

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“Análisis de los Procesos para implementar Sistemas
Complementarios en una Planta para Lavado de Arena”**

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Friné Vijaya Zherdmant Vélez

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2006

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Eduardo Rivadeneira P.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

Ing. Manuel Helguero G.

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Kleber Barcia V.

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

FRINÉ ZHERDMANT VÉLEZ

RESUMEN

El problema que se plantea en el siguiente trabajo es la selección, mantenimiento y montaje de los sistemas complementarios de una planta lavadora de arena. Algunos equipos han estado sin utilizar por alrededor de quince años y han estado a la intemperie sin ningún tipo de resguardo.

Los equipos complementarios que se han considerado en este trabajo son la tolva de descarga, la criba vibratoria y las bandas transportadoras. Todos estos sistemas conforman los sistemas complementarios del proceso de lavado de arena y solamente se analizarán estos equipos. El análisis de la lavadora de arena constituye otro trabajo complementario a este, pero que hay que efectuarlo previamente para los cálculos de productividad de los sistemas.

El principal objetivo de este trabajo es brindar la mejor alternativa para que pueda ponerse en marcha el Proceso de lavado de arena a un costo razonable y utilizando los recursos existentes. El único equipo que se diseñó fue la tolva puesto que esta no la tenían, a las demás maquinarias se le hará un mantenimiento completo para que puedan quedar operativas. También se confirmará que los equipos que se tienen la capacidad para ser usados.

La metodología seguida en este trabajo fue primeramente definir el proceso global del lavado de arena y efectuar un levantamiento de la situación actual de los equipos que se poseen, de esta manera se puede cuantificar los trabajos necesarios para dejar operativos todos los equipos, considerando los gastos de mantenimiento, reposición de repuestos y montaje. Para la selección y diseño de los equipos se tuvo que trabajar con los datos de productividad de la lavadora de arena efectuado en una tesis previa a esta.

El resultado esperado de esta tesis es la confirmación que con los equipos complementarios que se cuentan, puedan ser rediseñados y seleccionados para operar con las condiciones de productividad de la lavadora de arena. Además que los costos de mantenimiento y montaje de los equipos sean razonables y permitan a los inversionistas a ejecutar el proyecto utilizando los recursos ya existentes.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES y ANALISIS DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Identificación de necesidades y definición del problema.....	4
1.3. Determinación del Proceso de lavado de Arena.....	6
1.4. Diagrama del Proceso.....	11
1.5. Determinación del Layout del proceso.....	13

CAPITULO 2

2. MONTAJE DE TOLVA.....	14
2.1. Capacidad de la tolva.....	14
2.2. Esfuerzos en silos y tolvas.....	15
2.3. Diseño de la tolva.....	47
2.4. Costos de construcción de tolva.....	51
2.5. Costos de montaje de la tolva.....	53

CAPITULO 3

3. MANTENIMIENTO Y MONTAJE DE ZARANDA.....	55
3.1. Principios de Funcionamiento.....	55
3.2. Levantamiento de situación actual.....	60
3.3. Costos de mantenimiento.....	74
3.4. Costos de Montaje	77

CAPITULO 4

4. SELECCION Y MONTAJE DE TRANSPORTADORES.....	82
4.1. Principio de funcionamiento y tipos de transportadores.....	83
4.2. Selección y costo de componentes.....	90
4.3. Costos de Mantenimiento y montaje.....	105

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
--	-----

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

m	Metro
mm	Milímetro
rpm	Revoluciones por minuto
ASTM	American Society for Testing Materials
ISO	Organización Internacional de Normalización
TPH	Tonelada por hora
m/s	Metro sobre segundo
u	Micrones
m ²	Metro cuadrado
PSI	Libra sobre pulgada cuadrada
Ton	Toneladas
TM/h	Toneladas por hora
HP	Caballo de Fuerza
mg/l	Miligramo por litro

SIMBOLOGÍA

ρ_s	Densidad del material
ρ_B	Densidad al granel
ε	Porosidad
ϕ_w	Ángulo de fricción
ψ	Ángulo de inclinación de la rodaja
σ_n	Tensión normal
σ_t	Tensión tangencial
σ_r	Tensión radial
σ_y	Esfuerzo vertical
A	Área
P	Perímetro
K	Constante de Janssen
B	Abertura de la tolva
FF	Función de flujo
f_c	Fuerza de rendimiento no confinada
ff	Factor de flujo
a	Abertura de la tela
T	Cantidad material alimentado en la criba
C	Factor de capacidad
M	Factor de material retenido
K	Factor relativo a cantidad de alimentación menor
Q_n	Factor de corrección
W	Ancho nominal de la criba
D	Espesor de la camada
T_f	Cantidad material en extremidad de salida de criba
S	Factor de velocidad del material
A	Factor tipo de servicio rodillos
B	Factor B característica del material
N_e	Potencia total efectiva
N_v	Potencia accionar transportador vacío a 1 m/s

SIMBOLOGÍA

N_1	Potencia para trasladar 100T/h material a una distancia horizontal
N_h	Potencia para elevar o descender 100T/h de material a una altura H
N_d	Potencia para vencer rozamiento guías laterales a 1 m/s
Q	Cantidad de material transportado
η	Eficiencia
T_e	Tensión efectiva
V	Velocidad de la correa

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Tornillo sin fin en piscina para lavar arena..... 10
Figura 1.2	Diagrama del Proceso del Lavado de arena..... 12
Figura 1.3	Lay Out de la Planta propuesto..... 13
Figura 2.1	Esfuerzos en silos y tolvas..... 15
Figura 2.2	Gimnasta en estado pasivo y activo de esfuerzos..... 18
Figura 2.3	Trayectorias de la tensión principal en tolvas en el llenado y descarga..... 20
Figura 2.4	El diferencial rebanada en un silo..... 20
Figura 2.5	Diferencial de las rodajas planas en un depósito de alimentación 25
Figura 2.6	Rodaja cilíndrica, convexa y cóncava en tolvas..... 29
Figura 2.7	Esfuerzo vertical promedio en silo/tolva en 2D..... 33
Figura 2.8	Esfuerzo vertical y normal promedio experimental y Teórico durante la descarga del silo..... 34
Figura 2.9	Arco plano en la tolva..... 35
Figura 2.10	La medida de la fuerza de rendimiento sin confinar..... 36
Figura 2.11	Solución gráfica de la ecuación de diseño..... 41
Figura 2.12	Los valores del factor de flujo..... 46
Figura 2.13	Función $H(\alpha)$ para tolvas 2D y 3D..... 47
Figura 3.1	Estratificación y separación de partículas..... 59
Figura 3.2	Balance de Masas..... 65
Figura 4.1	Armadura de transportadores..... 84
Figura 4.2	Selección de rodillos..... 96
Figura 4.3	Espacio entre rodillos..... 96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1	Propiedades físicas de varios materiales polvorientos.....43
Tabla 2.2	Propiedades de la interacción de varios materiales polvorientos.....43
Tabla 2.3	Propiedades físicas para varios materiales cohesivos.....44
Tabla 2.4	Funciones de flujo para varios materiales cohesivos.....45
Tabla 2.5	Costos materiales de construcción.....52
Tabla 2.6	Costos mano de obra y total construcción de tolva.....53
Tabla 2.7	Costos de montaje de tolva54
Tabla 3.1	Espesor máximo de la camada.....64
Tabla 3.2	Factor de material retenido "M".....66
Tabla 3.3	Factor de corrección "K".....67
Tabla 3.4	Factor de capacidad "C".....67
Tabla 3.5	Factor de corrección "Q".....68
Tabla 3.6	Tipos de mallas.....72
Tabla 3.7	Tabla comparativa de telas normalizadas.....73
Tabla 3.8	Costos de mantenimiento de la zaranda.....76
Tabla 3.9	Costos de mano de obra mantenimiento de zaranda.....77
Tabla 3.10	Costos de montaje de zaranda.....80
Tabla 4.1	Propiedades de los materiales.....87
Tabla 4.2	Capacidad de diseño.....92
Tabla 4.3	Velocidades máximas recomendadas para materiales al granel.....94
Tabla 4.4	Factor A- Tipo de servicio.....95
Tabla 4.5	Factor B- Característica el material.....95
Tabla 4.6	Espaciamiento entre rodillos.....97
Tabla 4.7	Potencia para accionar transportador en vacío a 1 m/s.....99
Tabla 4.8	Potencia transportar 100T/H de material a una distancia horizontal100

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.9	Potencia para elevar o descender 100 T/H de material....100
Tabla 4.10	Eficiencias.....102
Tabla 4.11	Accesorios transportadores.....104
Tabla 4.12	Costos mantenimiento transportadores.....105
Tabla 4.13	Costos montaje de transportadores.....110

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis trata sobre el “Análisis de los Procesos para implementar Sistemas Complementarios en una Planta para Lavado de Arena”, enfocado en los siguientes equipos: tolva, zaranda y transportadores los cuales forman parte del proceso para la obtención de arena lavada de calidad que cumpla con Normas ASTM y poder abastecer al mercado nacional de la Construcción.

Poseemos la materia prima que es la arena de la cantera de nuestros inversionistas. También se tienen los transportadores y la criba vibratoria que son equipos que se adquirieron hace algún tiempo pero están en desuso y por eso es necesario su mantenimiento integral y posterior montaje. Se estudiará los gastos que se tendrá que hacer para la puesta en marcha de estos equipos.

En esta tesis se examina el diseño de la tolva que es ahí donde empieza nuestro proceso. Además se considerará los costos de construcción y montaje.

La inversión en que incurrirán los inversionistas será menor que si se adquirieran equipos nuevos además la recuperación es a mediano plazo.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES y ANALISIS DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Este proyecto nació de la necesidad que existe en el cantón Guayaquil de utilizar arena de buena calidad para la industria de la construcción y de agregados.

Además existe como antecedente, el hecho de que los inversionistas de este proyecto poseen en la actualidad los equipos principales para el proceso de lavar arena. Estos equipos fueron adquiridos a la empresa sueca ABV, la misma que construyó y montó la represa de Agoyán por 1984, y debido a que culminó ese

proyecto y al no tener más obras que ejecutar en el país vendió todas las maquinarias a precio de remate pero en la modalidad de paquetes, es decir que la persona que compraba tenía que adquirir todos los equipos que en el paquete constaban. Debido a que los inversionistas poseían en aquella época una cantera y existía dentro de uno de los paquetes que se ofertaban maquinarias que eran de su interés, compraron ese lote de equipos a finales de la década de los 80.

Los equipos principales para el proceso de lavado de arena son la criba vibratoria y la lavadora de espiras. Ambos equipos están en la actualidad sin uso. La criba vibratoria estuvo en funcionamiento hasta hace 3 años atrás, estando actualmente parada y desmontada en los predios de la cantera de los inversionistas, el caso de la lavadora de espiras es más crítico puesto que desde que se la adquirió nunca fue montada y ha permanecido a la intemperie todo este tiempo.

El fin de este proyecto es justamente analizar el costo que representaría a los inversionistas el dejar operativo esta planta, es

decir cuantificar los costos de mantenimiento, costos de desmontaje, costos de montaje, y costos de puesta a punto de la planta en su totalidad.

1.2. Identificación de necesidades y definición del problema

Actualmente la arena que se utiliza proviene básicamente de la explotada en las orillas del río Babahoyo y Guayas, sin embargo estas arenas no son de primera calidad ya que no cumplen las normas ASTM que define la granulometría necesaria para que la arena pueda ser utilizada como agregado en la fabricación del hormigón y otros elementos utilizados en la industria de la construcción como son bloques, adoquines, baldosas, etc. El mayor problema que presentan estas arenas es que dentro de su composición existen porcentajes altos de material arcilloso, el mismo que no es deseado si se desea utilizar esta arena como agregado, para evaluar si un tipo de arena sirve o no en cuanto a la cantidad de material arcillosos presente, la ASTM desarrollo un norma la que consiste en tomar una muestra de la arena y hacerla pasar por un tamiz normalizado (malla # 200) y se considera como muestra aprobada si como mínimo el 95% del peso de la muestra es retenida por la malla. En caso de obtener un porcentaje

menor de retención significa que la muestra contiene un alto porcentaje de material arcilloso y hay que someter a esa arena a un proceso de tal manera que el porcentaje de arcilla disminuya como máximo a un 5% del peso de la arena. Este es el motivo principal por el cual hay que lavar la arena previo a su comercialización.

Adicionalmente existe otro parámetro que hace a que la arena que se va a explotar en la cantera de este proyecto y es la forma de las partículas de la arena. Las arenas que son explotadas en los bancos de las orillas de los ríos tienen una forma esferoidal, esto es debido a que como están sometidos a la acción de la fuerza de las aguas del río, esta corriente va erosionando la partícula de arena pero de una manera uniforme, lo que produce que el grano de arena al depositarse en el fondo del lecho tenga ya una forma esferoidal. La forma de las partículas de la arena de nuestro proyecto, al ser explotadas de una cantera al aire libre y al no estar sujetas a alguna fuerza externa que vaya erosionando paulatinamente el contorno de las partículas las hace que estén mantengan una forma irregular. Esta forma irregular de la partícula de arena es una característica muy deseada en la

industria de la construcción, puesto que al utilizarse esta arena como agregado en la fórmula del hormigón el resultado que se obtiene es que esta arena produce una mayor cohesión entre todos los elementos del hormigón, dando como resultado un ahorro de materiales, especialmente el cemento, ya que para obtener un hormigón con determinadas características se necesita adicionar un porcentaje menor de cada uno de los materiales.

1.3. Determinación del Proceso de lavado de Arena.

El proceso escogido para la operación de esta planta ha sido seleccionado de tal manera que se puedan aprovechar las maquinarias que actualmente se poseen, de esta forma se ahorran gastos al proceso, explotando una cantera de arena en donde se ha comprobado la existencia de este material, así como la calidad del mismo. Esta cantera se encuentra ubicada en la Vía Perimetral de la ciudad de Guayaquil, en terrenos pertenecientes al cantón Daule en el sector Totoral.

Debido a la importancia del uso del agua dentro del proceso de lavado de arena, se ha escogido que el mejor sector para ubicar la

planta es justamente al pie de la Vía Perimetral, ya que este punto se encuentra a 150 metros del río Daule y queda cerca de una alcantarilla que atraviesa la vía. El sitio seleccionado además queda en el segundo terraplén, ubicado en la cota +17 m, de esta manera se aprovecharía la diferencia de altura con el tercer terraplén (cota +29.40), lugar donde se efectuaría la descarga del material proveniente de la cantera y con el primer terraplén (cota +6.5), en este sitio se efectuará el almacenamiento del material listo para ser despachado.

El proceso del lavado de arena comienza con la extracción de la arena en la cantera misma, existen varios puntos de extracción en la zona, ubicándose los mismos a una distancia entre 1.500 a 3.000 metros del sector donde se va a definir la ubicación de la planta de lavado de arena. Se ha determinado el uso de un tractor para el movimiento de tierras, así como una retroexcavadora o una cargadora frontal para poder cargar las volquetas que efectúen el transporte del material. Inicialmente se ha calculado un volumen de extracción de 300 TM/Hora

La velocidad mínima a la que deben de ir la volquetas es de 40 Km/h, esta velocidad no es difícil de alcanzarla en verano, época

en que por no haber lluvia el camino se encuentra en relativo buen estado, sin embargo en invierno esta velocidad es mas difícil de alcanzarla debido a que el camino se comienza a erosionar debido a la lluvias y los choferes de los camiones tienen que disminuir considerablemente la velocidad de sus vehículos para no estropearlos.

Los vehículos que transportan el material llegan al tercer terraplén y en este sitio lo descargan dentro de una tolva, dando inicio al proceso de lavado de arena en la planta.

En este sitio se efectúa una primera selección del tamaño del material a procesar al pasarlo a través de unas rejas estáticas dejando pasar material de tamaño máximo de 4". El producto grueso es descargado hasta el patio de almacenamiento y venderlo posteriormente.

Este producto previamente seleccionado es conducido hacia la zaranda en donde se va a clasificar el material en tamaño menor a 3/8". Con esta granulometría se va a trabajar en el resto del proceso, siendo el material grueso transportado al patio de

descarga para su posterior venta. La capacidad de producción de la zaranda es de 250 TM/H.

La arena con la granulometría adecuada tiene que ser separada nuevamente debido a motivos de productividad de la lavadora, esta tiene una productividad menor a la de la zaranda, y por ende tiene que entrar en el proceso de lavado solamente el volumen para la cual tienen la lavadora capacidad de trabajo. El resto de la arena se la transporta al patio de carga donde se va a proceder a la posterior venta como arena de menor calidad que la arena lavada.

El siguiente paso del proceso es el de lavado en sí, el material es conducido hacia la lavadora a través de un transportador de bandas, a la salida de la lavadora existe otro transportador de bandas que va a llevar el producto hasta el patio de carga para su posterior venta. La capacidad de producción de la lavadora es de 50 TM/hora, pensando para un futuro incrementar la producción con la adquisición de otra máquina. El principio de funcionamiento de la lavadora consiste en llenar una piscina que existe dentro de la lavadora con agua, y simultáneamente bombear continuamente agua desde la parte inferior de la piscina mientras se efectúa la descarga de la arena sin lavar en la parte superior de la piscina, de

tal manera que las partículas gruesas de la arena se vayan depositando sobre el fondo de la piscina mientras que las partículas más pequeñas van siendo arrastradas por el agua y desalojadas de la piscina por medio de rebose. Las partículas gruesas que se depositan en el fondo son arrastradas posteriormente por un tornillo sin fin y elevadas a un ángulo de 20° para que se produzca el desagüe de la arena.

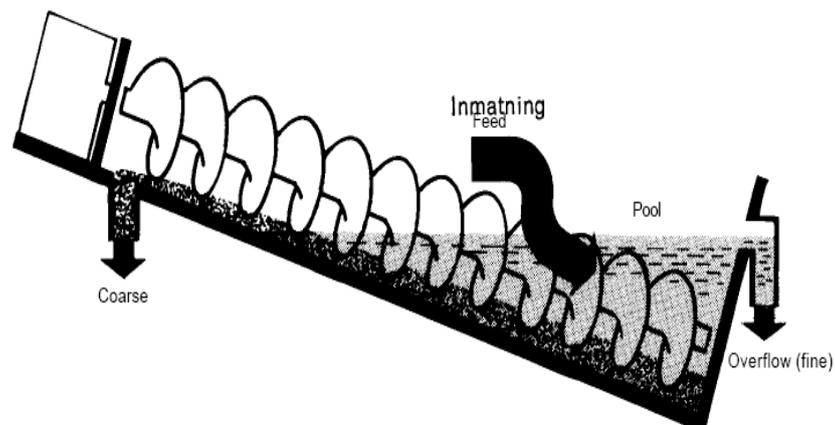


FIGURA 1.1. TORNILLO SIN FIN EN PISCINA PARA LAVAR ARENA

En el patio de carga se decidió tener un cargador frontal que despache los camiones de los diferentes clientes. Para tener un

control total sobre el despacho de material se ha decidido tener una balanza electrónica de alta sensibilidad para de esta manera poder facturar el peso exacto al cliente y así evitar pérdidas por mal despacho o mala facturación.

