



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
**“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA Y QUÍMICA

# **Dimensionamiento de una Criba Vibratoria para la Planta Metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas**

**Proyecto de Diploma en Opción al Título de  
Ingeniero en Metalurgia y Materiales**

**Avelino Chinduamba Capingana**

**Moa, 2019**



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA Y QUÍMICA**

## **Dimensionamiento de una Criba Vibratoria para la Planta Metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas**

**Proyecto de Diploma en Opción al Título de  
Ingeniero en Metalurgia y Materiales**

**Autor: Avelino Chinduamba Capingana**

**Tutores:**

**Ms. C. Isidro Javier Cachaldora Francisco, Tecnólogo**

**Ms. C. Evangelia García Peña, Prof. Auxiliar**

**Dr. C. Amaurys de los Milagros Palacios, Prof. Auxiliar**

**Moa, 2019**

A mis padres

A mis tíos

A mis hermanos

*Agradecimientos:*

*A mi madre Josefa Victorina, mi padre Eliseu Avelino, mi tío Antônio Gongo Cunha, por su incesante apoyo en la orientación.*

*A mis hermanos: Maria, Ilda, Helena, Margarida e Ivanildo por confortarme.*

*A mis sobrinos: Azinildo, Neuzinha, Jumará, Tracelma, Milenis y Essandju, por inspirarme.*

*A todos mis colegas, por su contribución en esa trayectoria.*

*A todos mis profesores, que a través de su paciencia, dedicación y exigencia, hemos podido alcanzar las metas trazadas.*

*A la empresa UEB Producciones Mineras de Placetas, en nombre del Ing. Nikolai Castillo Lobaina y el Ing. Isidro Javier Cachaldora Francisco, y en nombre de todo el personal, por recibirme incondicionalmente.*

*Al Ing. José Carlos Valdés, por facilitarme el contacto con la UEB.*

*A la Universidad Central de las Villas "Marta Abreu" – Villa Clara, por albergarme y facilitar los trabajos investigativos.*

*A mis profesores orientadores: Dr. Palacios y Ms. Eva, por exigir, orientar, guiar y permitir la concretización de este trabajo.*

*A todo el colectivo de trabajadores del ISMM – Moa y a todos aquellos, que directa o indirectamente contribuyeron en este viaje de 6 años.*

*A todo ellos:*

*Muchas gracias*

*Da a los que amas alas para volar, raíces para volver,  
y razones para quedarse.*

*Dalai Lama*

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo, dimensionar una criba vibratoria para procesar minerales auríferos, motivado por una disminución en la eficiencia metalúrgica registrada en lixiviación con cianuro en la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas. Para el desarrollo del mismo, se consideraron el balance de masa de en la criba, teniendo en cuenta el índice de cernido y rechazo del mineral a procesar en cada tamiz. También se emplearon cálculos de los componentes eléctricos y mecánicos de la criba, considerando como variables, la tensión de las poleas, la potencia de diseño del motor a instalar en la criba, la frecuencia de vibración, la velocidad de rotación, la fuerza y el ángulo de inclinación de la criba. Como resultado se logra obtener el balance de masa, al procesar 3 330 kg/h de menas auríferas, 979,102 kg/h de mineral con características requeridas al proceso, en una criba vibratoria con 3 tamices: 1 mm de diámetro en el primero, 0,5 en el segundo tamiz y 0,074 mm de diámetro en el tercer tamiz; la criba tiene un ángulo de inclinación de 20°, con un motor que trabaja a 5,844 kW de potencia, generando una frecuencia de vibración de 50 Hz y una velocidad de rotación de 750 rpm.

### **Palabras clave:**

Lixiviación, cribado, balance de masa, eficiencia metalúrgica.

## **SUMMARY**

The objective of this project is to dimension a vibrating screen to process gold-bearing minerals, motivated by a decrease in metallurgical efficiency recorded in cyanide leaching at the UEB metallurgical plant. For the development of the same, the mass balance of the screen was considered, taking into account the sieving index and rejection of the mineral to be processed in each sieve. Calculations of the electrical and mechanical components of the screen were also used, considering as variables the tension of the pulleys, the design power of the motor to be installed in the screen, the frequency of vibration, the speed of rotation, the force and the inclination angle of the screen. As a result, the mass balance is obtained by processing 3 330 kg / h of gold ore, 979,102 kg / h of ore with characteristics required for the process, in a vibrating screen with 3 sieves: 1 mm in diameter in the first, 0,5 in the second screen and 0,074 mm in diameter in the third screen; The screen has a tilt angle of 20°, with an engine that works at 5,844 kW of power, generating a vibration frequency of 50 Hz and a rotation speed of 750 rpm.

### **Keywords:**

Leaching, screening, mass balance, metallurgical efficiency.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>5</b>
1.1 Aspectos generales sobre la clasificación granulométrica de los minerales auríferos .....	5
1.1.1 Fundamentos sobre el proceso de cribado .....	5
1.2 Estado del arte de la clasificación granulométrica .....	12
1.3 Antecedentes de la empresa.....	14
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Descripción del flujo tecnológico de la UEB Producciones Mineras de Placetas .....	15
2.2 Consideraciones técnicas de dimensionamiento de la criba vibratoria .....	17
2.2.1 Sistema de alimentación.....	17
2.2.2 Sistema clasificación.....	17
2.2.3 Sistema de transmisión mecánica .....	18
2.2.4 Sistema eléctrico .....	19
2.5 Dimensionamiento del sistema de alimentación .....	19
2.5.1 Cálculo de la capacidad de la tolva.....	19
2.6 Cálculo de la superficie de la tolva.....	20
2.7 Cálculo del espesor de la plancha de la tolva .....	21
2.8 Dimensionamiento del sistema de clasificación.....	22
2.8.1 Cálculo de la superficie de cribado.....	23
2.8.2 Cálculo de flujo másico.....	29
2.8.3 Cálculo de la longitud de la criba .....	30
2.8.4 Forma e inclinación de la criba .....	31
2.8.5 Cálculo del peso de la criba.....	31
2.9 Dimensionamiento del sistema mecánico .....	31
2.9.1 Diseño del sistema de transmisión mecánica.....	31
2.9.2 Diseño del mecanismo de vibración.....	34
2.10 Dimensionamiento del sistema eléctrico.....	42
2.10.1 Cálculos del motor .....	42
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
3.1 Parámetros de dimensionamiento.....	46
3.1.1 Parámetros iniciales .....	46
3.1.2 Parámetros secundarios.....	47



