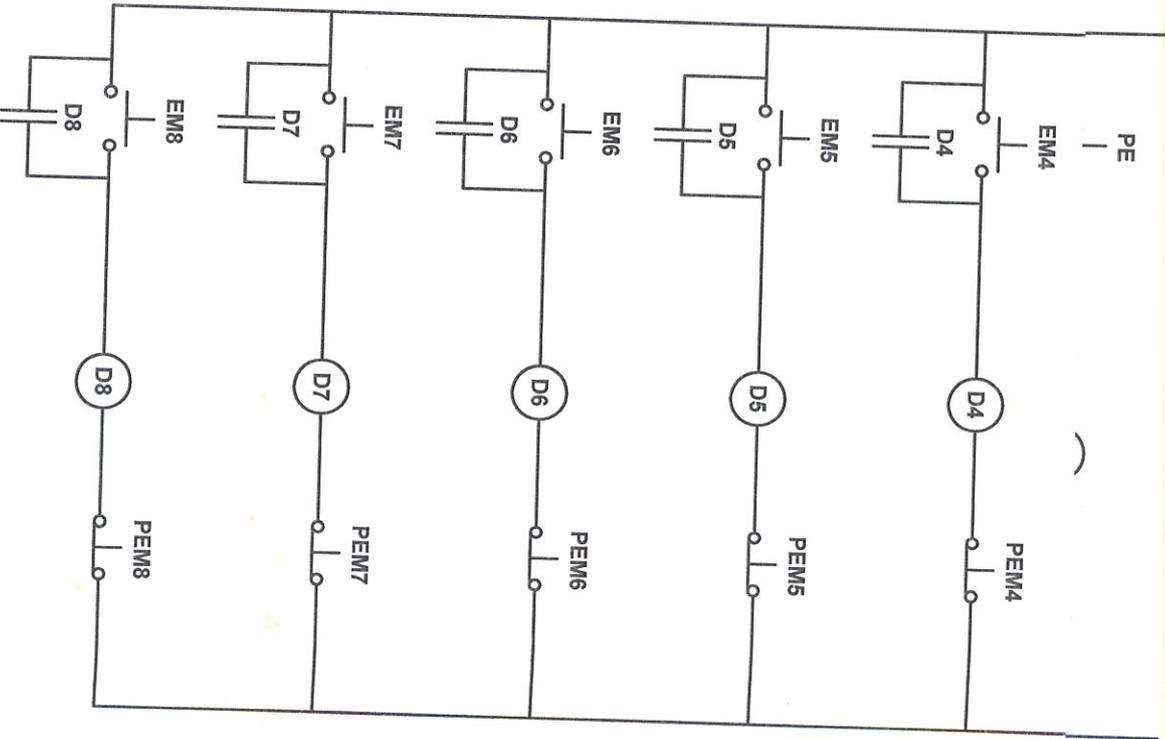
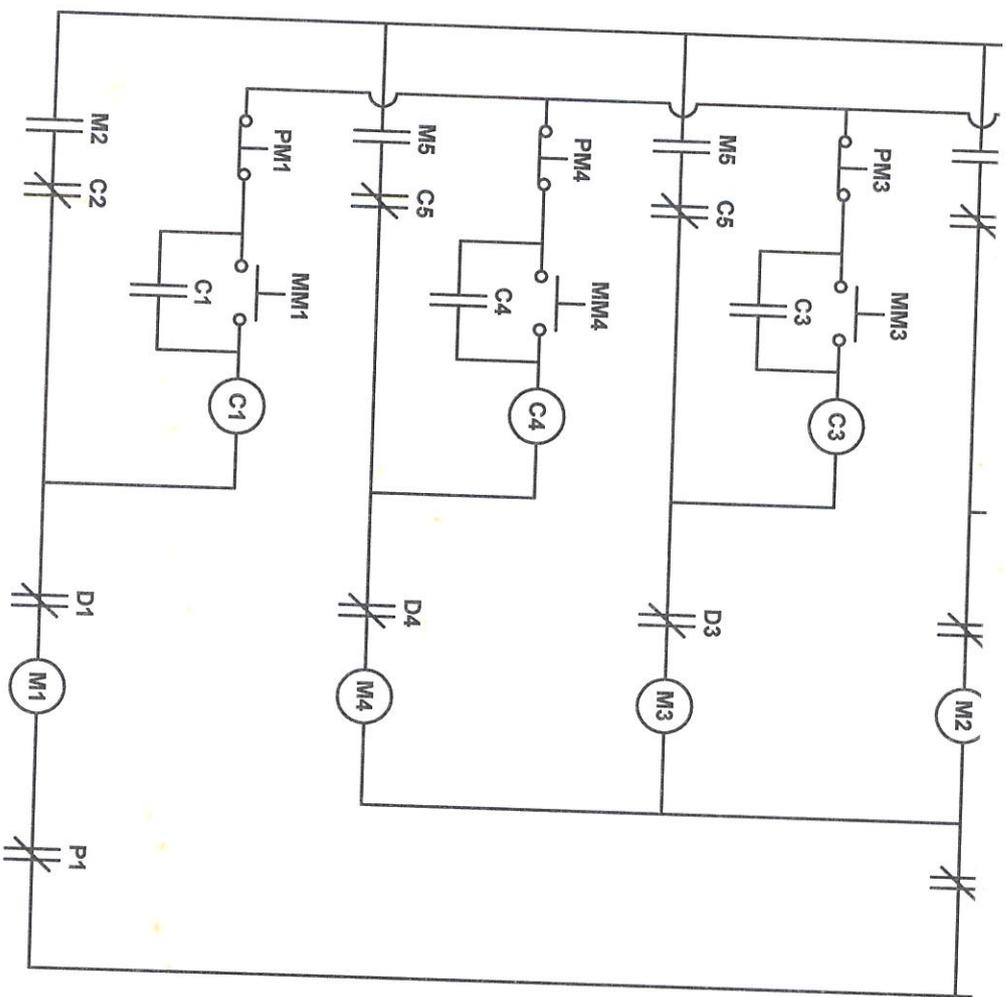
1 2 3 4 5 6