Adicionalmente, existe una reutilización del agua que sale por reboce de la piscina, la misma que es conducida a una piscina de decantación, para que se sedimenten las partículas que traen consigo y luego esta agua clarificada es conducida nuevamente a la piscina de bombeo para ser reutilizada en el proceso de lavado que se efectúa en la piscina de la lavadora de espiras.

1.4. Diagrama del Proceso.

El proceso descrito anteriormente queda expresado en el diagrama de la Figura 1.2.

Código	Sector
---------------	---------------

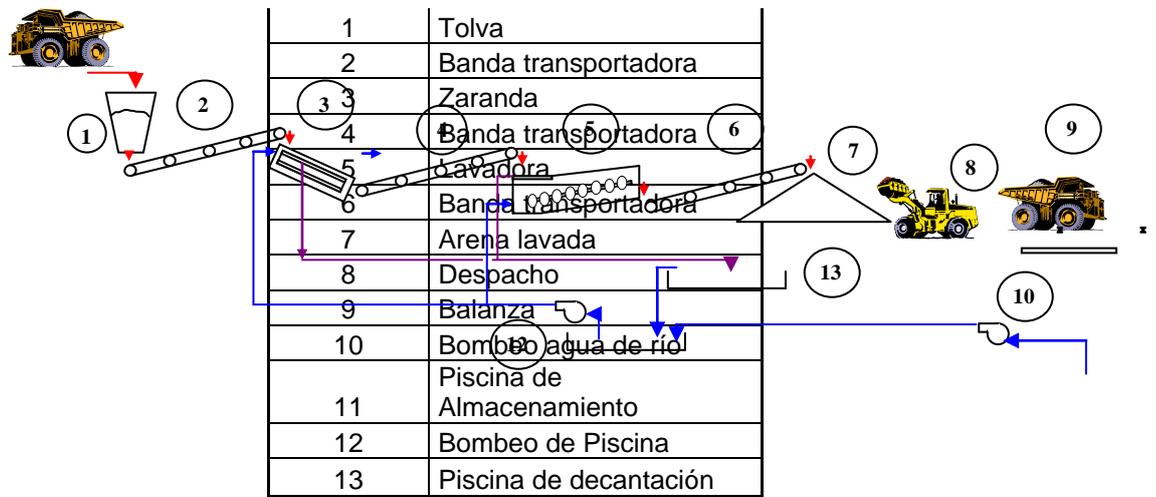


FIGURA 1.2. DIAGRAMA DEL PROCESO DEL LAVADO DE ARENA

1.5. Determinación del Lay out del Proceso.

El lay out del proceso queda determinado en la Figura 1.2. Puede existir en el futuro un aumento en la capacidad de producción y por ende habrá que hacer modificaciones al diagrama presentado. En el recuadro se indica cada una de las máquinas que componen la planta, ubicándolas a las posiciones que se han creído más convenientes para el mejor desempeño del proceso.

CODIGO	Parte de la Planta
A	Tolva
B	Transportador
C	Transportador
D	Zaranda
E	Transportador
F	Lavadora
G	Transportador

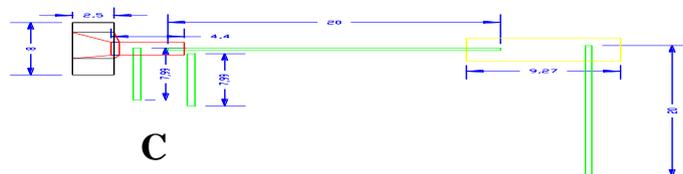


FIGURA 1.3 LAY OUT DEL PROCESO

CAPITULO 2

2. MONTAJE DE TOLVA

2.1 Capacidad de la tolva

La tolva de descarga es el punto donde se inicia en sí el proceso del lavado de arena, ya que es el elemento mecánico que recibe la materia prima, es decir la arena proveniente de la cantera, y desde donde se va a comenzar a dosificar la alimentación de la arena al transportador que carga a la zaranda.

La tolva va a estar diseñada para almacenar arena de una densidad de 1406 kg/ m^3 Además el volumen de la misma debe ser de por lo menos el doble de la capacidad de los camiones que la alimentan, ya que si se diseña con el volumen exacto que cada camión descarga por viaje puede presentarse algún inconveniente con el camión y de esta manera se tendría de un volumen extra que

permitiría que no se pare el proceso mientras se resuelve el problema del camión.

En este caso se escogió la tolva para un volumen de 20 m³., lo que representa 100% mas del volumen de carga de los camiones a utilizarse, esto representa que el volumen extra que se dispone permitiría que el proceso continúe por lo menos durante casi 24 minutos más sin que se le añada otra descarga de otro camión.

2.2 Esfuerzos en silos y tolvas

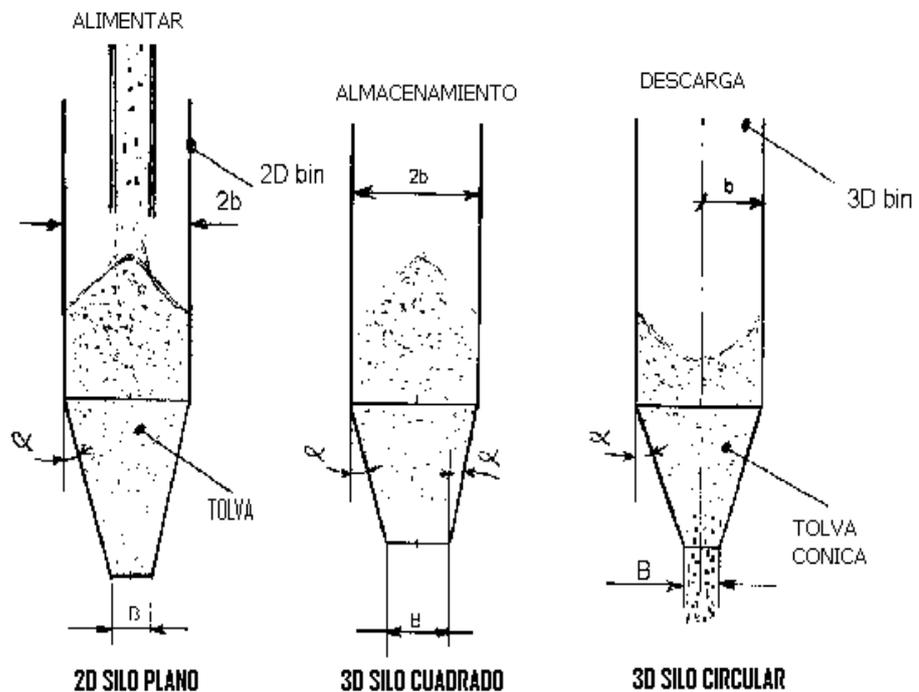


FIGURA 2.1. ESFUERZOS EN SILOS Y TOLVAS

Un silo para el almacenamiento de polvo normalmente es una estructura alta que consiste en un cuerpo rectangular o cilíndrico de sección constante conectada en la parte inferior a una sección prismática o cónica que es el depósito de alimentación o tolva, como se muestra esquemáticamente en Fig. 2.1.

El propósito de esta sección es calcular las tensiones estáticas.

Los silos se encuentran en formas y tamaños diferentes pero para las consideraciones presentes se analizan sólo las geometrías mostradas en Fig. 2.1. Éstos son los silos planos o en 2D (Fig. 2.1a), los silos cuadrados en 3D con el ancho $2b$ (Fig. 2.b) y los silos redondos 3D con el diámetro $2b$ (Fig. 2.1c).

El depósito de alimentación tiene dos características geométricas adicionales a saber el medio-ángulo y la dimensión de la toma de corriente o salida, B .

El material de polvo guardado en el silo se caracteriza por su densidad a granel

$$\rho_B = \rho_s (1-\varepsilon) = \rho_s \cdot v = \Upsilon / g$$

donde ρ_s es la densidad material, ε es la porosidad, $v = 1 - \varepsilon$ es el fragmento sólido y $\Upsilon = \rho_B g$ es la gravedad a granel específica.

Estas propiedades de polvo se complementan por una característica del polvo-silo-pared que se llama ángulo de fricción de pared-polvo, ϕ_w . Ambos ε y ϕ_w tienen que ser medidos experimentalmente y son propiedades intrínsecas del material a granel y la pared del silo.

El método para determinar las tensiones en el silo se desarrolló originalmente por Janssen [1895] para calcular los esfuerzos en la pared pero también puede usarse para encontrar las tensiones en el material a granel. El método fue generalizado después y aplicado para calcular las tensiones en la tolva.

También se llaman a estos estados de tensión Rankine y se definieron primero en las mecánicas de la tierra [Nedderman, 1992]. Una descripción simplista pero pintoresca de los dos estados de tensión puede obtenerse viendo al gimnasta que intenta sostenerse en dos paredes verticales, paralelas como mostrado en Fig. 2.2.

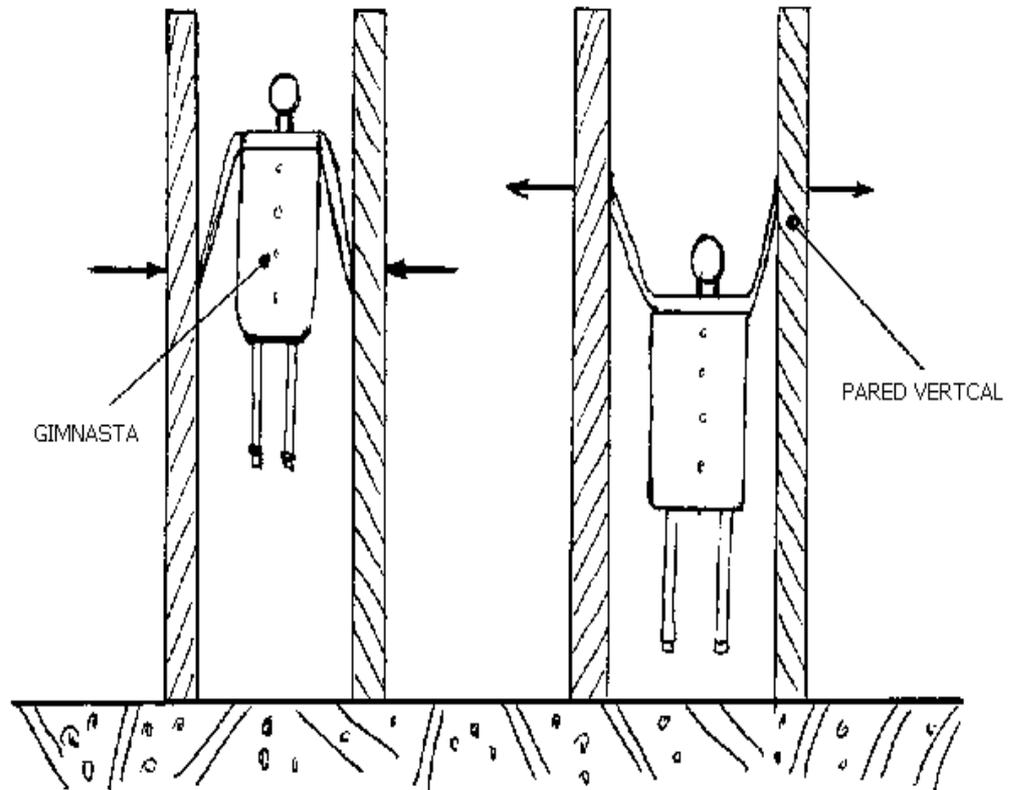


FIGURA 2.2. GIMNASTA EN ESTADO PASIVO Y ACTIVO ESTADO DE ESFUERZOS.

El gimnasta está en el equilibrio y soporta su propio peso por la fricción de sus manos en las paredes. En la posición superior (Fig. 2.2a) el gimnasta se siente como si las paredes están empujándose hacia él; las tensiones máximas en sus manos y en la parte superior del cuerpo están principalmente horizontales. Éste es el llamado estado pasivo. En la (Fig. 2.2b), posición colgante él se siente como si las paredes fuesen tiradas separadamente; las tensiones máximas en su cuerpo son principalmente verticales. Éste es el estado activo.

Normalmente se generan las tensiones más grandes en el estado activo en comparación con el estado pasivo.

Similares resultados se obtienen en los silos del almacenamiento (en los silos y tolvas) y es asociado con llenar y descargar el material a granel del silo. Durante el llenado el polvo a granel es cargado por encima del silo. El material se coloca en un montón y se sostiene por las paredes del recipiente de manera algo similar como el gimnasta en Fig. 2.2b, generando el estado activo de tensión.

Durante la descarga, el material se retira desde la abertura final, abajo del depósito de alimentación y el polvo arquea en la pared y genera el estado pasivo de tensión. Esta situación se pinta esquemáticamente en Fig. 2.3 (sólo se presenta en la tolva) donde el estado activo de tensión es asociado con llenar y almacenar, mientras que el estado pasivo está asociado con la descarga.

La tensión σ_1 en Fig. 2.3, se llama tensión principal mayor, ocurre en un plano sin la presencia de tensiones de esquila. En la mayoría de las situaciones prácticas ambos estados el activo y el pasivo coexisten como mostrado en Fig. 2.3c, con el punto cambiando normalmente entre el silo y la tolva.

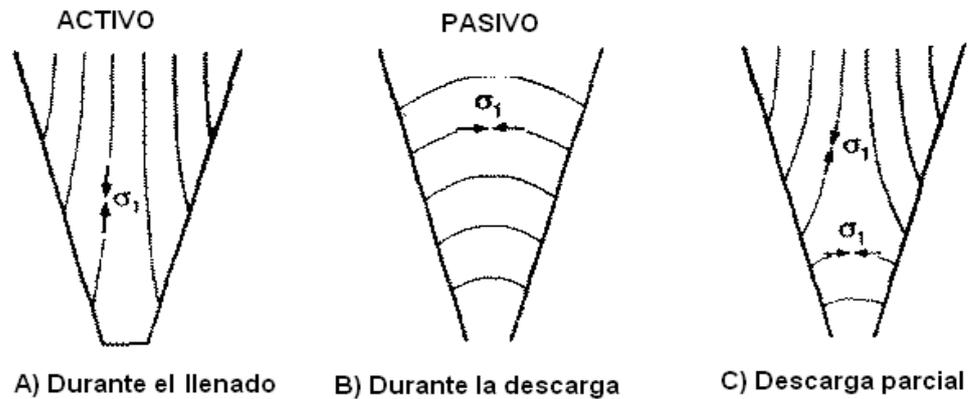


FIGURA 2.3. TRAYECTORIAS DE LA TENSIÓN PRINCIPAL EN TOLVAS EN EL LLENADO Y DESCARGA

Considere la rodaja del diferencial de material de volumen mostrado Fig. 2.4.

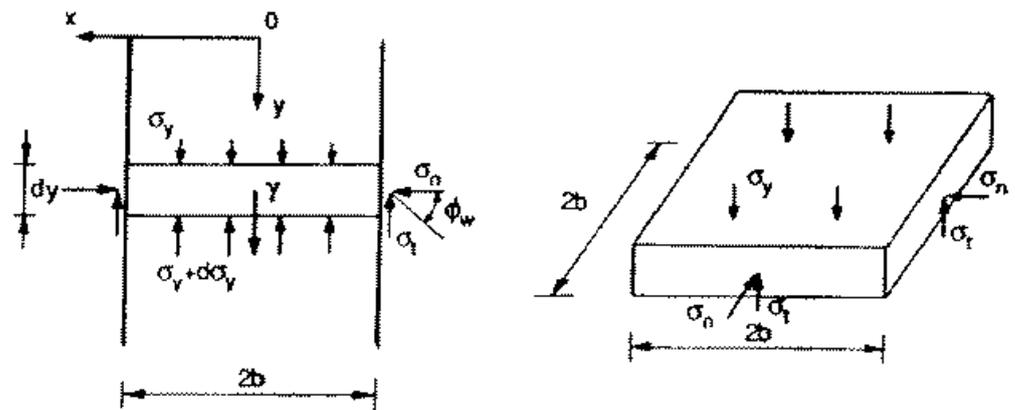


FIGURA 2.4. EL DIFERENCIAL REBANADA EN UN SILO

La rodaja se toma en alguna parte en el medio de la caja. El origen del sistema de coordenadas está en la cima del llenado con el eje

de y que apunta y extiende hacia abajo. La figura muestra una rodaja 2D de anchura $2b$ y una rodaja rectangular de dimensiones $2b \times 2b$ (la rodaja redonda correspondiente de radio b no se muestra). Dos tensiones, la media tensión vertical dentro de la rodaja σ_y y la media tensión tangencial σ_t en la pared determinan el equilibrio de la rodaja en la dirección vertical. La tercera tensión, la media tensión normal en la pared σ_n , se relaciona a la tensión tangencial por la ley de fricción, $\sigma_t = \sigma_n \tan \phi W$. Permitiendo que el espesor de la rodaja (vea Fig. 2.4a) sea $2b \gamma dy$ y por consiguiente su peso es $2b \gamma dy$ y tomando la media fuerza vertical a la superficie superior de la rodaja que es $2b \sigma_y$ (y la fuerza en la superficie de abajo es $2b (\sigma_y + d\sigma_y)$), la expresión de equilibrio de fuerzas es :

$$2b \sigma_y - 2b (\sigma_y + d\sigma_y) - 2b dy \sigma_t + 2b \gamma dy = 0$$

Simplificando la ecuación anterior y dividiendo por $2b dy$ dan la siguiente fórmula diferencial

$$d\sigma_y / dy + \sigma_t / b - \gamma = 0$$

Es fácil mostrar que una ecuación similar se obtiene para las rodajas rectangulares y cilíndricas sólo que el segundo término en el lado de la izquierda se multiplica por un factor de dos. La forma

general de la ecuación anterior se vuelve (para todos los recipientes considerados en fig. 2.1)

$$d\sigma_y / dy + m \sigma_t / b - \gamma = 0$$

donde, $m = 1$ para el plano, 2D y $m = 2$ para las rodajas cilíndricas y rectangulares. Una generalización extensa de la ecuación anterior se obtiene definiendo el radio hidráulico del silo cualquier cruce de sección de cualquier forma como $R = A / P$ dónde A es el área y P es el perímetro. Con esta anotación, la ecuación de equilibrio se vuelve

$$d\sigma_y / dy + \sigma_t / R - \gamma = 0$$

En lo que sigue, se empleará m que es una constante geométrica para la aplicación para las tolvas.