<b>3.2 Dimensionamiento del sistema de alimentación .....</b>	<b>48</b>
3.2.1 Cálculo de la superficie de la tolva .....	48
3.2.2 Cálculo del espesor de la plancha .....	49
<b>3.3 Dimensionamiento del sistema de clasificación.....</b>	<b>50</b>
3.3.1 Cálculo de la superficie de la criba .....	51
3.3.2 Cálculo del factor de corrección de la capacidad básica (ft).....	51
3.3.3 Cálculo de la longitud de la criba .....	57
3.3.4 Forma e inclinación de la criba .....	58
<b>3.4 Dimensionamiento del sistema de transmisión mecánica .....</b>	<b>59</b>
3.4.1 Cálculo de la velocidad de avance .....	59
3.4.2 Diseño del mecanismo de vibración.....	59
3.4.3 Cálculo de la excentricidad de las masas .....	59
3.4.4 Cálculo de la fuerza centrífuga o de vibración .....	60
3.4.5 Cálculo de las masas excéntricas .....	60
3.4.6 Cálculo de la potencia del motor .....	61
3.4.7 Cálculo de las poleas de transmisión.....	62
3.4.8 Cálculo de la sección de la banda.....	63
<b>3.5 Diseño del sistema eléctrico .....</b>	<b>65</b>
3.5.1 Cálculos del motor .....	65
<b>3.6 Valoración ambiental de la planta .....</b>	<b>67</b>
<b>3.7 Evaluación Ecomómica .....</b>	<b>68</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de clasificación granulométrica en los tratamientos de minerales auríferos constituyen un proceso clave para las subsecuentes técnicas de extracción de oro.

Se denomina clasificación granulométrica a la operación de separación de los componentes de una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo a su tamaño (Pavez, J. 2016. Optimización de Tamaños de Transferencia en Chancado y Molienda Sewell Mediante Simulación de Procesos. Tesis de Ingeniería. Pontificia Universidad de Valparaíso. Chile. pp33).

Clasificación granulométrica es la operación de la separación de material granular en dos o más productos basado en la velocidad con la que las partículas caen en el seno del fluido (Alcalá, *et. al.*, 2008). Aunque también es definido como separación de las partículas según la rapidez de asentamiento en un fluido (Kelly, *et. al.*, 1990). En un medio viscoso, como el agua o el aire, existe resistencia al movimiento y su viscosidad se incrementa con la velocidad. Cuando se ha alcanzado el equilibrio entre la fuerza de gravedad y las fuerzas de resistencia del fluido, el cuerpo alcanza su velocidad terminal y después cae a una velocidad uniforme.

También se puede definir la clasificación granulométrica como una operación mineralúrgica cuyo objetivo básico es separar los productos que ya tienen un determinado tamaño, o rango de tamaños, de aquellos que no reúnen las dimensiones adecuadas. En el proceso de clasificación no se modifica el tamaño de las partículas, no es el objetivo de la clasificación, si bien pueden producirse ligeras modificaciones por fricciones con el equipo u otras causas, pero no es este fenómeno el deseado.

(Blanco, E. 2011. Tecnología Mineralúrgica. Bloque II. Capítulo 9. Clasificación, Cribado. Universidad de Cantabria. España).

Como reafirma Heiskanen, 1993. La clasificación es un método de separar mezclas de minerales en dos o más productos en la base de la velocidad con cuál los granos caen sobre un medio fluido, generalmente agua.

La clasificación es una operación obligada para cumplir con las especificaciones necesarias de los productos para las siguientes operaciones (González, R. 2015.

Instalación de una Planta de Trituración y Cribado de una Cantera de Cuarcita. Tesis de Ingeniería. Universidad de León. México).

La clasificación granulométrica suele constituir un método de análisis físico para el control de la eficiencia de operaciones básicas, como la trituración y la molienda. Por tal motivo va, generalmente, asociada a la fragmentación en alguna de sus etapas, y se utiliza, además de para obtener productos de un determinado tamaño como objetivo principal, en los esquemas de fragmentación también se usa para diseñar circuitos cerrados con los equipos de fragmentación (conos y molinos) con el claro objetivo de optimizar los procesos en consumos de energía y en costos (Blanco, E. 2011. Tecnología Mineralúrgica. Bloque II. Capítulo 9. Clasificación, Cribado. Universidad de Cantabria. España).

El cribado es uno de los métodos de clasificación de minerales más utilizados en el mundo. Que se define como una operación de clasificación por tamaño de fragmentos de dimensiones y formas variadas, obligándolos a enfrentarse a una superficie con aberturas (superficie de cribado) que permitirá el paso de aquellos granos con dimensiones inferiores al tamaño de la abertura (pasante) y reteniendo o rechazando aquellos otros con un tamaño superior a la dimensión de la abertura (rechazo).

El mineral que ingresa en la criba se llama inicial, el que queda en ella, producto sobre la rejilla (superior) y el que cae por los orificios de la criba, producto bajo la rejilla (inferior) (Andreev, 1980). Cribando un material consecutivamente en  $n$  cribas se obtienen  $n+1$  productos. En este caso, uno de los productos del cribado anterior sirve como material inicial para el siguiente cribado. La serie sucesiva de magnitudes absolutas de los orificios de las cribas (de mayores a menores), utilizadas para cribar minerales, se llama escala de cribado o sistema de clasificación granulométrica.

Para un sistema de clasificación granulométrica por cribado en los procesos hidrometalúrgicos de carbón en lixiviación (CIL), como el que presenta la UEB Producciones Mineras de Placetas, resulta útil seguir el flujo del sistema con un espesamiento de la mezcla producto, para mantener el contenido de sólido requerido por el mismo proceso.

La utilización del cribado como sistema se extiende desde la industria minero-metalúrgica, alimentaria, médica, farmacéutica, de la construcción, etc.

En Cuba, a pesar de una amplia utilización de los sistemas de clasificación granulométrica por cribado en la industria minera, existen pequeñas plantas que no llevan a cabo este proceso. Tal es el caso de la UEB Producciones Mineras de Placetas, que en su proceso de tratamiento de minerales auríferos para la extracción de oro mediante el proceso CIL (Carbon In Leaching), no tiene un sistema de clasificación. El mineral después de su conminución pasa directamente a la lixiviación, provocando una disminución eficiencia al proceso, puesto que hay granos minerales que no llegan a tener contacto con el reactivo por su irregular tamaño.

### **Problema**

Deficientes características granulométricas del mineral aurífero alimentado a lixiviación, ocasionando una disminución en la eficiencia metalúrgica en la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas.

### **Objeto de estudio**

Cribas vibratorias.

### **Campo de acción**

Sistema de cribado de minerales auríferos en cribas vibratorias.

### **Objetivo general**

Dimensionar una criba vibratoria para el procesamiento de minerales auríferos en la UEB Producciones Mineras de Placetas con vista a elevar la eficiencia metalúrgica de la planta.

### **Hipótesis**

Instalando una de criba vibratoria antes de la alimentación a lixiviación, se podrá incrementar la eficiencia metalúrgica en la UEB Producciones Mineras de Placetas.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar la UEB Producciones Mineras de Placetas;
- Determinar los parámetros de cálculo de una criba vibratoria;

- Proponer un esquema tecnológico a la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas.