B C D E



ESPOL - FIMCP		SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL	
Contiene:	TOLVA DE ALIMENTACIÓN		
Diseñado por:	PATRICIO MORENO		
Sistema:	Escala: 1:15		
Revisado por:	ING. FEDERICO CAMACHO B		
Fecha:	27/05/05		Plano: PC-TA-01





ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL

Contiene:

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Diseñado por:

PATRICIO MORENO

Revisado por:

ING. FEDERICO CAMACHO B

Sistema:



Escala:

Sin Escala

Fecha:

27/05/05

Plano:

PC-SA-01

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Contiene:

ESPOL - FIMCP

SISTEMA DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE CARBÓN MINERAL



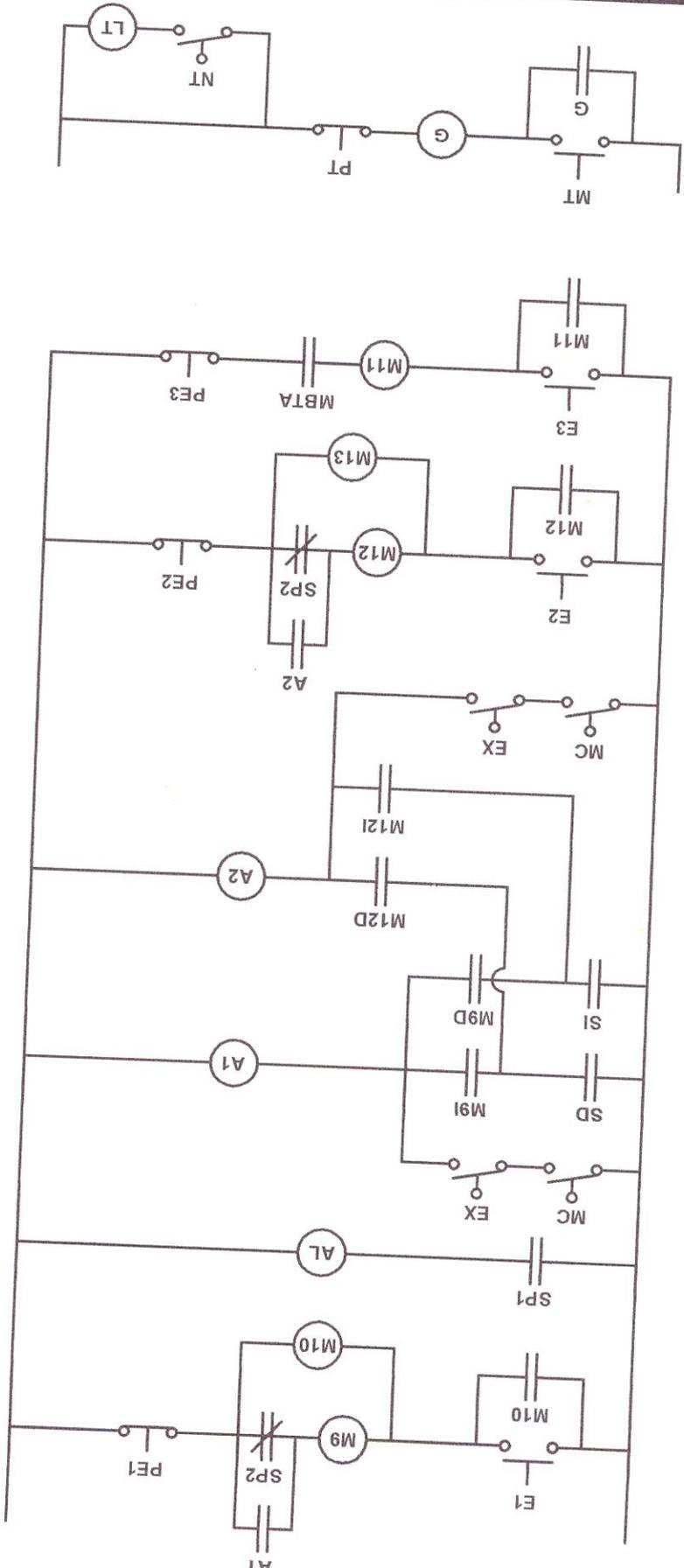
Sistema: Sin Escala

Fecha: 27/05/05

Plano: PC-SA-02

Diseñado por: PATRICIO MORENO

Revisado por: ING. FEDERICO CAMACHO B



A
B
C
D
E
F