No se puede directamente ya que contiene dos incógnitas, el medio vertical σ_y y la media tensión tangencial σ_t . Para obtener una solución, se requiere de información adicional como una correlación entre las dos tensiones. Janssen propuso una correlación:

$$\sigma_t = K \sigma_y$$

donde K es la llamada constante de Janssen. Implica una relación constante entre las dos tensiones del promedio, independiente de la geometría de la rodaja y, mientras no hay ninguna razón física como una relación tal que deba sostener, se encontró en la práctica que para los cálculos industriales rutinarios los resultados son bastante exactos.

$$d\sigma_y / dy + m K \sigma_y / b - \gamma = 0$$

La cual produce una solución general de la fórmula

$$\sigma_y = [(\gamma b / m K) \exp(-m K y / b) + C] \exp(-m K y / b)$$

y donde el C es una constante de integración. Usando la condición que en el límite de la cima de llenado la tensión es cero o que $\sigma_y = 0$ cuando $y = 0$, se consigue la solución

$$\sigma_y = (\gamma b / m K) [1 - \exp(-m K y / b)] = \sigma_{y\max} [1 - \exp(-m K y / b)]$$

que es una función exponencial con un valor máximo a profundidad grande o los valores grandes de y, dado por el $\sigma_{y\max} = \gamma / (m K)$. A las distancias muy pequeñas, cerca de la superficie superior del silo, uno puede extender la función exponencial como

$$\exp(-m K y / b) \approx 1 - m K y / b + \dots$$

Esto es exactamente la tensión encontrada en un fluido estático de densidad constante y es la llamada presión hidrostática. Se ve que la media tensión vertical en un polvo a granel sigue la distribución de presión hidrostática en un fluido de la misma densidad pero se desvía de este valor a las distancias grandes debajo de la superficie alcanzar valor constante máximo de $\sigma_{y\max}$.

Ésta es una propiedad interesante de sólidos a granel que es debido a la fricción entre los granos y entre los granos y las paredes del recipiente. En el fluido, el peso entero se apoya por el plato del fondo del vaso de contenido. Los polvos, por otro lado, expuestos a fricción y por consiguiente algo de peso está soportado por la pared. La implicación global es que por debajo de una cierta profundidad en el polvo, todo el peso se apoya por las paredes a través de fricción que genera cualquiera de los estados activos o pasivos de tensión como se explicaba anteriormente.

La media tensión de la pared tangencial se da como una función de σ_y por la fórmula 2.6, la media tensión normal en la pared n

puede calcularse de la definición del ángulo de fricción de la pared (vea Fig. 2.4) como

$$\sigma_n = \sigma_t \cot \phi_w = K \sigma_y \cot \phi_w = (\gamma b / m) [1 - \exp(-m K y / b)] \cot \phi_w$$

El método de Janssen se extendió primero a los depósitos de alimentación por Walker (1966) y como consecuencia se mejoró por muchos autores; una cuenta detallada de los resultados principales se da por Drescher [1991].

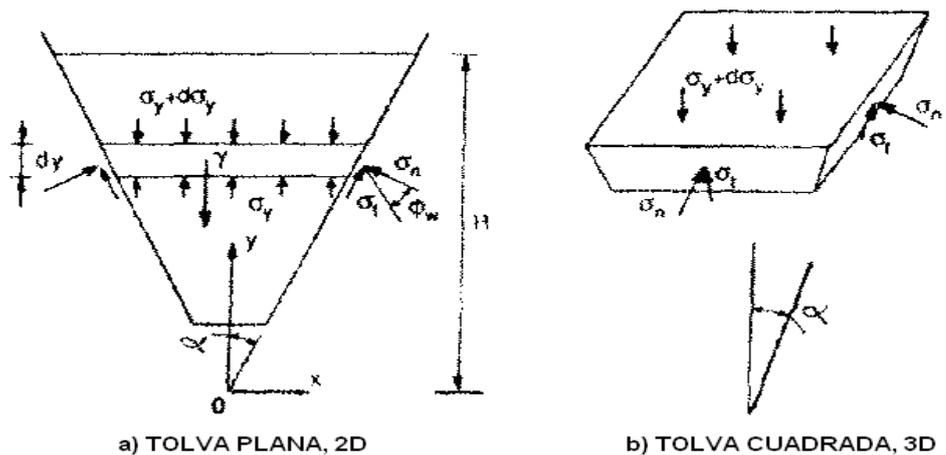


FIGURA 2.5. DIFERENCIAL DE LAS RODAJAS PLANAS EN UN DEPÓSITO DE ALIMENTACIÓN

Se toma la anchura variante del depósito de alimentación como $b = y \tan \alpha$. El equilibrio de la rodaja en la dirección vertical se vuelve como antes

$$2 y \tan \alpha \sigma_y - 2 \tan \alpha (y + dy) (\sigma_y + d\sigma_y) + 2 dy (\sigma_n \tan \alpha + \sigma_t) - 2 \gamma y dy \tan \alpha = 0$$

Donde los términos adicionales aparecen debido a la orientación de las paredes. Dividiendo la ecuación entera por $2 \tan \alpha d\sigma_y dy$ olvidando el término $2 \tan \alpha d\sigma_y dy$ por ser muy pequeño comparado con otros términos, uno obtiene la forma diferencial

$$d\sigma_y / dy + (1 / y) (\sigma_y - \sigma_n - \sigma_t / \tan \alpha) + \gamma = 0$$

donde todos los esfuerzos, la vertical σ_y , la pared tangencial σ_t , y la tensión de la pared normal σ_n , aparecen. Es nuevamente fácil mostrar que para las tolvas cónicas y cuadradas se aplica la misma ecuación con un coeficiente modificado en el segundo término del lado izquierdo

$$d\sigma_y / dy + (m / y) (\sigma_y - \sigma_n - \sigma_t / \tan \alpha) + \gamma = 0$$

donde $m = 1$ para el 2D plano y $m = 2$ para la 3D en rodaja. Tomando la correlación propuesta por Janssen como $\sigma_t = K \sigma_y$ y relacionando las tensiones normales y verticales como $\sigma_n = K \sigma_y \cot \phi_w$, la ecuación del diferencial anterior se reduce a

$$\frac{d\sigma_y}{dy} + m \frac{N\sigma_y}{y} + \gamma = 0$$

Aquí $N = 1 - K (\cot \alpha + \cot \phi_w)$ es un parámetro material que reemplaza la constante de Janssen, K .

Para el caso en que $mN \neq -1$ hay una solución analítica general de la ecuación anterior en la siguiente fórmula

$$\sigma_y = -\frac{\gamma y}{1 + mN} + C y^{-mN}$$

donde C es una constante de integración. Esta constante puede determinarse imponiendo un valor de la tensión vertical γ a la superficie superior del depósito de alimentación cuando $y = H$ y esto produce una distribución de tensión exponencial. Si el silo está principalmente vacío y el material en el depósito de alimentación exhibe una superficie libre, puede tomarse la tensión vertical a la cima como el cero y la solución se vuelve

$$\sigma_y = \left[-\frac{\gamma y}{1 + mN} \right] \left[1 - \left(\frac{H}{y} \right)^{1+mN} \right]$$

Se encontró por muchos investigadores que la tensión al punto que une no es continua y de hecho las existe una discontinuidad grande que produce un valor máximo al punto de conexión. Es por consiguiente normalmente incorrecto igualar la tensión vertical a la cima del depósito de alimentación con la tensión máxima al fondo

de la tolva para obtener una solución general para la distribución de tensión. Hay muchas explicaciones para esta conducta peculiar pero todos se relacionan a la fricción de la pared por la manera que actúa el polvo en la pared del silo y la pared del depósito de alimentación de la tolva y si o no se esta llenando o vaciando el material en el silo.

Para conseguir la solución aproximada, uno asume que el depósito de alimentación es alto y se busca una solución para los valores pequeños de la distancia y del ápice. Bajo estas condiciones la constante de integración $C = 0$ y uno obtiene los resultados aproximados para las tensiones en la parte más baja del depósito de alimentación como

$$\sigma_y = - \gamma y / (1 + m N) ; \sigma_t = - \gamma y K / (1 + m N);$$
$$\sigma_n = - \gamma y K \cot \phi_w / (1 + m N)$$

Los tipos de rodajas en las tolvas se presentan en la figura 2.6 a continuación.

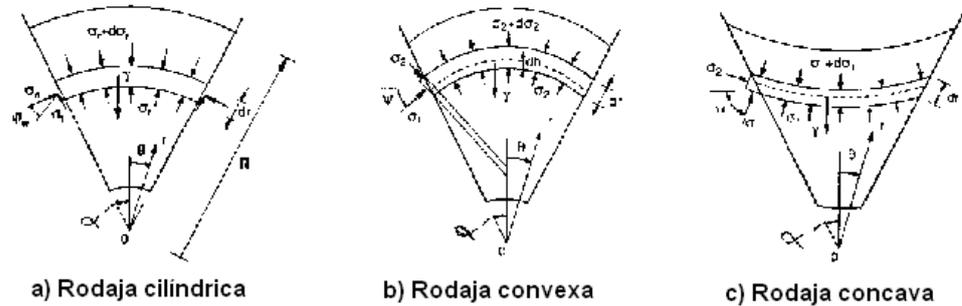


FIGURA 2.6. RODAJA CILINDRICA, CONVEXA Y CONCAVA EN TOLVAS.

Por ejemplo, usando la rodaja cilíndrica mostrada esquemáticamente en la fig. 2.6a el rendimiento promedio aproximado de la tensión radial es

$$\sigma_r = - \gamma M r / (1 + m N)$$

donde $M = (2 - m) \alpha / \sin \alpha - 2 (1 - m) / (1 + \cos \alpha)$, $M = (2 - m)$, y $m = 1$ para el plano, cilíndrico y $m = 2$ para el depósito de alimentación cónico y r es la distancia radial.

La geometría de las rodajas alineada con las tensiones principales también se muestra en Fig. 2.6 como la rodaja convexa para σ_2 eso representa el estado pasivo y la rodaja cóncava para σ_1 eso representa el estado activo de tensión. La característica más importante de estas rodajas es el hecho que sólo hay presente

tensiones normales y todas las tensiones de la esquila son cero. La orientación de la rodaja hace un ángulo con el horizontal como mostrado en la figura. La tensión máxima es conocida también como la tensión menor principal entonces, para el estado pasivo, es decir, la rodaja convexa (vea Fig. 2.6b), es

$$\sigma_2 = \sigma_1 / K = - \gamma F r / (1 + m G)$$

donde las constantes F y G se obtienen en las ecuaciones abajo mostradas:

$$F = \frac{(2 - m) \psi \sin \alpha - 2(m - 1) \sin \alpha (1 - \cos \psi)}{(\sin \psi)^{1+m}} + \frac{\cos (\psi - \alpha)}{\sin \psi}$$

$$G = 1 + \frac{\cos \psi \sin (\psi - \alpha) - K \sin \psi \cos (\psi - \alpha)}{\sin \alpha}$$

y se reemplaza los coeficientes M y N. La tensión σ_1 , en la ecuación anterior se muestra esquemáticamente en Fig. 2.3b. Un juego similar de valores puede obtenerse para el estado activo de tensión, es decir, la rodaja cóncava mostrada en Fig. 2.6c donde los coeficientes F y G son ligeramente diferentes.

Para calcular la constante de Janssen, algunos autores usan esta definición ligeramente diferente

$$K = k \tan \phi_w$$

donde k también se denota a veces como la constante de Janssen. Además, los valores diferentes de, K, son usados para silos y tolvas, y algunos se dan debajo. Todas estas correlaciones son aproximadas y dan valores ligeramente diferentes incluso por las mismas condiciones.

La constante de Janssen para las silos se determina con la sig. Ecuación:

$$K = [(1 - \kappa \sin \phi) / (1 + \kappa \sin \phi)] \tan \phi_w$$

donde $\kappa = 1$ para el esfuerzo activo y $\kappa = -1$ para la tensión pasiva.

Para las tolvas los diferentes valores del coeficiente K que se obtienen para las formas diferentes de la rodaja; por ejemplo, el caso de la rodaja plana son:

$$K = [(1 - \kappa \sin \phi \cos 2 \phi_w) / (1 + \kappa \sin \phi)] \tan \phi_w$$

Considerado la rodaja convexa, el valor del K constante se da por la siguiente fórmula:

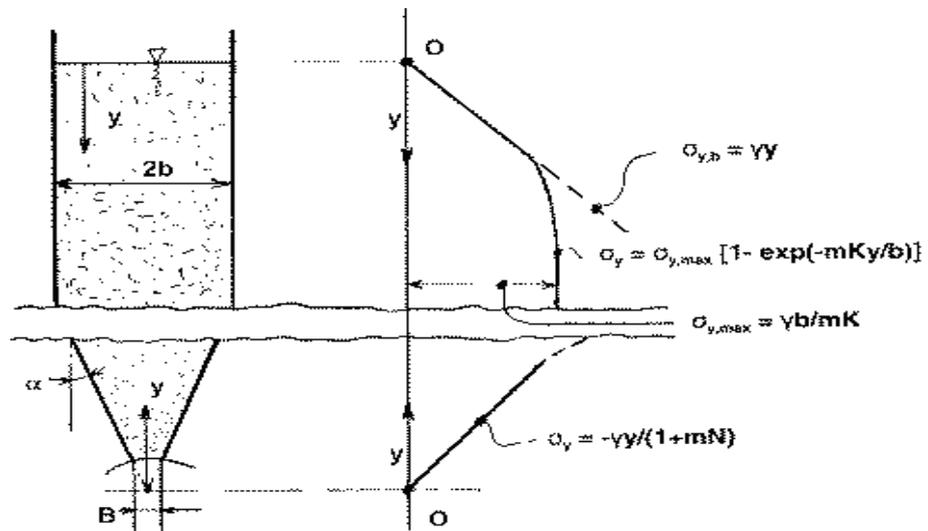
$$K = [(1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)]$$

y el ángulo de inclinación de la rodaja ψ , (vea Fig. 2.6b) se vuelve

$$\psi = (1 + \kappa) \pi / 4 - \kappa (\arcsin[\sin \phi_w / \sin \phi] - \kappa \phi_w) / 2 + \alpha$$

donde de nuevo $\kappa = 1 = 1$ para el esfuerzo activo y $\kappa = -1$ para la tensión pasiva.

Las correlaciones anteriores para la rodaja plana en la caja y el depósito de alimentación se usa en Fig. 2.7 para representar la media tensión vertical en un silo.



**FIGURA 2.7. ESFUERZO VERTICAL PROMEDIO EN SILO /
TOLVA (ECUACIONES EN 2D)**

El pedazo de la unión entre el silo y la tolva está cortado en la figura y ninguna de las ecuaciones para el cálculo de tensión es estrictamente válido para esa región. La tensión vertical del silo aumenta siguiendo la presión hidrostática linealmente a la cima pero se desvía en la profundidad, el valor máximo se muestra en la figura. La tensión vertical en la tolva es lineal con la distancia del ápice a la parte más baja del dispositivo y se desvía exponencialmente a las distancias más grandes fuera del fondo. Las expresiones más rigurosas para el esfuerzo medio en la tolva se dan para rodajas cilíndricas y convexas con K encontrados.

El estado activo de tensión es asumido en el silo y el estado pasivo en el depósito de alimentación o tolva. La tensión en el silo varía linealmente mientras la tensión en la tolva es al principio lineal y después aumenta exponencialmente. Esta conducta es porque el silo es relativamente corto y las tensiones no alcanzan su máximo, el valor es asintótico. Uno también puede ver las crestas de tensión grandes que ocurren al punto de la unión entre el silo y la tolva.

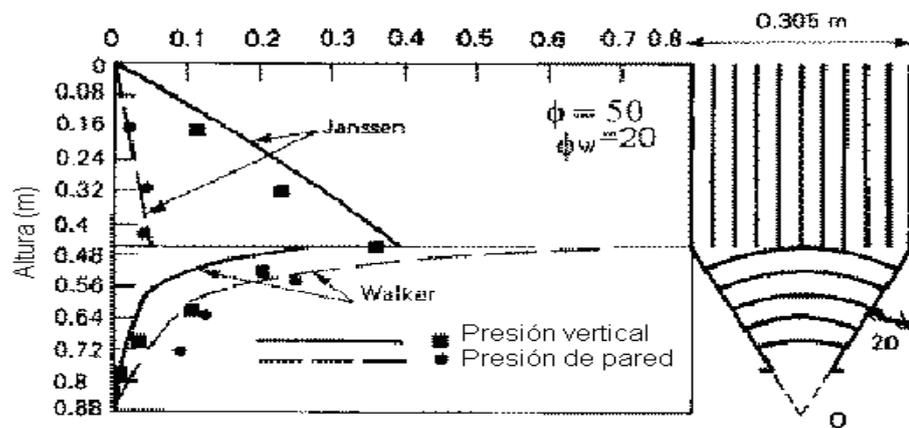


FIGURA 2.8. ESFUERZO VERTICAL Y NORMAL PROMEDIO EXPERIMENTAL Y TEORICO DURANTE DESCARGA DEL SILO

Una distribución de tensión típica en un silo llenado de un polvo a granel se muestra en Fig. 2.7. En el depósito de alimentación o tolva convergiendo el material está bajo la tensión decreciente y se pone totalmente un-comprimido al ápice. Si un agujero suficientemente pequeño fuera cortado en lo más bajo de la tolva,

el material no fluirá fuera desde las tensiones alrededor del ápice es bastante pequeño. Esto está en la marcada diferencia de la conducta de fluidos dónde la presión aumenta continuamente (siguiendo el $\sigma_{y,h}$ de distribución de tensión hidrostático en Fig. 2.7) y alcanza un máximo al fondo.

Para descargar el polvo del silo es necesario proporcionar una gran apertura al fondo del depósito de alimentación para asegurar el flujo. El método de Jenike para el diseño de tolva esta basado en esta observación. El diseño de la tolva está reducido en este contexto al cálculo de la dimensión de la abertura mínima B (vea las Fig. 2.1a y 2.9) para que los arcos de material que pontean la salida se rompan bajo su propio peso. Esta dimensión dependerá de las propiedades de polvo que determinan la tensión en el depósito de alimentación y el medio-ángulo de la tolva.