## **1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

En el presente capítulo se expone, de forma general, la conceptualización de clasificación granulométrica, específicamente, el sistema de cribado de los minerales, la descripción de los principales equipos en que se llevan a cabo este proceso, y se analizan los diferentes trabajos realizados que relacionan la temática.

### **1.1 Aspectos generales sobre la clasificación granulométrica de los minerales auríferos**

Las primeras referencias de clasificación granulométrica en la extracción de oro datan del año 150 a.C. en descripción de los métodos de los griegos, egipcios y los romanos que usaban tamices con tejidos realizados a partir de pelos de equinos, juncos, tablones y pieles a los cuales les llenaban de agujeros y eran primeramente usados para la separación de las partículas de tamaño. El primer uso de cribas de tamices metálicos fue en el siglo XV y se les atribuye a los germanos (Cori, W. 2017. Diseño de una Criba para la Concentración de Oro. Tesis de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia).

En la actualidad existen diferentes tipos de operaciones de separación y que también se emplean indistintamente los términos, cribado, tamizado, clasificación, separación, selección, etc. Las separaciones de los materiales puede llevarse a cabo por distintos métodos como: mecánicos, hidráulicos, corriente de aire y magnético.

Los principales objetivos de la clasificación granulométrica son:

- Eliminar los finos y evitar la aparición de sobretriturados en las trituradoras;
- Separar por tramos granulométricos para su posterior proceso.

#### **1.1.1 Fundamentos sobre el proceso de cribado**

El cribado es un método mecánico de separación. Esta separación se realiza haciendo pasar al producto sobre una superficie provista de orificios de tamaños deseados. El aparato puede estar formado por barras fijas o en movimiento, por placas metálicas perforadas o por tejidos de hilos metálicos.

El material que no atraviesa los orificios del tamiz se designa como rechazo o fracción positiva y el que lo pasa se llama tamizado o fracción negativa.

Utilizando más de un tamiz, se producen distintas fracciones de tamizado y pueden designarse según los tamaños de los orificios o el número de mallas por unidad de superficie, utilizados en la separación (Brown, 1965).

El proceso de cribado tiene las siguientes funciones:

- Separar los fragmentos más gruesos contenidos en una mezcla, con el fin de eliminarlos o para enviarlos a una nueva etapa de fragmentación, de aquellos otros con las dimensiones requeridas;
- Realizar un deslamado (eliminación de arcillas o constituyentes de naturaleza coloidal);
- Obtener de un producto que cumpla unas especificaciones técnicas (p.e.: plantas de áridos);
- Necesidad de una granulometría determinada en operaciones de control;
- Necesidad de obtener un tamaño determinado para que los procesos posteriores operen de forma adecuada;
- El cribado puede servir también para la eliminación de agua (agotada).

Un ejemplo de sistema de clasificación granulométrica de minerales se ilustra en la figura 1.1.

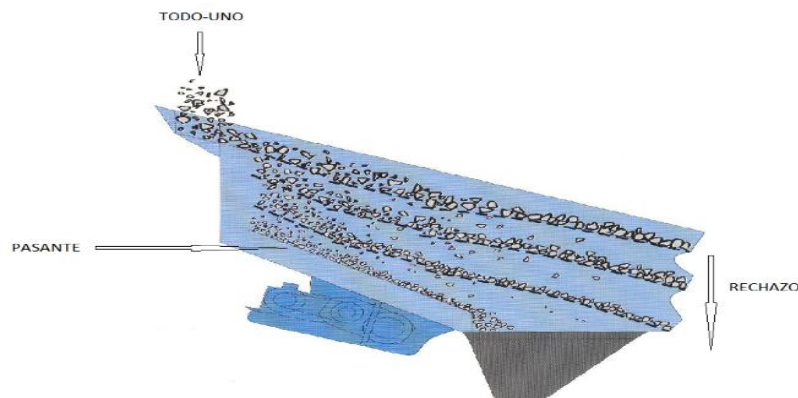


Figura 1.1 Esquema de criba de varias bandejas. Fuente: Svedala.

Como resultado del cribado sucesivo de los minerales en  $n$  mallas, se obtienen  $n + 1$  productos. Condicionalmente a los productos retenido y cernido se simbolizan con  $+d(+l)$  y  $-d(-l)$  respectivamente (Velázquez, C. 1999).

Existen diferentes tipos de cribas industriales, las cuales pueden ser clasificadas como estacionarias o móviles.

### 1.1.1.1 Cribas estacionarias

#### 1) Parrillas

El material generalmente muy grueso se criba sobre una parrilla, consiste de una serie de barras gruesas paralelas colocadas en un bastidor. Algunas son sacudidas y vibradas mecánicamente para ayudar a la clasificación y a eliminar los gruesos. El uso más común de las parrillas es el procesamiento de minerales para clasificar la alimentación de los trituradores primarios (Luz y Lins, 2004).

Las barras de una parrilla usualmente están inclinadas en un ángulo de  $15 - 20^\circ$  y tienen una sección transversal piramidal para evitar la obstrucción una vez que las partículas han entrado en ellas.

El tamaño de partícula cribada en parrillas puede variar de 20 – 300 mm. La capacidad es proporcional al área.

En la figura 1.2 se ilustra un ejemplo de criba de parrillas.

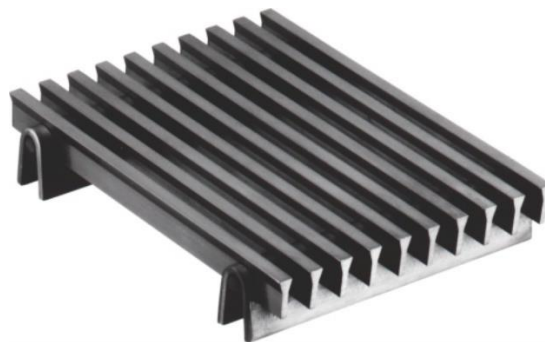


Figura 1.2 Criba de parrillas. Fuente: Svedala.

Estas parrillas están formadas por barras, perfiles o raíles, dispuestos de forma paralela y con la separación adecuada a la clasificación que se persigue.

La máxima longitud de las barras está dispuesta en el sentido del flujo del material. La sección de las barras se va estrechando hacia el final de la criba, con lo que se tiene una divergencia entre las mismas a fin de obtener elevadas eficiencias.

Las secciones de las barras suelen ser de formas trapezoidales semejantes a las secciones triangulares y dispuestas de forma invertida para evitar atascos.

Se fabrican de acero. Para trabajos duros y de alta abrasividad se emplean barras de acero al manganeso o aleados con cromo.



## 2) Cribas curvas

Tienen un tamiz curvado compuesto de barras horizontales en cuña, como se ilustra en la figura 1.3. El lodo de alimentación entra tangencialmente a la cara superior de la criba y fluye hacia abajo de la superficie en dirección perpendicular a las aberturas entre las barras en forma de cuña. A medida que la corriente de lodo pasa por cada una de las aberturas se desprende una delgada capa que se dirige al lado inferior de la criba. Las partículas del casi el doble de espesor de esta capa son arrastradas junto con la fracción fina, las partículas mayores de este tamaño pasan a través de las aberturas a medida que su parte más grande se proyecta hacia el interior del líquido que fluye sobre la ranura. Realiza separación de hasta 50  $\mu\text{m}$  y las capacidades de las cribas son de hasta 180  $\text{m}^3/\text{h}$  por cada  $\text{m}^2$  del área de la criba (Revista Metalífera, 1989).

Las cribas curvas tienen una importante aplicación en la molienda en circuito cerrado de menas de mineral pesado como los de hierro, cobre, arena, cemento, etc.

La alimentación puede contener un contenido de sólidos en torno al 40 %.

El tamaño de corte viene a ser aproximadamente la mitad de la dimensión de separación entre las rejillas. El contenido de huecos en la rejilla oscila entre el 17 y el 40 %.

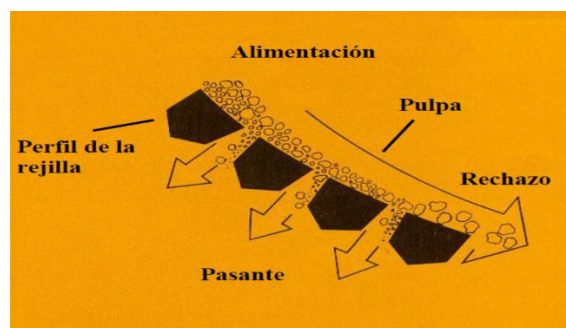


Figura 1.3 Principio de funcionamiento de una criba curva. Fuente: Dorr-Oliver.

### 1.1.1.2 Cribas móviles

#### 1) Cribas vibratorias

Son las máquinas de cribado más importantes para las aplicaciones en el procesamiento de minerales. Manejan minerales de 25 cm en tamaño hasta 250  $\mu\text{m}$ .

La vibración se induce verticalmente por la rotación de un aparato recíprocamente mecánico que se aplica a la caja o por aparatos eléctricos que operan directamente sobre la criba.

Las cribas pueden poseer una sola superficie tamizante o llevar dos, tres o más tamices en serie (figura 1.4), produciendo así una variedad de fracciones clasificadas por tamaños. Estas cribas trabajan con pendientes bajas y necesitan poca altura de paso.

Las cribas vibradas eléctricamente operan con un movimiento de alta frecuencia de muy poca carrera, creado por un magneto móvil que se activa por corriente alterna. El vibrador electromagnético está montado sobre la superficie de cribado y conectado directamente a ella (Revista Metalífera, 1989).

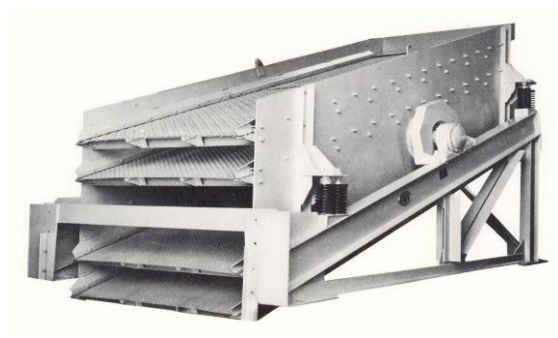


Figura 1.4 Criba vibratoria. Fuente: Roher.

Para las que se utilizan en clasificación más gruesa, hay dos métodos principales de producir la vibración mecánica: el de movimiento excéntrico para alimentaciones más gruesas de 4 cm, y para menos de este tamaño, se usan las poleas desbalanceadas (Brown, 1965).

## **2) Cribas rotatorias**

Uno de los aparatos de cribado más antiguos es el tromel (figura 1.5), que es una criba cilíndrica rotatoria ligeramente inclinada, que se puede usar en seco o

en húmedo. Pueden disponerse varios tambores en serie, de modo que el tamizado del primero pase al segundo y de este al tercero, etc. El material entra por un extremo del tambor, el fino pasa a través de las aberturas de la criba y el grueso sale por el extremo opuesto. De este modo se fracciona un producto en materiales de distintos tamaños. El principal problema es que las cribas se desgastan rápidamente, debido a que el total de la alimentación debe pasar a través de ellas (Revista Metalífera, 1989).

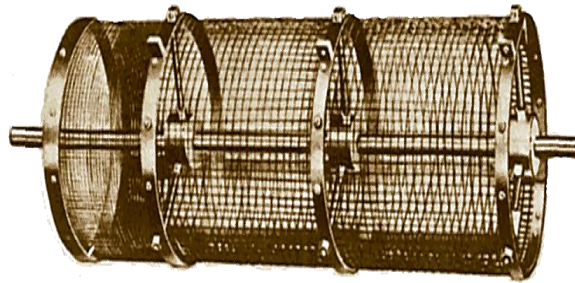


Figura 1.5 Criba rotatoria. Fuente: Conferencia 5, Coello.

### **3) Cribas reciprocantes**

Estas cribas emplean un movimiento giratorio horizontal hacia el extremo de alimentación de una criba rectangular por medio de un árbol o flecha rotatoria desbalanceada que gira alrededor de 1000 rpm. El movimiento circular en el extremo de la alimentación extiende el material a través de todo lo ancho de la superficie de la criba, ya que esta es alimentada desde un solo punto, y dicho movimiento también estratifica el material, causando que los finos se asienten abajo contra la malla de la criba. La criba está ligeramente inclinada y algunas tienen charolas o artesas debajo (figura 1.6), las cuales son flexionadas contra la tira biselada por el movimiento de la máquina y rebotan continuamente contra la malla fina de la criba, reduciendo así la obstrucción. Estas cribas se usan principalmente en seco, para la separación fina de materiales ligeros de 10 mm (Revista Metalífera, 1989).

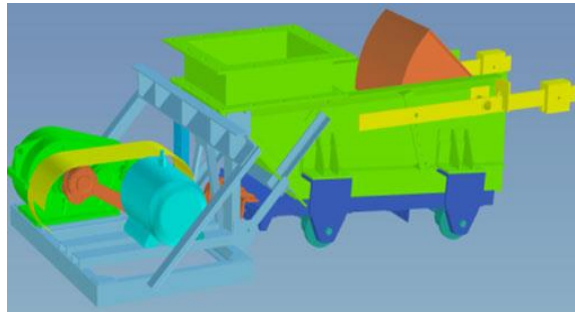


Figura 1.6 Esquema de criba reciprocante. Fuente: Roher.