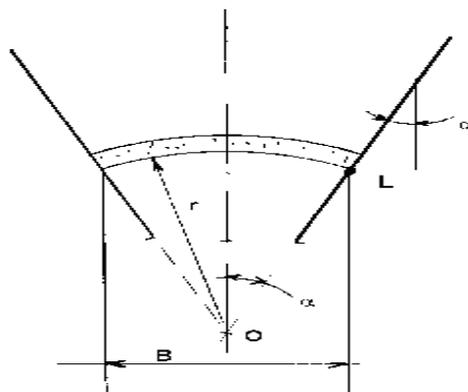


FIGURA 2.9. ARCO PLANO EN LA TOLVA

La figura 2.9 muestra que un arco en 2D plano se formó en un depósito de alimentación. La tensión máxima en el arco (debido a su peso) se ve para ser proporcional a su abertura B y a la densidad de volumen del material; la situación de esta tensión máxima está en el estribo del arco al punto L y puede aproximarse:

$$\sigma_{1,a} \approx \gamma B = 2 r \gamma \sin \alpha$$

La ecuación anterior puede generalizarse [Shamlou, 1990] para 2D y 3D arco cónico:

$\sigma_{1,a} = [2 r \gamma \sin \alpha / m]$ donde $m = 1$ para los 2D y $m = 2$ para el depósito de alimentación cónico y $B = 2 r \sin \alpha$.

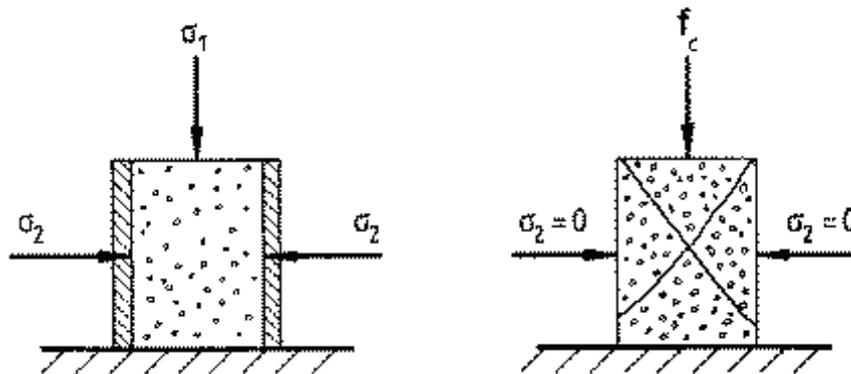


FIGURA 2.10. LA MEDIDA DE LA FUERZA DE RENDIMIENTO SIN CONFINAR

La propiedad del polvo tiene que ser medida experimentalmente. La figura 2.10 muestra el procedimiento más simple para medir esta propiedad.

El espécimen está contenido en un vaso cilíndrico y pre-comprimido por la tensión normal, σ_1 , como se lo muestra en la figura 2.10. En el paso subsiguiente, la tensión se detiene y las paredes del recipiente son alejados de la superficie del polvo libre. El espécimen está de nuevo comprimido hasta que la tensión normal denotada en Fig. 10 como el f_c . El experimento se repite a varios intervalos de tiempo incrementando σ_1 , y los valores del esfuerzo del no confinamiento es moderado. Se ponen en correlación pares de tensiones en la siguiente ecuación:

$$f_c = FF(\sigma_1)$$

Esta relación experimentalmente obtenida es una característica intrínseca del polvo como su densidad a granel, ρ_B y su ángulo de fricción interior ϕ , y se denotó por Jenike como la Función de Flujo. En la práctica industrial, las propiedades de polvo anteriores y el ángulo de fricción de la pared, ϕ_w , es moderado en un dispositivo especial inventado por Jenike y lo llamó una *split cell*.

Como visto en la correlación anterior, la fuerza del rendimiento, el f_c , del material es una función directa de la tensión, σ_1 , considerando esfuerzo largo. Este resultado tiene una implicación mayor en el diseño del silo en vista de la variación de tensiones de consolidación en el mismo como calculado en las secciones anteriores y mostradas en Fig. 2.7; el material fortalece cuando entra hacia abajo pero se pone más débil dentro del depósito de alimentación cuando se acerca el ápice.

La mayoría de polvos finos exhiben una fuerza de rendimiento no confinados, f_c , éstos normalmente se llaman los materiales cohesivos. Hay sin embargo, una clase de polvos de tamaño más grandes donde el valor de f_c es prácticamente cero para incluso consolidaciones grandes. Éstos son los materiales llamados non-cohesivos o libre-fluidos, unos ejemplos se dan en la Tabla 2.1. El material libre-fluido normalmente mayormente conocido es la arena fina, seca. La Tabla 2.2 muestra funciones de flujo FF, para varios materiales cohesivos así como los valores del ángulo de interior y fricción de la pared, como medido por el Drescher (1995).

El criterio de diseño para las tolvas que usan cualitativamente ahora la tensión máxima al estribo del arco, $\sigma_{1,a}$ y los esfuerzos no

confinados f_c , llamado criterio de flujo-no-flujo. Para romper el arco y el polvo pueda fluir, la tensión máxima tiene que superar la fuerza del rendimiento

$$\sigma_{1,a} \geq f_c$$

El estado crítico ocurre cuando se sostiene la igualdad y donde la abertura crítica, B_{crit} , se obtiene. La solución al problema anterior se reduce a encontrar la posición, r , (vea Fig. 2.9) o el arco, B sostiene con $\sigma_{1,a}$ y f_c dados por

$$\sigma_{1,a} = [2 r \gamma \sin \alpha] / m = B \gamma / m ; \quad f_c = FF(\sigma_1)$$

y donde σ_1 es la tensión consolidada en el depósito de alimentación. Esta tensión ha sido previamente calculada. Uno tiene que notar que las tensiones σ_y y σ_r no son las tensiones principales y no pueden usarse directamente en la ecuación anterior. La tensión σ_1 en la rodaja convexa es sin embargo una tensión principal y puede combinarse con las ecuaciones anteriores para cerrar el sistema

$$|\sigma_1| = K \gamma F r / (1 + m G)$$

La dificultad se levanta en el formulario no-explicito de la Función de Flujo, FF que normalmente se da gráficamente. Para superar

esta dificultad, Jenike propuso en el primer poder del radio, r , y para calcular la proporción

$$ff = \sigma_1 / \sigma_{1,a} = K F m / [2 \sin \alpha(1 + m G)]$$

Se ve que esta relación sólo depende de las propiedades de los materiales y se denotó por Jenike como el factor de flujo.

$$f_c = FF(\sigma_1) ; \quad \sigma_{1,a} = (1 / ff) \sigma_1$$

y se resuelve gráficamente cortando la curva de la Función Flujo FF con una línea a través del origen con la cuesta, $\tan \eta = 1 / ff$, en un sistema de la coordenada con σ_1 como la ordenada como muestra Fig. 2.11.

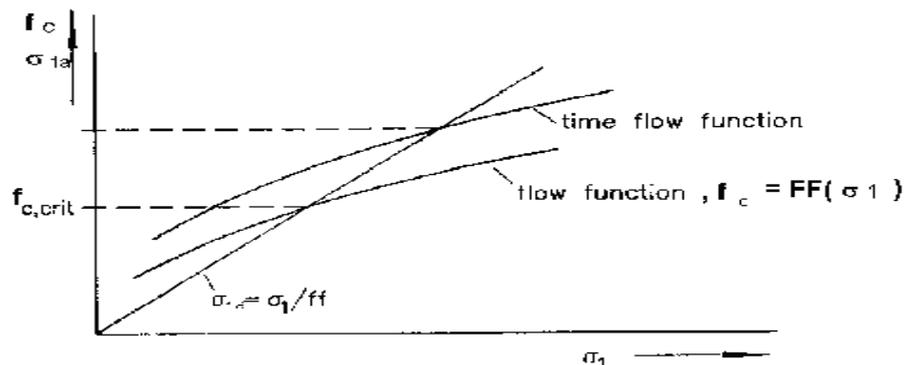


FIGURA 2.11. SOLUCIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN DE DISEÑO

Debajo de la línea, el derrumbamiento continuo del arco asegura el flujo. En la intersección las condiciones están satisfechas y el arco crítico se obtiene

$$B_{crit} = m \sigma_{1,a,crit} / \gamma = m f_{c,crit} / \gamma$$

donde los valores críticos se toman como se muestra en la figura. Desde la Función de Flujo, FF, es una cantidad moderada, el único desafío en el procedimiento del diseño es el cálculo del factor de flujo, el ff.

Se dan dos funciones de flujo en Fig. 2.11 uno para material consolidado durante un tiempo corto y se llama función de flujo instantánea y otro que denota la función de tiempo-flujo, obtenida consolidando el material durante mucho tiempo. En el ejemplo dado sobre los valores instantáneos se usó un arco crítico. La función de flujo de tiempo da un valor crítico algo más grande por la fuerza del rendimiento, el f_c , y por consiguiente un valor más grande para el palmo, B_{crit} . El arco más pequeño se usa para un silo que está en uso continuo y donde el material está cargado y se descarga con el tiempo del almacenamiento muy pequeño. El valor más grande es empleado para silos dónde el material se guarda durante los tiempos largos.

La función de flujo de tiempo tiene que ser obtenida experimentalmente durante tiempos de consolidación igual o más mucho tiempo que el tiempo del almacenamiento típico.

Para el caso de materiales libre-fluidos como aquéllos presentados en la Tabla 2.1, los no confinados la fuerza es $f_c = 0$ y todo punto cae debajo de la línea en la Fig. 2.11. Esto asegura por lo menos que en el principio el material fluya fuera a través de cualquier apertura B más grande que el tamaño de grano.

TABLA 2.1.

PROPIEDADES FISICAS DE VARIOS MATERIALES POLVORIENTOS

MATERIAL	Mean particle diameter (mm)	Standard deviation (mm)	Particle Specific Gravity ρ_s	Critical Void Ratio e_c	Bulk Specific Gravity ρ_B
Glassbeads:					
P-0140	0.272	0.046	2.47	0.65	1.50
P-0170	0.325	0.041	2.47	0.69	1.46
P-0280	0.592	0.056	2.47	0.67	1.48
V-070	1.326	0.114	2.92	0.71	1.71
V-160	3.23	0.175	2.92	0.76	1.66
Mustard Seed	2.07	0.196	1.22	0.72	0.71
Fine Grain Quartz Sand	0.224	0.074	2.67	0.71	1.56
Medium Grain Quartz Sand	0.317	0.071	2.67	0.75	1.53
Coarse Grain Quartz Sand	0.681	0.109	2.67	0.75	1.53

TABLA 2.2.

PROPIEDADES DE LA INTERACCIÓN DE VARIOS MATERIALES POLVORIENTOS

MATERIAL	Internal Friction Angle ϕ	Surface Friction Angle ϕ_w with lucite	Surface Friction Angle ϕ_w with Aluminum
Glassbeads:			
P-0140	18.2	15.7	
P-0170	24.6	15.3	17.7
P-0280	24.3	14.4	15.1
V-070	26.8	14.2	15.1
V-160	31.7	12.9	
Mustard Seed	38.2	12.0	
Fine Grain Quartz Sand	24.1	20.2	
Medium Grain Quartz Sand	30.7	17.9	
Coarse Grain Quartz Sand	30.6	14.4	24.3

En el caso de materiales cohesivos la Función de Flujo, $f_c = FF (\sigma_1)$, puede determinarse mediante la ecuación del Warren-Spring como:

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

donde E, F, y q son constantes materiales que nos da la Tabla 2.4.

TABLA 2.3.
PROPIEDADES FISICA PARA VARIOS MATERIALES
COHESIVOS

Material	Specific Gravity [kN/m ³]	Angle of wall friction *	Angle of internal friction
Limestone (w = 5%)	15.44	34.0	57.8
		37.5	56.0
Limestone (w = 3.2%)	12.92	34.0	45.5
		30.5	45.5
Gypsum	12.85	38.2	54.1
			54.6
Coal	6.00	26.5	48.7
		22.7	48.9
Cement	14.45	35.0	51.8
		35.0	51.9

TABLA 2.4.

FUNCIONES DE FLUJO PARA VARIOS MATERIALES COHESIVOS

Material	E (kPa)	F (kPa)	γ	K	L (kPa)
Limestone (w = 5%)	0.33 0.40	0.04 0.04	1.80 1.95	0.35	3.06
Limestone (w = 3.2%)	0.41 0.41	0.10 0.10	1.89 1.89	0.13	3.29
Gypsum	0.38 0.41	0.10 0.08	1.60 1.72	0.37	3.05
Coal	0.25 0.20	0.04 0.04	1.93 1.88	0.11	3.82
Cement	0.50 0.41	0.10 0.05	1.90 2.06	0.18	3.72

Note * On aluminum wall

Una manera alternada de expresar la Función de Flujo está dada por la expresión lineal:

$$f_c = K \sigma_1 + L$$

donde los valores para las constantes K y L se dan en la tabla 2.4.

La mayoría de los cálculos para el factor de flujo los hizo por Jenike [1964] quién resolvió las ecuaciones del diferencial de equilibrio de un material a granel numéricamente en el depósito de alimentación y cedió los resultados para los mapas famosos que llevan su nombre. Las expresiones analíticas se usan en hasta donde ellos están de acuerdo con los valores más precisos calculados por Jenike. Un ejemplo de un mapa de Jenike se da en

Fig. 2.12 para un plano y una tolva cónica para un material con un ángulo interior de fricción de $\phi = 40^\circ$.

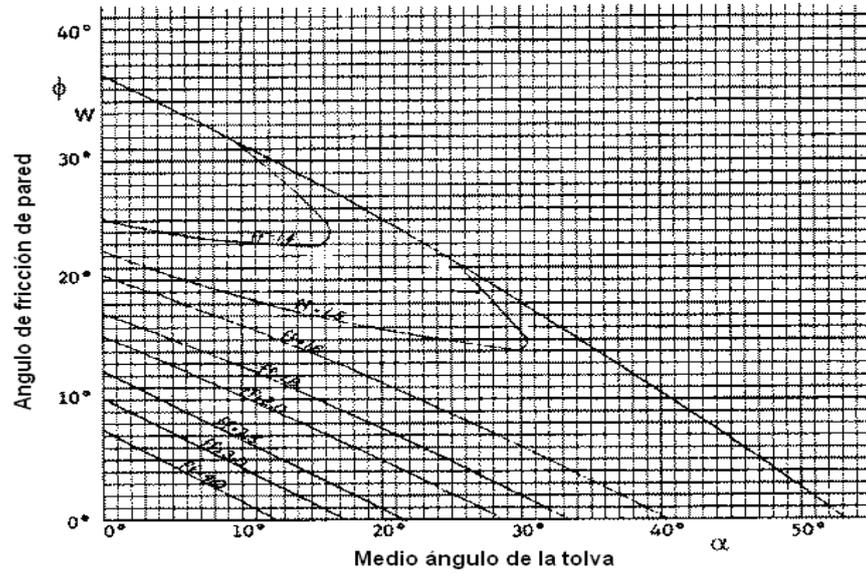


Figura 2.12a. Los valores del factor de flujo para una tolva 2D.
El ángulo del material si el ángulo de fricción = 40°

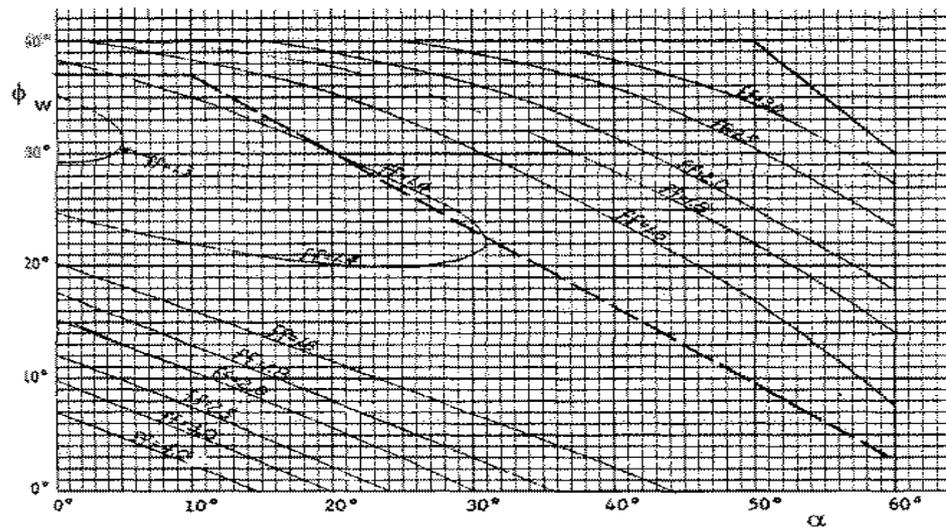


Figura 2.12b. Los valores del factor de flujo para un depósito de alimentación cónico.
El ángulo de material si el ángulo de fricción interior es = 40°

FIGURA 2.12. LOS VALORES DEL FACTOR DE FLUJO

Hay una diferencia ligera en el diseño. Como se muestra, $H(\alpha) \approx m$ para los valores muy pequeños del ángulo-medio del depósito de alimentación, pero se desvía de él a los valores más grandes.