#### 4) Cribas giratorias

Este tipo de criba, la cual imparte un movimiento giratorio a través de toda tela de la criba, se usa para cribado fino de hasta  $40\ \mu\text{m}$  en húmedo o en seco. Consiste en un juego de cribas que se apoyan sobre una mesa montada en resortes sobre una base, por debajo de la mesa, está un rotor suspendido con dobles extensiones de flecha, que impulsan los pesos excéntricos, y al hacerlo efectúa el movimiento giratorio horizontal (figura 1.7). El movimiento vertical se imparte por los pesos del fondo, los que hacen girar la masa móvil alrededor de su centro de gravedad produciendo sobre la criba un movimiento inclinado circular. Las charolas con bolas se ajustan debajo del conjunto de cribas para reducir el cargamento u obstrucción.

Las telas de alambre tejido construidas de acero inoxidable, cobre y bronce, son las superficies de cribado que más se usan en los circuitos de trituración. En el mercado se consiguen varios tipos de aberturas y tejido, pero la malla cuadrada generalmente se usa en el cribado grueso y la rectangular para el cribado fino.

En la actualidad se usan varias superficies de criba no metálicas que aumentan grandemente la vida de la criba debido al menor desgaste. El hule de poliuretano ofrece resistencia a la abrasión y al impacto, mientras que reduce efectivamente el ruido y es más ligero en peso que el tejido de alambre (Revista Metalífera, 1989).



Figura 1.7 Criba giratoria. Fuente: Roher.

## 1.2 Estado del arte de la clasificación granulométrica

Van Zyl, et al, 1988. El principal objetivo de la preparación y beneficio del mineral para la lixiviación, es reducir el mineral y que tenga una mayor área de contacto con la solución, que permita una adecuada velocidad de lixiviación.

Traslaviña, J. 2004. Mediante la caracterización fisicoquímica del mineral aurífero, fue posible la estimación de ciertas condiciones de los procesos metalúrgicos involucrados en una posible planta de tratamiento, es así que el porcentaje de sólidos más adecuado para el manejo de los sólidos en pulpa fue del 40% en peso, la alta cantidad de minerales arcillosos podrían dificultar los procesos de separación sólido-líquido, entre otras especificaciones operativas.

Carrasco, O. 2016. El beneficio de menas auríferas y de metales preciosos en general asigna requerimientos específicos a la práctica de la concentración: las causas son las propiedades físicas, geoquímicas o mineralógicas del oro. Algunas de estas propiedades tienen que ver con la granulometría de ocurrencia y forma de las partículas de oro, grado de liberación y tipos de asociación con otras especies minerales. Los minerales básicos que componen la mena definen el esquema de procesamiento. La caracterización mineralógica, química y metalúrgica es una etapa previa al estudio de concentración, cuyo desarrollo es esencial para obtener la mayor recuperación de oro.

Mamani, C. 2016. Para realizar el análisis químico en los procesos metalúrgicos de extracción de oro se requiere una previa preparación mecánica de la muestra de mineral la cual es fundamental. Para esta operación es necesario seleccionar

equipos adecuados que trabajen de forma eficiente, que garanticen las condiciones óptimas de operación y consumo de energía.

Edgar, Z. 1994. Con la aplicación de la tecnología del carbón activado en procesos de tratamiento de oro, se podrían beneficiar muchos yacimientos explorados, ya que se ha implementado en el mundo minero moderno, fundamentalmente por los menores costos de inversión en equipos, menores costos de operación, mayores recuperaciones, mayor productividad y por la gran versatilidad de tratamiento de minerales, ya sean de baja ley o alta ley.

Cori, W, 2017. La criba como máquina seleccionadora de oro, está compuesta por cuatro sistemas: el primer sistema es el de Alimentación, que almacena el material temporalmente para su posterior selección. El segundo se denomina el sistema de Clasificación, que selecciona por tamaños el material ingresante a la criba y consiste en una zaranda de dos niveles. El tercer sistema es de Transmisión Mecánica, que es la encargada de dar marcha a la máquina cuyos componentes brindan movimientos a la zaranda. Por último el sistema Eléctrico que suministra y controla la energía eléctrica necesaria para la selección de oro.

Boletín minero de Chile, 2016. El espesamiento es la primera operación de separación sólido-líquido con posterioridad a la etapa de concentración (flotación, separación gravitacional, separación magnética), y se realiza tanto para tratar el concentrado como el relave que salen de las plantas en forma de pulpas con un 25 a 30 % de sólidos. Con el espesamiento se obtiene, por una parte, una pulpa con mayor concentración de sólidos (sobre 50 %), y por la otra, un flujo de agua clara.

Revista UCICM, 2013. Como resultado de la separación sólido - líquido se obtendrá un líquido prácticamente exento de partículas y un producto con sólidos en una concentración superior a la de la pulpa de alimentación. La separación total no es posible de obtener porque, si bien el líquido puede no tener partículas sólidas en suspensión, la corriente con sólidos retendrá líquido entre sus partículas (humedad).

Héctor, P. 2016. La optimización del sedimentador se da con la separación sólido-líquido, que consistirá en la realización de pruebas de espesamiento a escala laboratorio empleando distintos tipos y distinta dosificación de floculante por tonelada, a su vez con pulpas diluidas en muestra representativas de relaves.

### 1.3 Antecedentes de la empresa

La UEB Producciones Mineras de Placetas se dedica a la explotación y procesamiento de minerales auríferos en la región centro de Cuba, se encuentra en el municipio de Placetas, provincia de Villa-Clara. En la figura 1.13 se ilustra el mapa de ubicación de la UEB Producciones Mineras de Placetas.

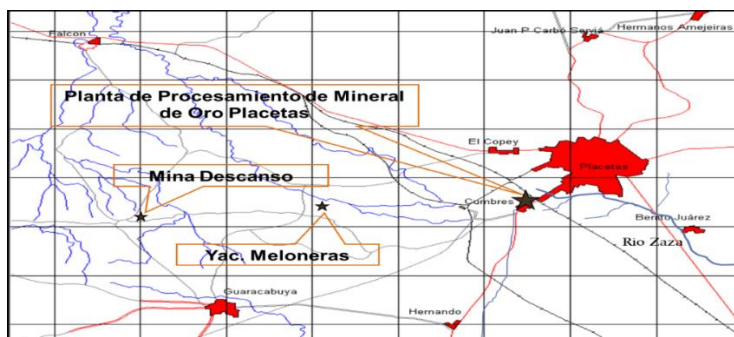


Figura 1.13 Ubicación de la UEB Producciones Mineras de Placetas. Fuente: Manual de la Empresa.

La región presenta pequeños yacimientos de oro que empezó con la mina subterránea Oro Descanso desde el establecimiento de los norteamericanos en la Cuba. En esa época, la separación del oro se hacía por amalgamación, llegándose a exportar cantidades considerables de oro para los EE.UU.

En el año 2011 entra en marcha la UEB Producciones Mineras de Placetas, una planta metalúrgica piloto, con una tecnología moderna que es la del carbón activado (CIL), llegando a procesar en esa época hasta 50 kg Au/año. En la actualidad se procesan alrededor de 30 kg Au/año.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo describe los materiales y métodos de cálculo, bien como los equipos auxiliares en los procesos de cribado de los minerales auríferos mediante una criba vibratoria. Pero antes, se hace una breve introspección del actual principio de funcionamiento de la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas. La figura 2.1 ilustra la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas.



Figura 2.1 Planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas. Fuente: Manual de la empresa.

### 2.1 Descripción del flujo tecnológico de la UEB Producciones Mineras de Placetas

En la actualidad la UEB Producciones Mineras de Placetas presenta un flujo tecnológico como se ilustra en la figura 2.1.

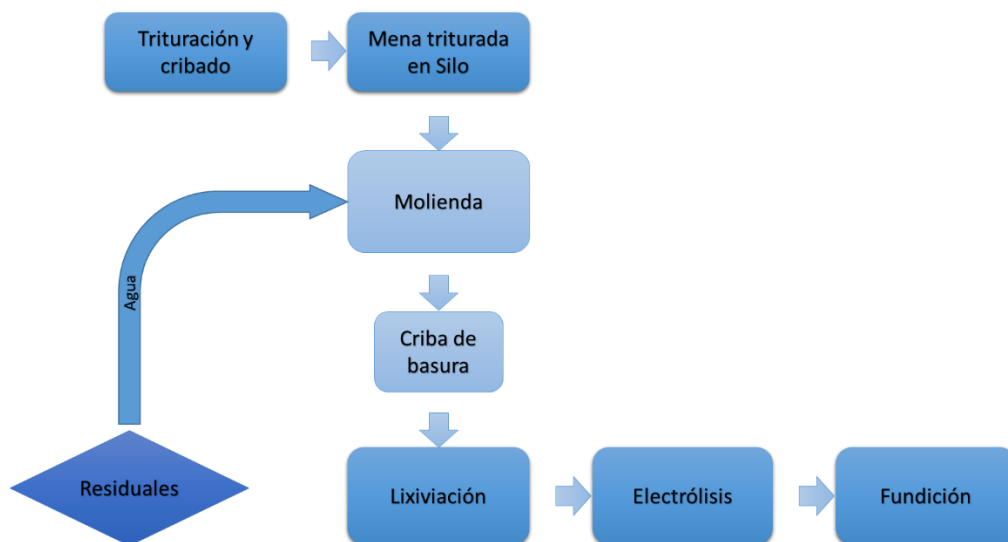


Figura 2.2 Esquema tecnológico de la UEB Producciones Mineras de Placetas. Fuente: Elaboración propia.



La sección de trituración, de modo general, se encarga de la reducción de tamaño de la mena de entre -250 mm a -4 mm mediante dos etapas de trituración, utilizando un triturador de mandíbula en la primera, y en la segunda un triturador de impacto.

En la sección de molienda se utiliza un molino de bolas que muele 80 ton/día de mineral, con el objetivo de producir una pulpa con una granulometría deseada por proyecto de  $d_{60-90} = 0.074$  mm (60 al 90 % de la masa) y un % de sólidos de 38 a 44 %. La pulpa con las condiciones anteriores descritas y un pH de 10,5, alcanzado mediante la adición de agua recuperada con valores de pH de 8.5 procedente de la presa de colas y lechada de cal será enviada como materia prima a la lixiviación.

La sección de lixiviación-adsorción está compuesta de cuatro reactores, donde en el primero se alimenta la pulpa procedente de la molienda, en el mismo se adiciona la solución de cianuro de sodio (NaCN) concentrada y se suministra aire proveniente de un soplante para aportar oxígeno, reactivo necesario para la reacción redox donde se forma el complejo de aurocianuro. Los reactores operaran con un inventario de carbón activado (CA) que garanticen una eficiencia alta de adsorción. En cada reactor la pulpa entra en contacto con la solución de NaCN, el oro lixiviado es adsorbido por el CA. La pulpa fluye desde el primer reactor hacia el cuarto, reteniéndose el CA en cada reactor por la criba entretanque. En el cuarto reactor se adiciona el carbón fresco o recuperado y la pulpa agotada, separada del CA por la criba entretanque se envía a la sección de tratamiento de residuales.

En la sección de elución-electrólisis, el procedimiento consiste en eluir o extraer el complejo de oro y plata adsorbido en el carbón cargado, con empleo de una solución cáustica de cianuro de sodio compuesta NaCN a 5 – 6 g/L e hidróxido de sodio al 10 – 15 g/L trabajando a una temperatura de 95-105°C y a presión de 1 bar. El tiempo de elución es 16-20 horas recirculando la solución cáustica hasta que la concentración de oro se encuentre entre 3-5 ppm, momento en el cual se detiene la recirculación y se drenan las soluciones agotadas.

El eluato que sale del proceso de elución por la columna es enviado al área de electrolisis pasando por los intercambiadores de calor que garantizan una temperatura entre 70-90 °C al tanque de licor rico y por medio de la bomba se

envía a la celda electrolítica, donde ocurre la deposición del oro en los cátodos de la celda por regulaciones del potencial eléctrico a través del rectificador de corriente.

Los lodos electrolíticos provenientes de los cátodos han de ser sometidos a fundición para la obtención del DORÉ que se comercializará como producto final.

## **2.2 Consideraciones técnicas de dimensionamiento de la criba vibratoria**

Para el dimensionamiento de la criba vibratoria se tienen en cuenta los sistemas y subsistemas que se muestran a continuación.

### **2.2.1 Sistema de alimentación**

El sistema de alimentación (figura 2.2) almacena el mineral momentáneamente para su posterior selección y está conformado por:

- **Tolva**

La tolva alimenta a la criba con el mineral y está compuesta de planchas, cuyo espesor está calculado según la carga que tiene que soportar.

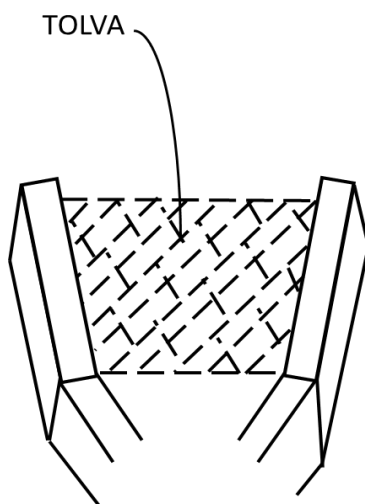


Figura 2.3 Sistema de Alimentación. Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.2 Sistema clasificación**

La función del sistema de clasificación es la de seleccionar por tamaños el material que ingresa a la criba y está conformado por:

- **Criba**

Selecciona por tamaños el material, mediante planchas ubicadas una encima de la otra, perforadas de distintos diámetros que han sido calculados en función al material a cribar (figura 2.4).