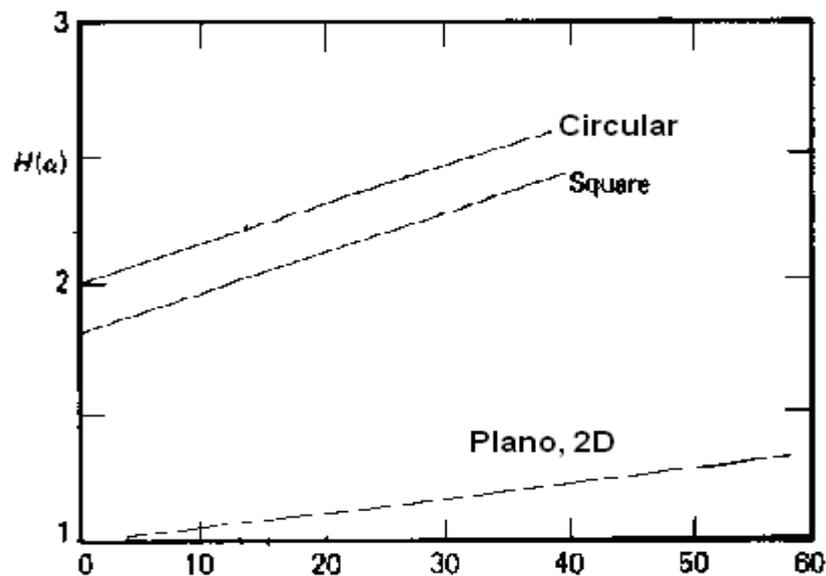


FIGURA 2.13. FUNCIÓN $H(\alpha)$ PARA TOLVAS 2D Y 3D

2.3. Diseño de la tolva

La arena utilizada tiene una densidad de $1,406 \text{ Kg/m}^3$. Se escogió que la forma de la tolva sea de una pirámide trunca invertida de $3,5 \times 3,5$ metros de lado en la superficie de carga de la tolva y de $0,45 \times 0,45$ m de lado en la superficie de descarga. Con una altura de 2 m. Y quedando un espacio libre de 1,5 metros para que

entre la estructura del transportador. Su estructura deberá hacerse robusta permitiendo soportar severas condiciones de trabajo durante largos periodos, con necesidad de mantenimiento mínima. Según la tabla 2.2 donde el ángulo interno ϕ es 30.6° y el ángulo de fricción ϕ_w es 14.4° . El ancho del silo es $D= 3.5$ m

Donde :

$$D= 2 \times b$$

Entonces

$$b = 3.5 / 2 = 1.75 \text{ m}$$

la gravedad específica g es 10 m / seg^2

Con los datos que tenemos obtenemos el valor de la Constante de Jansen K para los silos

$$K = ((1 - \text{sen } \phi) / (1 + \text{sen } \phi)) \text{ tg } \phi_w$$

$$K = ((1 - \text{sen } 30.6^\circ) / (1 + \text{sen } 30.6^\circ)) \text{ tg } 14.4^\circ$$

$$K = ((1 - 0.51) / (1 + 0.51)) 0.26$$

$$K = (0.32) \cdot (0.26)$$

$$K = 0.084$$

Con la constante de Jansen se determina el Esfuerzo máximo vertical $\sigma_{y,max}$ del silo (Figura 2.7), donde m es 2 para silo cuadrado.

$$\sigma_{y,max} = ((\rho_B) (g) (b)) / (m) (k)$$

$$\sigma_{y,max} = (1,406 \times 10 \times 1.75) / (2 \times 0.084)$$

$$\sigma_{y,max} = 24,605 / 0.168$$

$$\sigma_{y,max} = 146.5 \text{ kPa}$$

El esfuerzo normal del silo está determinada por:

$$\sigma_n = (\sigma_{y,max} \times K \times \cotg \phi_w)$$

$$\sigma_n = (146.5 \text{ Kpa} \times 0.084 \times \cotg 14.4^\circ)$$

$$\sigma_n = 47.33 \text{ KPa}$$

El esfuerzo de la presión hidrostática $\sigma_{y,h}$ está determinada por:

$$\sigma_{y,h} = (\rho_B \times g \times y)$$

$$\sigma_{y,h} = (1406 \times 10 \times 2)$$

$$\sigma_{y,h} = 28,120 \text{ Pa} = 28.12 \text{ KPa}$$

Se va a construir la tolva con acero Acero A36 que tiene un F de 36 Ksi. Tomamos un factor de seguridad de 0.6.

$$F = (0.6) (36,000 \text{ lb/ pul}^2) = 21,600 \text{ lb/ pul}^2$$

$$21,600 \text{ lb/ pul}^2 \times 0.07031 \text{ Kgf/ cm}^2 \times 10,000 \text{ cm}^2/ \text{ m}^2 = 15.19 \text{ Kgf/ m}^2$$

$$15.19 \times 10^6 \text{ Kgf/ m}^2 \times 9.8 = 148.83 \text{ MPa}$$

El esfuerzo que normal que es el que se aplica a las planchas de acero de la tolva es de 47.39 kPa que es mucho menor que el esfuerzo máximo que soporta el Acero A36 que es 148.83 MPa. Las planchas utilizadas son de un espesor de 1.5 cm.

Los cálculos para el área de la tolva que es el estado pasivo, primer punto determinamos la constante de Jansen.

$$K = ((1 + \text{sen } \phi) / (1 - \text{sen } \phi)) \text{ tg } \phi \omega$$

$$K = ((1 + \text{sen } 30.6^\circ) / (1 - \text{sen } 30.6^\circ)) \text{ tg } 14.4^\circ$$

$$K = ((1 + 0.51) / (1 - 0.51)) 0.26$$

$$K = 0.80$$

Donde el esfuerzo vertical máximo se determina:

$$\sigma_{y,\text{max}} = ((\rho_B) (g) (b)) / (m) (k)$$

$$\sigma_{y,\text{max}} = (1,406 \times 10 \times 1.75) / (2 \times 0.80)$$

$$\sigma_{y,\text{max}} = 15,378.12 \text{ Pa} = 15.38 \text{ KPa}$$

El esfuerzo normal en la tolva es el siguiente:

$$\sigma_n = (\sigma_{y,max} \times K \times \cotg \phi_w)$$

$$\sigma_n = (15.38 \text{ Kpa} \times 0.80 \times \cotg 14.4^\circ)$$

$$\sigma_n = 47.37 \text{ KPa}$$

El esfuerzo de la presión hidrostática $\sigma_{y,h}$ en la tolva está determinada por:

$$\sigma_{y,h} = (\rho_B \times g \times y)$$

$$\sigma_{y,h} = (1,406 \times 10 \times 1.75)$$

$$\sigma_{y,h} = 24,605 \text{ Pa} = 24.61 \text{ KPa}$$

Por lo tanto para la construcción del silo y la tolva se ha seleccionado utilizar acero estructural A-36 que cumple con las condiciones necesarias para soportar la carga del material dentro de la tolva.

2.4. Costos de Construcción de la Tolva

Los costos generados en materiales para la construcción de la tolva se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 2.5.**COSTOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Costo total	Observación
Planchas 3/8"	51,13	m2	68,30	4015,73	1500x6000
IPN 200 1/2"	26,00	m	147,96	737,33	6 m
Angulos 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"	61,76	m	18,37	1304,71	6m
Soldadura	110,00	Lb	1.00	110,00	
Compuerta 1/2"	0,48	m2	81,96	45,24	1500x6000
Alerones 1/2"	15,00	m2	81,96	1413,73	
Sand Blasting	30,09	m2	6	180,54	
Pintura	30,09	m2	2	60,18	
Total				\$ 7867,47	

Los costos de mano de obra para la construcción de dicha tolva se detallan a continuación:

TABLA 2.6**COSTOS MANO DE OBRA Y TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE TOLVA**

Equipo de Trabajo		
Costo Hora Hombre	\$7,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	8	
Costo Total Horas Hombre	\$2.240,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$10.107,47	
10% Costo de Obra	\$1.010,75	
TOTAL	\$11118,75	

2.5. Costos de Montaje de la Tolva

Los costos del montaje de dicha tolva se detallan en el siguiente gráfico:

TABLA 2.7.**COSTO DE MONTAJE DE TOLVA**

Equipo de Trabajo		
Grúa 20 TM	\$40,00	c/h
horas a laborar	7	horas
Costo grúa 20 Tm	\$280,00	
Costo Hora Hombre	\$6,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	4	
Costo Total Horas Hombre	\$1.240,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$1.240,00	
10% Costo de Obra	\$124,00	
Costo de Montaje	\$1.364,00	

Por lo que todos los labores en la construcción y montaje de la tolva de descarga asciende a :

Costo Total **\$12.482,22**

CAPITULO 3

3. Mantenimiento y Montaje de la Zaranda

3.1. Principios de Funcionamiento

La criba vibratoria que se posee en la actualidad corresponde a una Zaranda marca Svedala modelo 36/15 UU con capacidad de clasificar hasta 3 diferentes tamaños de material ya que se pueden colocar 2 mallas diferentes de tamiz.

El significado del código 36/15 del modelo corresponde a las dimensiones del área de selección de material. Para nuestro equipo corresponde unas dimensiones de 3600 x 1500 mm.

El principio de clasificación en zarandas vibratorias son básicamente los mismos. El material a ser clasificado debe ser lanzado sobre una caja de alimentación en dirección a la superficie de clasificación, pierde su componente vertical de velocidad, sufriendo alteración en dirección de deslizamiento. Por vibración, la camada del material tiende a desarrollar un estado fluido.

Una vez que el material está sobre la superficie de clasificación ocurren dos procesos: estratificación y clasificación.

La estratificación es un proceso que ocurre en la camada del material, por efecto del movimiento vibratorio, al desarrollarse en la superficie de clasificación por lo cual las partículas menores, viajan a través de los vacíos creadas por las partículas mayores encaminándose en la parte inferior de la camada, donde se encuentra en la superficie de clasificación. Mientras tanto las partículas mayores tienden a colocarse en la parte superior de la camada.

Los factores relacionados que afectan la estratificación son:

1. Forma de percusión de material: Función de estratificación del material, espesor de camada, características de funcionamiento y de inclinación de la zaranda.
2. Características de funcionamiento: Amplitud, dirección de rotación, tipo de movimiento y frecuencia.
3. Humedad superficial de las partículas: una alta humedad impide la estratificación.

La clasificación es el proceso de que las partículas se introduzcan en las aberturas de la zaranda, sean retenidas las partículas del tamaño mayores a estas. La probabilidad de separación de la partícula está dada por la abertura de la tela. Cuanto mayor se a la diferencia entre ambos, más fácilmente pasan o son retenidas el material por la tela.

Las partículas de tamaño mayor a $1.5 a$ (a = abertura de la tela) tiene poca importancia para el resultado de la clasificación ya que la cantidad relativa de estas influyen principalmente en el desgaste y en la energía consumida. Las partículas menores a $0.5 a$ son de menor importancia porque atraviesan fácilmente las mallas. Las

partículas $0.5 < a < d < 1.5$ a son llamadas de clase crítica y determinan la eficiencia y la capacidad de la zaranda (ver Fig. 3.1).

Pues:

a) Las partículas $0.5 < a < d < a$ muchas veces necesitan más de varios para pasar por la abertura d e la tela.

b) Las partículas $a < d < 1.5$ a tapan un gran número de agujeros de la malla antes de salir de la tela como material retenido.

La tasa de material que fluye a través de la aberturas variara dependiendo del grado de estratificación y de probabilidad.

Cuando el material es introducido en el extremo de alimentación de la zaranda, la vibración provoca una estratificación. Este trecho esta comprendido entre los puntos a y b , con estratificación máxima en b . La máxima remoción de las partículas ocurre de b hasta c (trecho de clasificación saturado), que es el punto de alto grado de probabilidad, porque presenta alto grado de partículas finas. El trecho subsiguiente es de bajo grado de probabilidad que va desde el punto c al d . En este trecho el grado de probabilidad de la partícula de pasar a través de la abertura es menor porque

habrá mayor porcentaje de partículas pertenecientes a la clase crítica.

En una criba típica de separación simple como se muestra en Fig.3.1, siguiente, una separación perfecta (100% de eficiencia), no es comercialmente práctica., porque de punto d en adelante la probabilidad de que las partículas pasen a través de aberturas se vuelve extremadamente baja. Teóricamente para una separación perfecta, la criba deberá ser infinitamente larga, porque la curva de la figura se torna asintótica en ese eje.

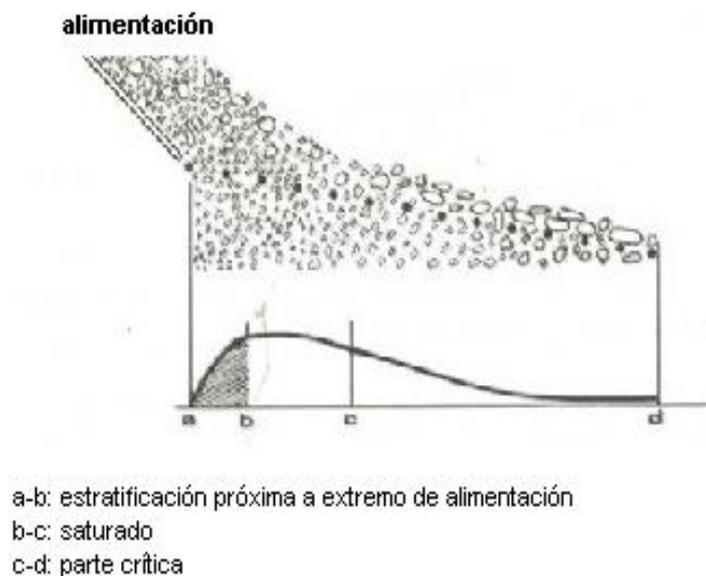


FIGURA 3.1. ESTRATIFICACIÓN Y SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS

Una clasificación comercialmente perfecta y considerada normal está entre el 90 al 95% de eficiencia. La vibración es producida por mecanismos vibratorios basadas en masa excéntricas con amplitud de 5 a 6 mm operando sobre un rango de 700 a 1000 rpm.

Para una buena calidad de separación es necesario tener una relación óptima entre la amplitud y la velocidad de rotación.

Normalmente se selecciona una zaranda en función a la cantidad de material que se va a producir y a los diferentes tamaños que se va a clasificar el material.

Levantamiento de la situación actual

En nuestro caso es diferente, ya que no vamos a seleccionar una zaranda sino que vamos a cuantificar la productividad de la zaranda que en la actualidad se posee. El proceso es similar solo que hay que seguir los pasos contrarios a los de la selección de la criba.

Los datos necesitamos conocer para seleccionar el tamaño de la zaranda son los siguientes:

a) Características del material

- Densidad
- Tamaño máximo de alimentación
- Distribución de granulometría
- Forma de las partículas
- Humedad
- Presencia de materiales arcillosos
- Temperatura, etc

b) Productividad

c) Zonas de separación de producto

d) Eficiencia deseada.

e) Tipo de Servicio:

- Lavado
- Clasificación final
- Clasificación Intermedia, etc.

f) Limitaciones de espacio en la alimentación o de peso.

g) Grado de conocimiento del material deseado.

El dimensionamiento de la criba esta dado básicamente en función del área de tamizado y del largo de la criba. Además el largo de la criba es calculado para establecer el espesor de la camada de material sobre la malla.

El área de clasificación esta dada por :

$$A = \frac{TxP}{CxMxKxQn}$$

donde:

A.- Área necesaria para clasificar materiales (m²)

T.- Cantidad de material alimentado (m³/h)

C.- Factor de capacidad (m³/h/m²) Ver Tabla 3.4.

M.- Factor de material retenido Ver Tabla 3.2

K.- Factor relativo a la cantidad de material de alimentación menor que a la mitad de abertura nominal de superficie de clasificación. Ver Tabla 3.3.

Qn.- Factor de corrección: Q1 x Q2 X Q3 X Q4 x Q5 x Q6. Ver Tabla 3.5.

P.- Factor que oscila entre 1.0 y 1,4, este valor está en función del conocimiento y certeza que se posee del material a clasificar.

En instalaciones mineras donde los datos del material y abertura de la superficie de clasificación son conocidas se puede trabajar con un factor de 1.

En instalaciones donde la granulometría, abertura de de la malla y la capacidad varían en función de la aplicación del material a ser clasificado es recomendable utilizar un factor entre 1,3 y 1,4.

Cada cama tiene que ser considerada como una criba aislada de una sola malla para efectos de cálculo

El ancho nominal de la criba viene dado por:

$$W = \frac{100 \times T_f}{6 \times S \times D} + 0.15$$

donde :

D.- Es el espesor de la camada en la extremidad de carga (mm.)

Tf.- Es la cantidad de material en extremidad de salida (m³/h)

S.- Factor de velocidad del material (m/min)

W.- Ancho nominal de la criba (m).

Una regla práctica para determinar la largura de la criba es la limitación del espesor de la camada del material en el extremo de descarga de acuerdo a la Tabla 3.1. :

TABLA 3.1.
ESPESOR MÁXIMO DE LA CAMADA

Densidad T/m ³	Espesor máximo de la camada
>1.6	4a
1.6-0.8	3a
<0.8	2.5a
a: Abertura nominal de la malla	

De acuerdo al experimento que se efectuó para calcular el volumen de agua necesario para lavar una cantidad estándar de arena, pudimos determinar al clasificar manualmente el material que este contenía 3,5% de gruesos.

Además se determinó que la lavadora de espiras puede producir 55 T/h de arena lo que nos lleva que debemos de alimentar a esta con 60 T/h provenientes de la zaranda. Si la criba clasifica 3,5% del material como grueso obtenemos que la alimentación de la tolva a la zaranda es de 62.25 T/h de arena de la cantera.

La densidad de la arena es de 1406 Kg/m³. Y su granulometría esta determinada de acuerdo a la tabla granulométrica adjunta en el Anexo 1.

El balance de masas queda constituido de acuerdo a la Figura 3.2.:

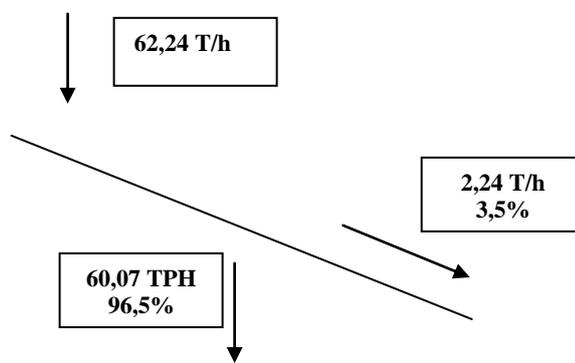


FIGURA 3.2. BALANCE DE MASAS

De esta forma podemos determinar el área requerida de clasificación.

$T = 62.24 \text{ T/h}$ $44.26 \text{ m}^3/\text{h}$ (Alimentación a la zaranda)

$P = 1$ (Material conocido)

$C = 19.5$ (Abertura de 3/8)

$M = 0.90$ (Para 3,5% de material retenido, ver Tabla 3.2.)

$K = 2.0$ (Para 95% de material pasante en malla #4, Tabla 3.3.)

$Q_1 = 1$ (Malla tipo cuadrada, ver Tabla 3.5)

Q2=1 (Partícula de forma cúbica, ver Tabla 3.5)

Q3=1.3 (Abertura de 3/8", ver Tabla 3.5)

Q5=0.9 (Deck Superior, ver Tabla 3.5)

Q6=1 (51% de Abertura libre en la malla 3/8", ver Tabla 3.5)

Determinamos la superficie y obtenemos:

A = 0.97 m².

La superficie de la zaranda que se posee es de 5,4 m². Lo que nos indica que la criba que tenemos está sobredimensionada para el régimen de operación que se la va a dar.

TABLA 3.2.

FACTOR DE MATERIAL RETENIDO "M"

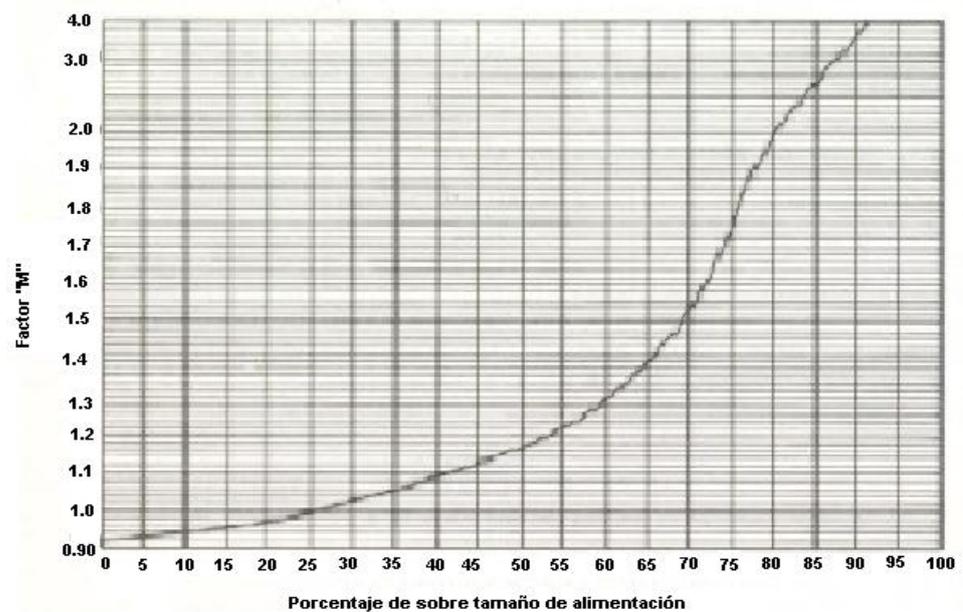


TABLA 3.3.
FACTOR DE CORRECCION "K"

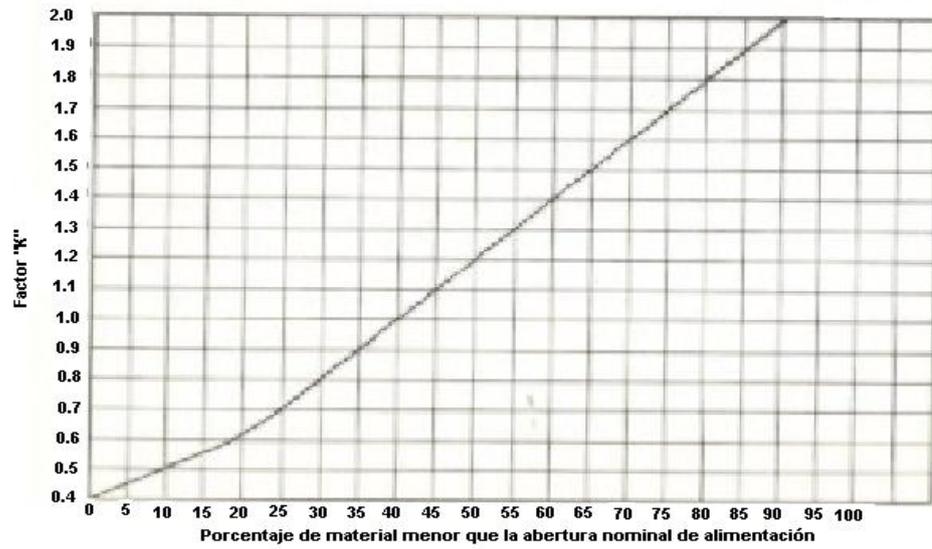


TABLA 3.4.
FACTOR DE CAPACIDAD "C"

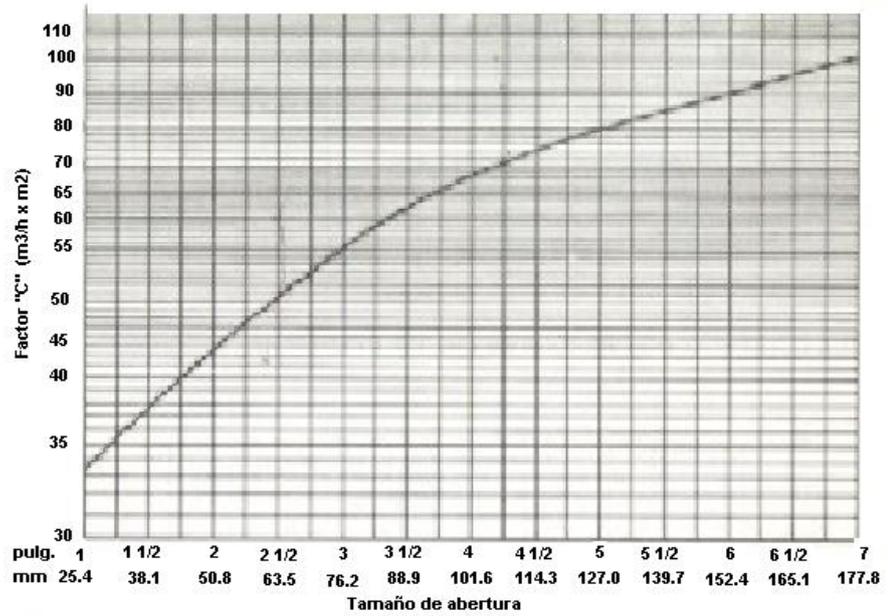


TABLA 3.5.
FACTOR DE CORRECCIÓN “Q”

Q	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Factor de correcc.	Tipo de abertura de superficie	Forma de partícula	Abertura en pulg.	% de humedad	Area efectiva	% Area abertura de tela
1,40			m# 35 - 1/8"			70
1,30			1/4" - 1/2"			65
1,25	Ret. 4x1		1/2" - 1"			62,5
1,20	Ret. 3x1		3" - 1 1/2"			60
1,15	Ret. 2x1		1 1/2" - 2"			57,5
1,10			2" - 3"			55
1,00	Cuadrada	Cúbica	Peneiramento menor cu > 3"	México que 31 ou peneiramento vis. Unida		50
0,90		Lamelar			Deck superior	45
0,85				38 a 68		42,5
0,80	Redonda				Segundo deck	40
0,75				68 a 98		37,5
0,70					Tercero deck	35
0,60						30
0,50						25

Para calcular el ancho de la criba obtenemos independientemente cada uno de los términos que conforman la Fórmula 3.2. Así tenemos que:

$$T_f = 2,24 \text{ T/h} \quad 1,59 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{Material no pasante})$$

$$S = 30 \text{ m/min} \quad (\text{Abertura de } 3/8" \text{ y zaranda de tipo MN inclinada})$$

$$D = 28.56$$

Calculando estos valores en la fórmula obtenemos el ancho de la criba:

$W = 0.18 \text{ m}$

Conociendo el área de clasificación podemos obtener la productividad máxima que puede utilizarse en esta máquina de acuerdo los datos que se poseen.

Es decir que la zaranda puede clasificar hasta $221.76 \text{ m}^3/\text{h}$ de arena lo que corresponde a una alimentación de **311.79 T/h** .

De esta manera podemos comprobar que siempre la máquina que va a provocar el cuello de botella en la producción es la lavadora de espiras.

La tela de criba, está constituida por una tela propiamente dicha cuando se trate de cribar fracciones pequeñas y de una plancha de criba para fracciones grandes. La criba puede estar provista de telas especiales de goma.

Al cribar material húmedo en fracciones finas deberá emplearse telas de criba con el mínimo diámetro posible de alambre.

Al cribar material grueso se emplean por lo general plancha de criba o telas e goma en la cubierta superior. Las planchas de criba se entregan con agujeros redondos o cuadrados.

Los agujeros cuadrados dispuestos en diagonal hacen que la plancha de criba tenga menos tendencia a obstruirse al trabajar con material grueso.

La tela de criba que se va a utilizar en esta zaranda es del tipo U tensada transversalmente por medio de unas listas tensoras puestas en sentido longitudinal y con sus dispositivos de sujeción pertinentes. El elemento de criba descansa sobre vigas en suspensión recubiertas de goma, las cuales por una parte sostienen el elemento de criba y por otra parte lo levanta ligeramente.

En la misma cubierta pueden ponerse varias telas con aberturas iguales o diferentes. Todas las uniones y extremos de telas, en las telas finas están provistas de un hierro de empalme tensado encima de la unión, el cual refuerza el canto y evita que los alambres exteriores se sueltan.

Para efectuar el mantenimiento de las telas de criba hay que considerar los siguientes puntos:

Controlar con espacios regulares de tiempo que las telas de criba estén bien tensadas, especialmente al montarse las nuevas. Si las telas no están bien tensadas ondearán con lo que se reducirá su duración.

Cuidar que los rebordes metálicos de las telas estén fijados con tornillos. La distancia entre los bordes metálicos debe ser igual a la anchura interior de la criba, reducida con 114 mm. Esto se hace para que las listas tensoras tengan la misma inclinación durante todo el recorrido a lo largo del lado de la criba, con el fin de que no se produzcan rendijas en los empalmes entre las listas.

La tela escogida es una malla de 3/8".

TABLA 3.6.

TIPOS DE MALLAS

MALLA (pol)	TIPO LEVE			TIPO STANDARD			TIPO PESADO		
	F10	PESO DA TELA	ABERT. LIVRE	F10	PESO DA TELA	ABERT. LIVRE	F10	PESO DA TELA	ABERT. LIVRE
	pol.	kg/m ²	ø	pol.	kg/m ²	ø	pol.	kg/m ²	ø
1/8	0,054	6,0	45	0,072	8,9	40	0,092	15,1	29
3/16	0,080	7,4	51	0,092	10,2	45	0,120	16	38
1/4	0,105	9,8	49	0,120	13,1	46	0,135	16,4	40
5/16	0,120	11,4	52	0,135	13,5	49	0,148	16,4	46
3/8	0,135	12,5	53	0,140	14,0	51	0,162	15,8	47
7/16	0,148	13,2	55	0,162	14,6	53	0,177	17,8	50
1/2	0,162	13,9	57	0,177	15,4	54	0,192	18,6	52
5/8	0,177	12,5	62	0,192	14,8	58	0,225	20	56
3/4	0,192	13,2	64	0,207	14,7	61	0,250	26	56
7/8	0,207	13,0	65	0,225	15,3	63	0,250	18,6	59
1	0,225	14,8	66	0,250	16,4	64	0,3125	26,5	57
1 1/8	0,225	13,6	69	0,250	14,9	67	0,3125	24	61
1 1/4	0,250	13,4	70	0,3125	20,5	64	0,375	30	60
1 3/8	0,250	13,6	72	0,3125	18,9	66	0,375	29	62
1 1/2	0,250	12,0	73	0,3125	17,6	68	0,375	28	63
1 3/4	0,3125	16,7	73	0,375	21,6	68	0,4375	28	64
2	0,3125	15,2	74	0,375	18,8	70	0,4375	25	67
2 1/4	0,375	17,5	74	0,4375	23,2	70	0,500	28	68
2 1/2	0,375	16,8	76	0,4375	21,2	72	0,500	27	70
2 3/4	0,375	16,8	78	0,4375	19,5	74	0,500	24	72
3	0,4375	20	76	0,500	23,2	73	0,625	33	68

TABLA 3.7.

TABLA COMPARATIVA DE TELAS NORMALIZADAS

abertura mm	ASTM/ASA/USS	TYLER/MESH	ABNT-EB-22-R
101,6	4"	-	-
88,9	3 1/2"	-	-
76,2	3"	-	76
63,5	2 1/2"	-	-
50,8	2"	-	50
44,4	1 3/4"	-	-
38,1	1 1/2"	-	38
31,7	1 1/4"	-	-
25,4	1"	-	25
19,1	3/4"	-	19
15,9	5/8"	-	-
12,7	1/2"	-	-
9,52	3/8"	-	9,5
7,93	5/16"	-	-
6,35	1/4"	-	-
5,66	3,5	3,5	-
4,76	4	4	4,8
4,00	5	5	-
3,36	6	6	-
2,83	7	7	-
2,38	8	8	2,4
2,00	10	9	2
1,68	12	10	-
1,41	14	12	-
1,19	16	14	1,2
1,00	18	16	-
0,84	20	20	-
0,71	25	24	-
0,59	30	28	0,6
0,50	35	32	-
0,42	40	35	0,42
0,35	45	42	-
0,297	50	48	0,30
0,250	60	60	-
0,210	70	65	-
0,177	80	80	-
0,149	100	100	0,15
0,125	120	115	-
0,105	140	150	-
0,088	170	170	-
0,074	200	200	0,075
0,062	230	250	-
0,053	270	270	-
0,044	325	325	-
0,037	400	400	-

3.3. Costos de Mantenimiento

La zaranda en cuestión ha estado cerca de 15 años sin ser utilizada y ha estado expuesto a un ambiente completamente agresivo, ya que ha estado todo este tiempo a la intemperie y más que nada ha un ambiente cargado de excesivo polvo, debido a que esta máquina ha sido colocada a menos de 200 metros de la zona de despacho de la cantera.

Actualmente el equipo no posee motor, ni base ni sistema de reducción, mismo que hay que seleccionar para poder cotizar y dejarlo operativo.

La estructura no presenta mayor desgaste por corrosión, salvo ciertas partes como el área de descarga, además de la plancha del lado de la transmisión, donde se presenta una serie de huecos y parches que deben de ser corregidos.

En lo que respecta al eje, hay que cambiar ambos rodamientos, ya que debido a que la máquina ha estado tanto tiempo sin ser utilizada los rodamientos tienen que haberse asentado y por ende ya es posible utilizarlos.

Al efectuar el cambio de los cojinetes de rodillos es muy importante que se adquieran nuevos cojinetes con el juego adecuado. Un juego de cojinete erróneo puede producir recalentamiento y deterioro en los cojinetes.

Una condición indispensable para que el cambio de cojinetes de perfectos resultados, es observar la máxima limpieza y minuciosidad al efectuar los trabajos. El montaje deberá observarse la máxima pulcritud. Dejar por lo tanto que el cojinete quede en su envase hasta un poco antes del montaje.

Adicionalmente hay que elaborar un componente metálico de alimentación de la criba, ya que actualmente no se posee esta pieza.

En términos generales la zaranda se encuentra en un buen estado en cuanto a la parte estructural, sin embargo hay que efectuar un mantenimiento total a todo lo que corresponde a piezas móviles, rodamientos, ejes, resortes, etc. Hay que efectuar además un sand blasting y colocación de pintura a toda la estructura como medio de protección a la corrosión.

Además se adjunta un listado con las piezas que componen la zaranda, detallando si existen, o no y su estado.

La superficie de la estructura de la zaranda, tomando en cuenta a las superficies laterales y las que componen las tolvas como dobles, hay que efectuar el proceso en ambas caras de la superficie, es de **47,74 m²**

El detalle de todo el trabajo de mantenimiento es el siguiente:

TABLA 3.8.

COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA ZARANDA

Trabajo	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Sand Blasting	m2	47,74	\$6	\$286,41
Pintura	m2	47,74	\$2	\$95,47
Rodamiento	unid	2	\$751	\$1.502,45
Amortiguador descarga	m2	1	\$68,22	\$81,87
Tolva descarga	m2	1	\$68,2	\$81,87
Plancha lateral	unid	1,5	\$68,2	\$122,80
Base Motor	unid	0,7	\$68,2	\$57,31
Tornillos	unid	30	\$0,8	\$24,00
Pernos	unid	30	0,8	\$24,00
Malla de 3/8"	unid	3	\$170	\$510,90
Bandas	unid	3	\$15	\$45,00
Motor 15 HP	unid	1	\$574	\$574,45
Válvulas de agua	unid	8	\$25	\$200,00
Tuberías 3 1/2"	m	4	\$17,66 / 6,4m	\$17,66
Total				\$3.624,18

A estos valores hay que sumar los de mano de hora hombre herramienta el mismo que es de USD 5/ hora/hombre

TABLA 3.9.

COSTOS MANO DE OBRA MANTENIMIENTO ZARANDA

Equipo de Trabajo		
Costo Hora Hombre	\$5,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8/día	
Número de días	10	
Costo Total Horas Hombre	\$2.000,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$5.624,18	
10% Costo de Obra	\$562,42	

El valor total del mantenimiento de la zaranda, incluido los costos de material y mano de obra es de:

USD 6.186.60.

3.4. Costos de Montaje

Una vez que se haya efectuado el mantenimiento de la zaranda, hay que proceder al montaje de la misma y a la puesta a punto de la misma.

Para el montaje se deberá tener en consideración los siguientes puntos:

1. Si la criba se entrega con marco de colocación controlar que se monte en la inclinación adecuada y que los puntos correspondientes en cada lado queden a la misma altura. Controlar con un nivel de burbuja en ambos extremos del marco.

2. En ciertas cribas hay unos tornillos de ajuste para ajustar la compresión de los muelles espirales. Controlar que los muelles espirales por ambos lados del lado de carga y descarga queden comprimidos por igual. De esta manera se reparte lo más posible el peso de la criba.

3. Las posibles tolvas, cajas de cargas y otros equipos extra, no deberán estar fijados a la caja de criba, si desde un principio no ha sido calculada para ello.

4. Controlar que el espacio entre la caja de criba y las piezas adyacentes sea suficiente para que la caja pueda oscilar libremente sin chocar en ningún sitio. Las vigas, refuerzos, etc., no

deberán colocarse de manera que la caja de criba pueda chocar contra el material que se acumula sobre estas partes.

5. Montar el motor con el dispositivo de accionamiento. Controlar que el eje del motor y el eje de accionamiento del vibrador queden paralelos, y que las poleas de correas trapezoidales estén en línea una con la otra. Ajustar en caso necesario el tensado de las correas trapezoidales. Además de que la consola del motor se fija al marco de colocación, su extremo exterior estará provisto de un apoyo extra, adaptado a las condiciones locales.

6. Cuidar que estén montadas las protecciones encima de las piezas rotativas.

7. En los casos que haya lugar, montar el equipo de telas de criba. Cuidar al efectuar esto que las telas de criba queden bien tensadas, lo cual representa un factor importante para su duración.

8. Controlar que todas las uniones de tornillos de la criba estén bien apretadas.

9. Controlar que todos los cojinetes estén lubricados.

10. Poner en marcha la criba. Controlar que no se produzcan ruidos y que los cojinetes no se calienten demasiado.

Durante las primeras 100 horas, deberán reducirse a la mitad los intervalos de lubricación dados en el esquema de mantenimiento. Todas las uniones de tornillos deberán apretarse y el tensado de la transmisión de correas deberá controlarse más a menudo en un principio.

El detalle de los costos se presenta a continuación:

TABLA 3.10.

COSTOS DE MONTAJE DE ZARANDA

Equipo de Trabajo		
Grúa 20 TM	\$40,00	c/h
horas a laborar	6	horas
Costo grúa 20 Tm	\$240,00	
Costo Hora Hombre	\$6,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	4	
Costo Total Horas Hombre	\$1.200,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$1.200,00	
10% Costo de Obra	\$120,00	

El costo total del montaje y puesta a punto es de **\$ 1.320,00.**

En este rubro se ha considerado 8 horas de manejo de grúa, ya que se van a utilizar alrededor de 2 horas en el transporte de las maquinarias y el resto en el montaje de la zaranda.

En todos los valores de costo de mano de obra expuestos aquí no se contempla el valor de IVA.

El costo hora de montaje es mas cara puesto que representa un trabajo mas especializado ya que hay que equilibrar, balancear y efectuar todos los ajustes necesarios para que la máquina quede a punto y operativa.

El costo de todos los trabajos en la zaranda es de:

USD 7.506,60

CAPÍTULO 4

4. Selección Y Montaje De Transportadores:

De acuerdo al diagrama del proceso del lavado de arena, la planta requiere varios transportadores que permitan alimentar las diferentes máquinas así como eliminar los productos que no son considerados dentro del proceso.

Esta planta específicamente, de acuerdo a las máquinas instaladas y a su capacidad de producción requiere de cinco transportadores de bandas de diferentes tamaños que permitan alimentar las diferentes etapas del proceso.

4.1. Principio de funcionamiento y tipos de transportadores

Los transportadores de banda están diseñados para trasladar diferentes tipos de materiales de un punto a otro del proceso. Son muy útiles en el caso de la industria minera puesto que el material hay que trasladarlo a grandes distancias.

El principio de funcionamiento de un transportador es bastante sencillo sin embargo requiere efectuar un análisis pormenorizado del tipo de material que se va a transportar (densidad, humedad, etc), del volumen a ser transportado, distancia a ser traslado el material y de la altura a ser elevado el material de ser el caso y de la velocidad de alimentación a la siguiente etapa del proceso.

Los transportadores de banda están compuestos básicamente de los siguientes elementos:

- Estructura metálica de soporte
- Conjunto de rodillos
- Polea de transmisión y de retorno
- Banda
- Motor
- Reductor

La estructura metálica de soporte consiste básicamente en una armadura estructural donde se van a acoplar y apoyar todos los elementos mecánicos del transportador.

Para calcular la estructura hay que hacer un análisis de la distribución de cargas que va a soportar esta armadura. Para resolver nuestro problema se utilizó las condiciones de carga del transportador más crítico, es decir el transportador de 20 metros con inclinación a 18° , de esta manera podemos asegurarnos que la estructura de los otros transportadores que son más pequeños van a soportar esa condición de carga.



FIGURA 4.1. ARMADURA DE TRANSPORTADORES

Este proceso de diseño estructural se lo implementa básicamente para poder estandarizar todos los transportadores de la planta, de tal manera que se pueda generar ahorros en los repuestos que se tengan en la bodega además de obtener una ventaja en la versatilidad de la planta ya que de ser necesario se pueden intercambiar un transportador por otro.

Los rodillos son un conjunto de elementos mecánicos de forma cilíndricos que son usados para soportar y guiar la banda transportadora. Estos rodillos van montados sobre un tren en conjuntos de dos o tres rodillos, normalmente del mismo tamaño.

Los rodillos normalmente se dividen en ocho tipos:

- Rodillos de carga. Conjunto de rodillos en el cual se apoya un trecho cargado de la banda transportadora.
- Rodillos de retorno: conjunto de rodillos en el cual se apoya un trecho de la banda en la sección de retorno.
- Rodillos de impacto: conjunto de rodillos localizados en los puntos de alimentación de la banda destinados a absorber el choque resultante del impacto del material sobre el transportador .

- Rodillos auto alienador: conjunto de rodillos dotado de un mecanismo giratorio accionado por la banda transportadora.
- Rodillos de transición, conjunto de rodillos localizados en el trecho de carga de material próximos a las poleas, con la posibilidad de variar el ángulo de inclinación de los rodillos laterales para guiar y auxiliar en la transición de la banda entre los trenes de rodillos y las poleas.
- Rodillos de retorno de discos: conjunto de rodillos de retorno con discos de caucho que van limpiando e impidiendo que se acumule material en la banda.
- Rodillos de espiras: conjunto de rodillos de retorno con forma de espiral que van limpiando e impidiendo que se acumule material en la banda.

Existe una norma para escoger los trenes y los rodillos en sí que es la norma CEMA de acuerdo al tipo de material y trabajo que van a soportar los rodillos. A continuación se detalla en la Tabla 4.1. las características de los materiales y su código CEMA , así como una

Poleas:

Son los elementos transmisores de potencia, dobleces, desvíos y retorno de la banda. Los transportadores pueden tener los siguientes tipos de poleas:

- Transmisión: sirven para transmitir el torque del motor.
- Retorno: sirven para retorno de la banda.
- Contrapeso: Sirve para dar la tensión necesaria a la banda y absorber el estiramiento de la misma.
- Dobleces: Utilizados siempre que sea necesario un desvío en el curso de la banda.
- Apoyo: Utilizados para aumentar el ángulo de contacto del tambor de la polea de transmisión.

Accionamiento:

Existen 3 tipos de posicionamiento para el accionamiento:

- Cabecera
- Central
- Intermedio.

Contrapesos:

La principal función de los contrapesos es garantizar la tensión conveniente en la banda para su accionamiento y adicionalmente absorber las variaciones de elongaciones de la banda causadas por la temperatura, cambios de carga, tiempo de trabajo, etc

Existen 3 tipos de contrapesos:

- Perno
- Gravedad vertical
- Gravedad horizontal.

Los contrapeso de perno son construidos en una sola estructura con el tambor de retorno. Ajustado manualmente, proporciona la correcta tensión en la banda. Puede ser aplicado en transportadores de hasta 35 m, dependiendo del largo de la banda.

Los contrapesos de gravedad vertical están compuestos de 3 tambores, soportes o guías, siendo que los tambores son encajados y de fácil remoción. El conjunto puede ser instalado en cualquier punto del transportador.

Los contrapesos de gravedad horizontal poseen las mismas ventajas que el de gravedad vertical, siendo más económico

debido a los costos de instalación. Puede ser utilizado en todo tipo de transportadores.

4.2. Selección y costos de componentes

Existen dentro del plano del proceso de la planta de lavado de arena 5 transportadores de diferentes características, los cuales los hemos clasificado en dos tipos por su tamaño:

3 transportadores de 18 metros.

2 transportadores de 25 metros.

Las estructuras metálicas existen en la actualidad, aunque estas estaban diseñadas para soportar trenes de rodillos para bandas mas anchas se las puede adaptar tranquilamente al ancho de banda requerido en este proceso.

Se ha estimado como condición de diseño para todos los transportadores una capacidad de transporte de 200 TM/h, que es la productividad de la zaranda y que por ser la mayor de todas las otras máquinas es la que va a regir en el diseño del transportador. La lavadora tiene una capacidad de 50 Tm/h pero además de arena lavada se va a comercializar otros tipos de arena, por lo que la zaranda va a estar trabajando al 100% de su productividad.

Necesitamos antes que nada definir ciertas condiciones del material como densidad, ángulo de reposo y ángulo de acomodación. Las cuales detallamos:

Densidad del material:	110 lb/ft ³	1400 Kg/m ³
Tamaño máximo de partícula:	3/8"	
Porcentaje de Arcilla:	3,5%	
Angulo de Reposo:	35°	
Angulo de acomodación:	20°	
Angulo de inclinación:	18°	
Inclinación de rodillos:	20°	
Capacidad de extracción:	200 TM/h	

Con esta información vamos a la tabla 4.2, la misma que nos da la capacidad de transporte, tipo de rodillo y velocidad de transporte para un material de 100 lb/ft³. . De acuerdo a esta tabla la capacidad de transporte sin corregir es de 224 TS/h a una velocidad de 350 Pie/min.

TABLA 4.2.
CAPACIDAD DE DISEÑO (TS/hr)

Belt Width Inches	Sur-charge Angle Degrees	Cross Sectional Area Square Feet	Design Capacity — Short Tons (2000 Lbs.) Per Hour — 100 Pounds Per Cubic Foot Material										Max. Lump Size Largest Dimension — inches								
			Belt Speed — Feet Per Minute (Suggested Speeds — See Footnotes)										10% Lumps 80% Fines		All Lumps No Fines						
			50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	20"	30"	20"	30"			
													Surcharge		Surcharge						
18	0	.080	14	27	41	54	68	81	95	108	121	135	148	161	174	187	200	6	3	6	2
	5	.109	16	31	46	60	74	88	102	116	130	144	158	172	186	200					
	10	.138	19	34	50	65	80	95	110	124	139	153	167	181	195	209					
	20	.168	25	40	56	71	87	102	117	132	147	162	177	192	207	222					
	30	.189	28	44	61	77	93	109	125	141	157	173	189	205	221	237					
20	0	.112	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	182	197	212	227	8	30	6	2
	5	.140	21	37	53	69	85	101	117	133	149	165	181	197	213	229					
	10	.163	24	41	58	75	92	109	126	143	160	177	194	211	228	245					
	20	.193	32	51	70	89	108	127	146	165	184	203	222	241	260	279					
	30	.216	36	56	76	96	116	136	156	176	196	216	236	256	276	296					
24	0	.174	26	42	59	76	93	110	127	144	161	178	195	212	229	246	263	8	4	8	2 1/2
	5	.209	31	49	67	85	103	121	139	157	175	193	211	229	247	265					
	10	.244	37	56	75	94	113	132	151	170	189	208	227	246	265	284					
	20	.281	44	64	84	104	124	144	164	184	204	224	244	264	284	304					
	30	.309	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310					
30	0	.225	33	51	69	87	105	123	141	159	177	195	213	231	249	267	285	10	5	8	3
	5	.265	39	59	79	99	119	139	159	179	199	219	239	259	279	299					
	10	.297	45	66	87	108	129	150	171	192	213	234	255	276	297	318					
	20	.339	53	74	95	116	137	158	179	200	221	242	263	284	305	326					
	30	.369	60	81	102	123	144	165	186	207	228	249	270	291	312	333					
36	0	.255	35	53	71	89	107	125	143	161	179	197	215	233	251	269	287	10	5	8	3
	5	.299	41	60	79	98	117	136	155	174	193	212	231	250	269	288					
	10	.331	47	67	87	107	127	147	167	187	207	227	247	267	287	307					
	20	.373	55	75	95	115	135	155	175	195	215	235	255	275	295	315					
	30	.403	62	82	102	122	142	162	182	202	222	242	262	282	302	322					
42	0	.323	37	55	73	91	109	127	145	163	181	199	217	235	253	271	289	14	7	8	4
	5	.368	43	62	81	100	119	138	157	176	195	214	233	252	271	290					
	10	.407	50	69	88	107	126	145	164	183	202	221	240	259	278	297					
	20	.454	58	77	96	115	134	153	172	191	210	229	248	267	286	305					
	30	.481	65	84	103	122	141	160	179	198	217	236	255	274	293	312					
48	0	.343	39	57	75	93	111	129	147	165	183	201	219	237	255	273	291	16	8	10	5
	5	.390	45	64	83	102	121	140	159	178	197	216	235	254	273	292					
	10	.429	51	70	89	108	127	146	165	184	203	222	241	260	279	298					
	20	.477	59	78	97	116	135	154	173	192	211	230	249	268	287	306					
	30	.505	66	85	104	123	142	161	180	199	218	237	256	275	294	313					
54	0	.363	41	59	77	95	113	131	149	167	185	203	221	239	257	275	293	10	9	11	5 1/2
	5	.411	47	66	84	102	120	138	156	174	192	210	228	246	264	282					
	10	.450	53	72	90	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288					
	20	.498	61	80	98	116	134	152	170	188	206	224	242	260	278	296					
	30	.526	68	87	105	123	141	159	177	195	213	231	249	267	285	303					
60	0	.383	43	61	79	97	115	133	151	169	187	205	223	241	259	277	295	20	10	12	5
	5	.432	49	68	86	104	122	140	158	176	194	212	230	248	266	284					
	10	.471	55	74	92	110	128	146	164	182	200	218	236	254	272	290					
	20	.519	63	82	100	118	136	154	172	190	208	226	244	262	280	298					
	30	.547	70	89	107	125	143	161	179	197	215	233	251	269	287	305					
72	0	.403	45	63	81	99	117	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	24	12	14	7
	5	.453	51	70	88	106	124	142	160	178	196	214	232	250	268	286					
	10	.492	57	76	94	112	130	148	166	184	202	220	238	256	274	292					
	20	.540	65	84	102	120	138	156	174	192	210	228	246	264	282	300					
	30	.568	72	91	109	127	145	163	181	199	217	235	253	271	289	307					
84	0	.423	47	65	83	101	119	137	155	173	191	209	227	245	263	281	299	28	13	15	7 1/2
	5	.474	53	72	90	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288					
	10	.513	59	78	96	114	132	150	168	186	204	222	240	258	276	294					
	20	.561	67	86	104	122	140	158	176	194	212	230	248	266	284	302					
	30	.589	74	93	111	129	147	165	183	201	219	237	255	273	291	309					
90	0	.443	49	67	85	103	121	139	157	175	193	211	229	247	265	283	301	28	14	16	8
	5	.495	55	74	92	110	128	146	164	182	200	218	236	254	272	290					
	10	.534	61	80	98	116	134	152	170	188	206	224	242	260	278	296					
	20	.582	69	88	106	124	142	160	178	196	214	232	250	268	286	304					
	30	.610	76	95	113	131	149	167	185	203	221	239	257	275	293	311					

Material Flowability and Abrasiveness:
 • Green or other Free Flowing, Non-Abrasives Materials.
 • Coal, Dirty Clay, Soft Crust, Overcrust and Lumps, Fine Crushed Stone.
 • Heavy, Hard, Shays Edged Ore, Coarse Crushed Stone.
 Note: A Minimum Speed of 300 FPM is recommended for proper discharge.
 Suggested Belt Speeds for Other Conditions:
 Fine, Dry, Dusty or Fluffy Material: 100-200 FPM Maximum.
 Fragile Materials whose degradation is harmful: 150-250 FPM Maximum.
 Wet Materials or Materials which tend to cling to belt: 500FPM Min.

Aplicando la fórmula de corrección con la densidad de la arena (lb/pie³) obtenemos que la capacidad máxima de transporte es de 203 TM/h. La fórmula viene dada por la siguiente relación:

$$\frac{100 \times \text{Capacidad}}{\text{Densidad}} \frac{\text{Re querida}}{\text{Material}} = \text{Capacidad Tabla}$$

Los valores que aparecen en la tabla 4.2 están como Toneladas cortas y no como Toneladas métricas, por lo que hay que convertirlas, el momento de efectuar el cálculo.

La velocidad de la banda en sistema métrico es de 1.78 m/s.

La velocidad de la banda (v) esta en función de las características del material a ser transportado y del ancho de banda. A continuación se detallan las velocidades máximas recomendadas para transporte de material a granel (m/s) a diferentes anchos de bandas y diferentes tipos de materiales. Para materiales secos y finos, una velocidad elevada puede causar mucho polvo, en cambio para materiales pesados de gran granulometría y con partículas puntiagudas una velocidad elevada va a causar un desgaste mayor en las cajas de descargas.

TABLA 4.3.
VELOCIDADES MÁXIMAS RECOMENDADAS PARA
MATERIALES AL GRANEL (m/s)

LARGURA DA CORREIA (B)	CEREAIS E OUTROS MATERIAIS DE ESCOZIMENTO FÁCIL NÃO ABRASIVOS	CARVÃO, TERRA, MINÉRIOS DESAGREGADOS, PEDRA BRUTA FINA POCO ABRASIVOS	MINÉRIOS E PEDRAS DURES, PONTAGUDOS PESADOS E MUITO ADESAIVOS
16"	2,5	1,6	1,6
20"	3,0	2,0	1,8
24"	3,0	2,5	2,3
30"	3,6	3,0	2,8
36"	4,1	3,3	3,0
42"	4,1	3,6	3,0
48"	4,6	3,6	3,3
54"	5,1	3,6	3,3
60"	5,1	3,6	3,3
66"	-	4,1	3,3
72"	-	4,1	3,8

En nuestro caso la velocidad está bien seleccionada puesto que no sobrepasa los 2 m/s que señala la tabla 4.3.

Selección de tipo de Rodillo:

Para escoger el tipo de rodillos mas indicado para el régimen de trabajo se debe calcular el factor de aplicación:

$$R = AxB$$

Factor de tipo de servicio (A) . De acuerdo a la tabla 4.4.:

$$A = 9.$$

TABLA 4.4.

FACTOR A-TIPO DE SERVICIO

REGIME DE TRABALHO h/dia	TIPO DE INSTALAÇÃO	DENSIDADE DO MATERIAL (t/m ³)	FATOR A
até 5	Operação intermitente	< 1,6	6
6 a 9	Instalação provisória	< 1,6	6
6 a 9	Todas	1,6 a 1,8	12
6 a 9	Todas	> 1,8	15
10 a 16	Todas	< 1,6	9
10 a 16	Todas	1,6 a 1,8	12
10 a 16	Todas	> 1,8	15
16 a 24	Todas	=	15

Factor de características del material (B) de acuerdo a la tabla 4.5.

$$B = 48$$

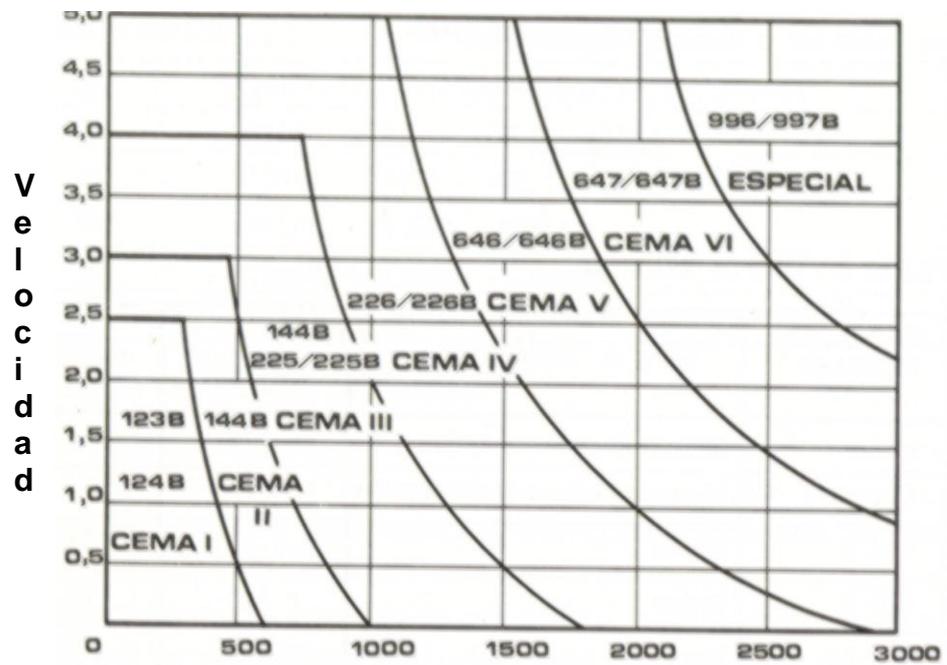
TABLA 4.5.

FACTOR B- CARACTERISTICA DEL MATERIAL

TAMANHO MÁXIMO	DENSIDADE DO MATERIAL (t/m ³)						
	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
4"	24	36	48	60	72	84	96
6"	32	48	64	80	96	112	128
8"	40	60	80	100	120	140	160
10"	48	72	96	120	144	168	192
12"	56	84	112	140	168	196	224
14"	64	96	128	160	192	224	256
16"	72	108	144	180	216	252	288
18"	80	120	160	200	240	280	320

Es decir que el valor de R= 432.

Entrando a la figura 4.2 podemos seleccionar el tipo de rodillo el cual tiene que ser de tipo CEMA 1 (CEMA B) o de régimen liviano, por lo que todos los rodillos tienen que ser seleccionados bajo estas normas CEMA.



Factor de Aplicación $R = A \times B$

FIGURA 4.2. SELECCIÓN DE RODILLOS

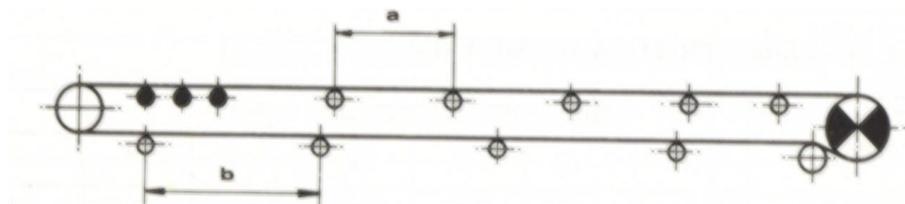


FIGURA 4.3. ESPACIO ENTRE RODILLOS

El espacio entre rodillos es calculado de acuerdo a la tabla 4.6., teniendo en cuenta sin son de transporte o de retorno. Dicha tabla relaciona el ancho de banda con la densidad del material a ser transportado. Lo que nos arroja estos valores:

Rodillos de transporte: 1.2 metros

Rodillos de retorno: 3 metros.

TABLA 4.6.

ESPACIAMIENTO ENTRE RODILLOS

LARGURA DA CORREIA (B)	ESPAÇAMENTO <u>a</u> DOS ROLETES DE CARGA			ESPAÇAMENTO <u>b</u> DOS ROLETES DE RETORNO
	DENSIDADE DO MATERIAL (t/m ³)			
	0,8	1,6	2,4	
16"	1,50m	1,50m	1,35m	3,0 m
20"	1,50m	1,20m	1,20m	
24"	1,35m	1,20m	1,20m	
30"	1,35m	1,20m	1,20m	
36"	1,35m	1,20m	1,05m	
42"	1,35m	1,00m	0,90m	
54"	1,20m	1,00m	0,90m	
60"	1,20m	1,00m	0,90m	
72"	1,20m	0,90m	0,90m	2,5 m

Potencia de Accionamiento:

La potencia efectiva necesaria para transportar el material es calculada por la siguiente fórmula:

$$N_e = V.(N_v + N_g) + \frac{Q}{100}.(N_1 \pm N_h)$$

donde:

N_e .= Potencia Total Efectiva (HP)

N_v .= Potencia para accionar el transportador vacío a una velocidad de 1,0 m/s (HP)

N_1 .= Potencia para trasladar 100T/h de material a una distancia (L) horizontalmente (HP)

N_h .= Potencia para elevar o descender 100 T/h de material a una altura H (HP)

N_d .= Potencia para vencer el rozamiento de las guías laterales a una velocidad de 1 m/s. Cuando las guías fueran de largura normal, este valor debe ser despreciado. (HP)

Q=Cantidad de material transportado (T/h).

Para hallar cada una de los componentes de la fórmula hay que trabajar con la tabla o gráfico correspondiente.

Para hallar N_v hay que utilizar la tabla 4.7 que nos relaciona el ancho de la banda con el largo del transportador, el valor que obtenemos es la potencia para arrancar el transportador vacío a una velocidad de 1 m/s y la unidad de potencia que arroja la fórmula es en HP.

TABLA 4.7.
POTENCIA PARA ACCIONAR TRANSPORTADOR EN VACÍO A
1.0 M/S

LARGURA DA CORREIA (B)	N_v (HP)												
	COMPRIMENTO DO TRANSPORTADOR = L (m)												
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
16"	0,37	0,47	0,54	0,61	0,70	0,80	0,90	1,01	1,10	1,20	1,31	1,42	1,53
20"	0,45	0,55	0,64	0,72	0,81	0,95	1,09	1,20	1,32	1,43	1,54	1,67	1,80
24"	0,57	0,70	0,83	0,91	1,01	1,20	1,33	1,52	1,67	1,80	1,92	2,06	2,19
30"	0,69	0,81	0,97	1,10	1,22	1,44	1,66	1,83	2,04	2,19	2,39	2,55	2,71
36"	0,75	0,94	1,08	1,23	1,35	1,58	1,80	2,03	2,24	2,45	2,64	2,84	3,03
42"	0,85	1,01	1,22	1,39	1,54	1,80	2,04	2,28	2,52	2,76	2,95	3,17	3,38
48"	1,02	1,20	1,32	1,64	1,80	2,13	2,40	2,71	2,98	3,23	3,48	3,74	4,00

Transportador de 18 m = 0.64

Transportador de 25 m = 0.72

Para hallar N_1 hay que utilizar la tabla 4.8 que nos relaciona el largo del transportador directamente con el valor de la potencia, el valor que obtenemos es la potencia para transportar 100 T/h de

material a una distancia L (distancia entre centros de poleas) en un plano horizontal. Este valor viene dado en (HP)

TABLA 4.8.
POTENCIA PARA TRANSPORTAR 100 T/H DE MATERIAL A UNA DISTANCIA HORIZONTAL

L (m)	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
N_1 (HP)	0,50	0,63	0,74	0,81	0,95	1,11	1,25	1,42	1,50	1,64	1,75	1,87	2,05

Transportador de 18 m = 0.74

Transportador de 25 m = 0.81

Para hallar el término N_v hay que utilizar la tabla 4.9, la misma que ayuda a determinar la potencia para elevar o descender a una altura 100 t/h del material.

TABLA 4.9.
POTENCIA PARA ELEVAR O DESCENDER 100 T/H DE MATERIAL

Alt. (m)	2	3	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
N_1 (HP)	0,8	1,2	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,4	8,4	9,3	10,2	11,1

Transportador de 18 m = 1.5

Transportador de 25 m = 0

Para hallar el término N_g que relaciona la potencia para vencer el rozamiento de las guías laterales.

Transportador de 18 m = 2.52

Transportador de 25 m = 3.18

Con estos valores reemplazamos para obtener el valor de la potencia efectiva necesaria

$$N_e = 0.5 (0.72) + 40/100 (0.775 + 2.8)$$

$$N_e = 0.36 + 1.43$$

$$N_e = 1.79 \text{ Hp}$$

Determinar la potencia del motor

Determinada la potencia efectiva N_e (Hp), puede determinarse el motor ha ser utilizando la siguiente fórmula, considerando las pérdidas de transmisión:

$$N_{\text{motor}} = N_e / \eta_t$$

Donde :

$$\eta_t = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \dots \eta_n$$

$$N_e = 0.64+0.74+1.5+2.52 = 5.4 \text{ (transportador de 18 m)}$$

$$N_e = 0.72+0.81+0+3.18 = 4.71 \text{ (transportador de 25 m)}$$

Las eficiencias son determinadas mediante la tabla 4.10 que sigue:

TABLA 4.10.

EFICIENCIAS

TRANSMISSÃO	EFICIÊNCIA (η)
Correias V e polias	0,94
Corrente e rodas dentadas - s/ caixa de óleo	0,93
Corrente e rodas dentadas - c/ caixa de óleo	0,95
Redução simples em redutores de engrenagens helicoidais ou tipo espinha de peixe em moto- redutores	0,95
Redução simples, idem	0,94
Redução tripla, idem	0,93
Redução dupla em redutores "shaft mounted" de engrenagens helicoidais	0,94
Redutores de rosca sem fim com redução até 20:1	0,90
Idem de 20:1 a 60:1	0,70
Idem de 60:1 a 100:1	0,50
Acoplamentos hidráulicos	0,96 - 0,98
Queda de voltagem	0,90 - 0,95

Para ambos transportadores la suma de eficiencias $\eta_t=0.8394$

La potencia del motor para el transportador de 18 metros es de

6,43 HP y para el transportador de 25 metros es de 5,61 HP.

Por lo que se deben de seleccionar motores de **7,5 HP** para todos los transportadores.

Determinación de tensión de correas

Con la potencia efectiva (N_e) se puede obtener la tensión efectiva de la correa (T_e), que es la fuerza tangencial que mueve a la correa. Se determina por la siguiente fórmula:

$$T_e = \frac{75 \times N_e}{v}$$

Donde :

T_e = tensión efectiva

N_e = potencia efectiva

V = velocidad de la correa

Para el transportador de 25 metros $T_e = 237$ Kg.

Para el transportador de 18 metros $T_e = 271$ Kg.

Las tensiones máximas son mayores que T_e debido a que tenemos una pretensión necesaria para la transmisión de movimiento del tambor a la correa.

$$T_1 = T_e (1 + K)$$

$$T_2 = k \cdot T_e$$

El factor depende del ángulo de abrazamiento de la correa sobre el tambor y del coeficiente entre esos elementos.

K = 0,8 para el tambor revestido

K= 1,2 para el tambor sin revestimiento.

Selección de Poleas:

Ancho de la banda = 20”

Ancho del tambor = 22”

Distancia entre centros = 10”

Ejes polea de retorno = 1 11/16

Ejes polea de transmisión = 1 15/16”

Diámetro de las poleas = 8”

TABLA 4.11.

ACCESORIOS TRANSPORTADORES

			Ancho	Marca	Observación
Banda	215,5	m	20"	Continental	3 capas
			Modelo	Marca	Observación
Drive Pulley	5	unid	D8C22XT20	Browing	
Tail Pulley	5	unid	D8C22XT20	Browing	
Bushing/pulley	20	unid	XTB20	Browing	
Reductor	5	unid	115SMTP25	Browing	
Bushing	5	unid	115STBP111	Browing	
Correa	5	unid	AX62	Browing	
Base Motor	5	unid	MMS115L	Browing	
	5	unid	MMA 107-115	Browing	
	5	unid	MB 107-115	Browing	

4.3. Costos de Mantenimiento y Montaje

El detalle de todo el trabajo de mantenimiento es el siguiente:

TABLA 4.12

COSTOS MANTENIMIENTO TRANSPORTADORES

Transportador	# 1			
Salida:	Rejas de tolva			
Alimenta:	Patio de Carga			
Material:	Gruesos			
Longitud:	18	m		
Estructura	Cantidad	Unidad	USD/Unid	USD Total
Motor	1	Unid	500,00	500,00
Banda	37,5	M	40,00	1.500,00
Rodillos de impacto	4	Unid	176,00	704,00
Rodillos de transporte	12	Unid	140,00	1.680,00
Rodillos de retorno	4	Unid	85,10	340,40
Raspadores	1	Unid	150,00	150,00
Guías de transporte	3	Unid	155,40	466,20
Guías de retorno	2	Unid	114,70	229,40
Polea retorno	1	Unid	800,00	800,00
Polea motriz	1	Unid	900,00	900,00
Poleas de reducción	3	Unid	20,00	60,00
Reductor	1	Unid	1.500,00	1.500,00
Accesorios		Varios	1.000,00	1.000,00
Total				9.830,00

Motor	1	Unid	500,00	500,00
Banda	37,5	M	40,00	1.500,00
Rodillos de impacto	4	Unid	176,00	704,00
Rodillos de transporte	12	Unid	140,00	1.680,00
Rodillos de retorno	4	Unid	85,10	340,40
Raspadores	1	Unid	150,00	150,00
Guías de transporte	3	Unid	155,40	466,20
Guías de retorno	2	Unid	114,70	229,40
Polea retorno	1	Unid	800,00	800,00
Polea motriz	1	Unid	900,00	900,00
Poleas de reducción	3	Unid	20,00	60,00
Reductor	1	Unid	1.500,00	1.500,00
Accesorios		Varios	1.000,00	1.000,00
Total				9.830,00
Transportador	#4			
Salida:	Zaranda			
Alimenta:	Lavadora			
Material:	Arena			
Longitud:	18	m		
Estructura	Cantidad	Unidad	USD/Unid	USD Total
Motor	1	Unid	500,00	500,00
Banda	37,5	M	40,00	1.500,00
Rodillos de impacto	4	Unid	176,00	704,00
Rodillos de transporte	12	Unid	140,00	1.680,00
Rodillos de retorno	4	Unid	85,10	340,40
Raspadores	1	Unid	150,00	150,00

Guías de transporte	3	Unid	155,40	466,20
Guías de retorno	2	Unid	114,70	229,40
Polea retorno	1	Unid	800,00	800,00
Polea motriz	1	Unid	900,00	900,00
Poleas de reducción	3	Unid	20,00	60,00
Reductor	1	Unid	1.500,00	1.500,00
Accesorios		Varios	1.000,00	1.000,00
Total				9.830,00
Transportador	#5			
Salida:	Lavadora			
Alimenta:	Patio de carga			
Material:	Arena lavada			
Longitud:	25	m		
Estructura	Cantidad	Unidad	USD/Unid	USD Total
Motor	1	Unid	500,00	500,00
Banda	51,5	M	40,00	2.060,00
Rodillos de impacto	4	Unid	176,00	704,00
Rodillos de transporte	18	Unid	140,00	2.520,00
Rodillos de retorno	5	Unid	85,10	425,50
Raspadores	1	Unid	150,00	150,00
Guías de transporte	3	Unid	155,40	466,20
Guías de retorno	2	Unid	114,70	229,40
Polea retorno	1	Unid	800,00	800,00
Polea motriz	1	Unid	900,00	900,00

Poleas de reducción	3	Unid	20,00	60,00
Reductor	1	Unid	1.500,00	1.500,00
Accesorios		Varios	1.000,00	1.000,00
Total				11.315,10
Total				
Motor	5	Unid	500,00	2.500,00
Banda	215,5	M	40,00	8.620,00
Rodillos de impacto	20	Unid	176,00	3.520,00
Rodillos de transporte	72	Unid	140,00	10.080,00
Rodillos de retorno	22	Unid	85,10	1.872,20
Raspadores	5	Unid	150,00	750,00
Guías de transporte	15	Unid	155,40	2.331,00
Guías de retorno	10	Unid	114,70	1.147,00
Polea retorno	5	Unid	800,00	4.000,00
Polea motriz	5	Unid	900,00	4.500,00
Poleas de reducción	15	Unid	20,00	300,00
Reductor	5	Unid	1.500,00	7.500,00
Accesorios	5	Varios	1.000,00	5.000,00
Total				52.120,20

Los montos señalados en la pro forma no incluyen IVA.

A estos valores hay que sumar los de mano de hora hombre herramienta el mismo que es de USD 6/ hora/hombre.

TABLA 4.13.

COSTOS MONTAJE DE TRANSPORTADORES

MONTAJE		
Equipo de Trabajo		
Costo Hora Hombre	\$6,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	25	
Costo Total Horas Hombre	\$6.000,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$52.120,20	
10% Costo de Obra	\$5.212,02	
EQUIPOS DE MONTAJE		
Equipo de Trabajo		
Grúa 20 TM	\$40,00	c/h
horas a laborar	12	horas
Costo grúa 20 Tm	\$480,00	
Costo Hora Hombre	\$6,00	USD/hombre
Integrantes	5	personas
Horas laborales	8	/día
Número de días	4	
Costo Total Horas Hombre	\$1.440,00	
Dirección Técnica		
Costo obra	\$1.440,00	
10% Costo de Obra	\$144,00	
	\$1.584,00	
Costo Total	\$64.916,22	

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término de la presente tesis podemos concluir que se soluciona el problema existente en la cantera del proceso de lavado de arena si ponen en marcha este proyecto.

Tienen la materia prima que es la arena que al final del proceso tendría las características deseadas en la industria de la construcción por su forma y tamaño. Además se busca la excelencia de calidad en la arena ya que actualmente la que existe en el mercado nacional no cumple las normas requeridas para la elaboración de bloques, adoquines, baldosas, etc.

Uno de los beneficios más importante de este trabajo es que utiliza los recursos existentes buscando el máximo ahorro en costos y gastos. Se aprovecha las maquinarias que poseen los inversionistas sin funcionar pero poniéndolas a punto después de un estricto programa de mantenimiento y su posterior montaje.

Lo único que se va a construir es la tolva que es donde comienza el proceso puesto que los camiones van a descargar la arena en ella. La tolva se la construirá de acero A36 el cual según los cálculos respectivos soportará los esfuerzos críticos del almacenamiento y de la descarga de la arena.

En las demás maquinarias como la criba y los transportadores se harán sólo mantenimiento y montaje, pero se pudo comprobar en los capítulos respectivos que los equipos existentes sirven para el proceso de lavado de arena pues están sobredimensionadas para la necesidad y no se las tendrá que forzar. E forzarlas podría ocasionar el acortamiento de la vida útil de los mencionados equipos .

El costo total de esta parte del proyecto es **\$ 84,905.04** (sin IVA) incluyendo diseño, mantenimiento y montaje, lo cual es poco comparado si se comprara equipos nuevos, además se recomienda ponerlo en marcha lo antes posible para recuperar el

capital invertido y tener ganancias a mediano plazo puesto que el mercado de la construcción está creciendo y necesita arena de buena calidad.

ANEXOS A

LISTA DE PIEZAS DE RECAMBIO DE LA CRIBA VIBRATORIA

ANEXOS B

TABLA PARA SELECCIÓN DE REDUCTORES

BIBLIOGRAFIA

1. METSO, Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales, 2005.
2. COLLAZO JAVIER, Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos Inglés-Español, McGraw-Hill, México, 1994.
3. CRANE, KENNETH MCNAUGHTON, Válvulas, Compresores y Bombas, McGraw-Hill, México, 1995.
4. FRANK INCROPERA, DAVID DE WITT, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Third Edition.
5. VICTOR STREETER, Mecánica de los Fluidos, Mc Graw Hill, 1968.
6. THEODORE BAUMEISTER, EUGENE AVALLONE, THEODORE BAUMASTER III, Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Octava Edición. Volumen I.
7. CEPIS–Programa de Protección de la Salud Ambiental-HPE Evaluación de plantas de tratamiento de agua. Tomo I, Manual DTIAPA C-5, 1981.

8. Pérez, J. M. Submódulo 4.5.2. *Sedimentadores laminares*. Versión preliminar.
9. Programa Regional OPS/HEP/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua, 1981.
10. Fair, G. M.; Geyer, J. C. y Okun, D. A. *Water and wastewater engineering*. Nueva York, John Wiley, 2 vols, 1968.
11. Yao, K. M. Theoretical study of high-rate sedimentation. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 42 (2, parte I), febrero, 1970. pp. 218-228.
12. Pérez, J. Evaluation of lower cost methods of water treatment in Latin America. Lima, CEPIS/OPS, 1977, pp. 290.