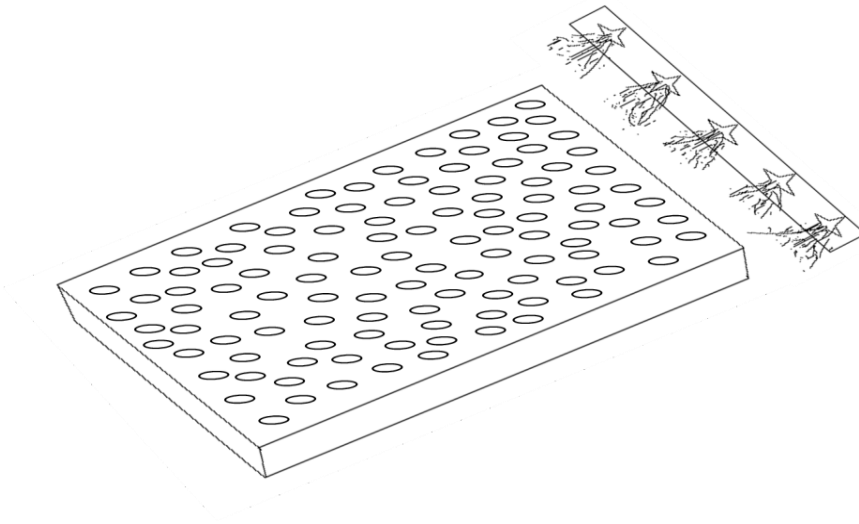


Figura 2.4 Sistema de clasificación. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3 Sistema de transmisión mecánica

Es el encargado de dar movimiento a la máquina, con distintos componentes que brindan movimiento a la zaranda (figura 2.4) y está compuesta por:

- **Eje**, su función es de dar movimiento a la zaranda mediante sacudidas por el peso de las poleas excéntricas.
- **Polea**, son dos poleas que tienen masas excéntricas y producen el movimiento de vaivén en las zarandas.
- **Bandas**, encargadas de transmitir la fuerza del motor eléctrico a la zaranda.

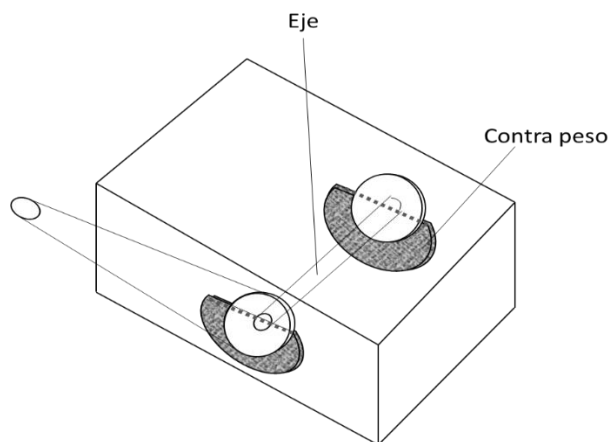


Figura 2.5 Sistema de transmisión mecánica. Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.4 Sistema eléctrico

La función es de suministrar y controlar la energía eléctrica que necesita la criba para su funcionamiento y está compuesta por:

- **Motor**, es el que proporciona el movimiento a través de las bandas (figura 2.6);
- **Tablero y Protección Eléctrica**, se utiliza en los sistemas eléctricos de potencia para evitar la destrucción de equipos.

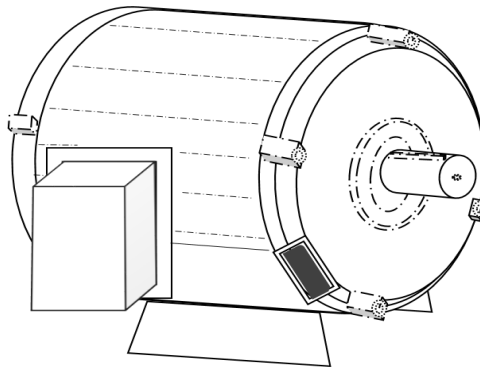


Figura 2.6 Motor. Fuente: Elaboración propia.

#### 2.5 Dimensionamiento del sistema de alimentación

La tolva es un depósito en forma de un paralelepípedo unido a una pirámide truncada que se encuentra abierta por el lado superior, en cuyo interior se vierte el mineral para que caiga poco a poco al sistema de cribado.

##### 2.5.1 Cálculo de la capacidad de la tolva

Se proyecta cargar la tolva varias veces en una hora, (cada 12 min) de acuerdo a esta premisa la capacidad de la tolva será:

**a. Capacidad en peso de la tolva (w):**

$$w = \frac{Q}{\text{cantidad de veces de carga en una hora}} \quad (1)$$

La capacidad de carga (Q) de la criba en una hora sería de:

$$Q = \frac{60 \cdot \text{capacidad del camión}}{\text{tiempo de viaje}} \quad (1.1)$$

### b. Capacidad en volumen de la tolva (V):

La capacidad de volumen está en función de las características técnicas de las volquetas de los camiones que transportan el material.

$$V_{\text{volqueta}} = a \cdot b \cdot c \quad (2)$$

La capacidad de volumen de la criba en una hora será:

$$V = V_{\text{volqueta}} \cdot n_v \quad (2.1)$$

donde:

$n_v$  es la cantidad de volquetas descargadas en una hora.

### 2.6 Cálculo de la superficie de la tolva

Para determinar la superficie de la tolva se realizara en función de su capacidad volumétrica ( $V_{\text{volqueta}}$ ), de la siguiente manera. En la figura 2.7 se ilustra el esquema de diseño de una tolva.

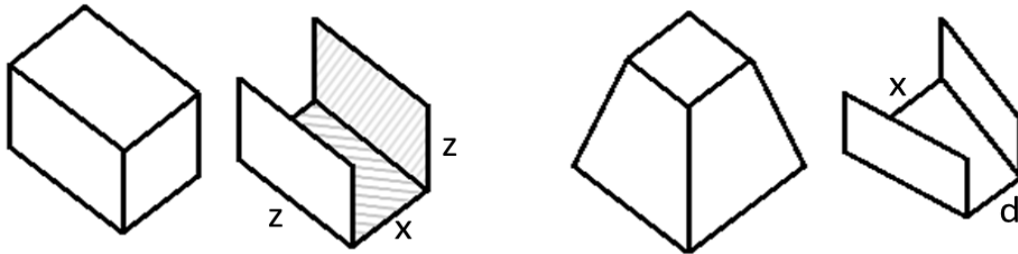


Figura 2.7 Esquema de diseño de la tolva. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto el esquema de la tolva es la unión de un paralelepípedo y de una pirámide truncada por la parte superior, entonces se procede a realizar el análisis respectivo:

El volumen de un paralelepípedo abierto, según la figura 2.7 es:

$$V_p = X \cdot Y \cdot Z \quad (a1)$$

El área del paralelepípedo abierto, según la figura 2.7 es:

$$A_p = 2 \cdot Y \cdot Z + X \cdot Y \quad (a2)$$

Despejando Y de la ecuación a1, se obtiene:

$$Y = \frac{V_p}{X \cdot Z} \quad (a3)$$

Reemplazando en la ecuación (a2):

$$A_p = 2 \cdot \left( \frac{V_p}{X \cdot Z} \right) \cdot Z + X \cdot \left( \frac{V_p}{X \cdot Z} \right) \quad (a4)$$

Simplificando:

$$A_{tolva} = \frac{2 \cdot Z \cdot V_p + X \cdot V_p}{X \cdot Z} \quad (3)$$

## 2.7 Cálculo del espesor de la plancha de la tolva

Para calcular el espesor de la plancha de la tolva se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

### a) Análisis estático

Para calcular la fuerza resultante máxima que soporta la tolva, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Fr = \gamma \cdot \left(\frac{d}{2}\right) \cdot A \quad (b1)$$

donde:

$\gamma$  Peso específico del material,  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ ;

$d$  Distancia donde se ejerce la mayor fuerza en la tolva, m;

$A$  Área de la plancha,  $\text{m}^2$ .

Para calcular la distancia donde se ejerce la mayor fuerza se analiza la gráfica ilustrada en la figura 2.8.

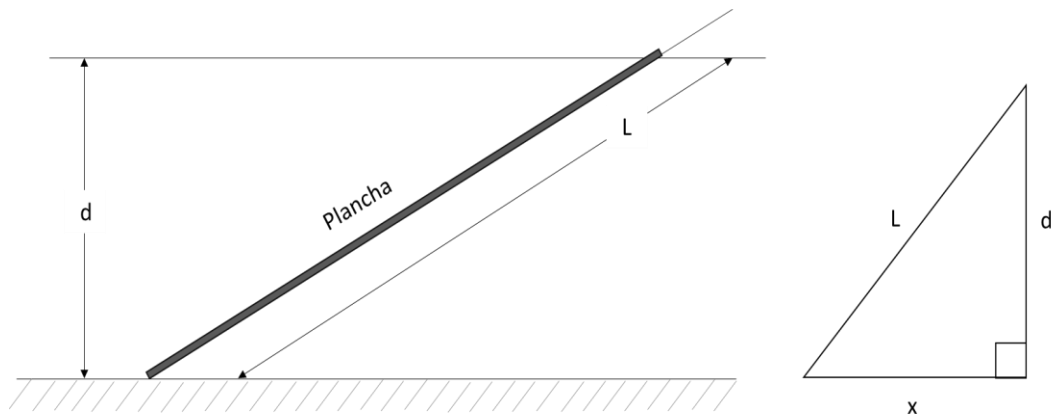


Figura 2.8 Análisis de la Fuerza sobre la Tolva. Fuente: Elaboración propia.  
y se emplea la relación trigonométrica siguiente:

$$\text{sen} \theta = \frac{d}{L} \quad (b2)$$

Despejando se obtiene  $d$ .

Calculando el área (de la base de la tolva)

$$A = X \cdot Y \quad (b3)$$

### b) Espesor de la plancha de la tolva

Para determinar el espesor de la plancha de la tolva, se utiliza la ecuación siguiente:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma} \quad (b4)$$

siendo:

FS Factor de seguridad.

$S_y$  Resistencia de fluencia de la plancha metálica

$\sigma$  Esfuerzo.

Suponiendo que la mayor fuerza cae sobre el área de 1 m<sup>2</sup>, el área para calcular el esfuerzo será:

$$A = b \cdot e \quad (b5)$$

**donde:**

b 1 m

e Espesor.

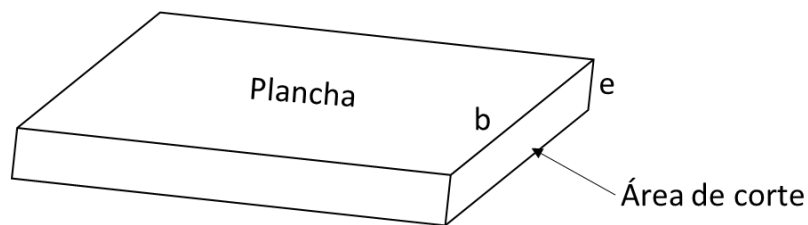


Figura 2.9 Espesor de la plancha de la tolva. Fuente: Elaboración propia.

También el esfuerzo es igual:

$$\sigma = \frac{Fr}{A} \quad (b6)$$

**donde:**

Fr Fuerza resultante.

A Área de corte.

Los esfuerzos permisibles a la tensión están dadas por:

$$0,45 (S_y) \leq \delta_{perm} \leq 0,60 (S_y)$$

El espesor de la plancha está dado por la expresión:

$$e = \frac{FS \cdot Fr}{S_y \cdot b \cdot 0,55} \quad (4)$$

## 2.8 Dimensionamiento del sistema de clasificación

Para el dimensionamiento del sistema de clasificación, se empieza relativamente por determinar la superficie de cribado.

### 2.8.1 Cálculo de la superficie de cribado

Se denomina superficie de cribado al área de las mallas o tamices de la zaranda, la magnitud de esta superficie depende esencialmente de:

- La capacidad de producción.
- La eficiencia del cribado.
- La luz de las mallas o la abertura de los tamices.

Existen varios métodos para calcular la superficie de cribado, los más populares son:

1) Método de Alimentación, basado en la masa sólida por unidad de tiempo que pueda alimentarse a una superficie específica de malla de una determinada luz de paso;

2) Método Pasante, basado en la masa sólida que pasa por una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

Utilizando unidades en SI, la superficie específica en cuestión es de  $1 \text{ m}^2$  y la luz de paso de la malla  $L_m$  se expresa en mm. La masa sólida se expresa en  $\text{ton/h.m}^2$  Y se conoce como capacidad básica o específica, bien de paso o de alimentación, a una malla de luz determinada.

Algunas definiciones útiles para el cálculo, son:

Rechazo, es el porcentaje de partículas superiores al tamaño de clasificación, que forman la fracción gruesa.

Semitamaño, es el porcentaje de partículas inferiores a la mitad del tamaño de clasificación.

Pasante, es la masa que pasa por la malla, que constituye la fracción fina.

Eficiencia, es el rendimiento de clasificación alcanzado, es decir, la masa de partículas que realmente atravesó la malla (que se clasificó), frente a la que teóricamente debería haber pasado. La masa de partículas finas que no atraviesan la malla, lógicamente se va con la fracción gruesa o rechazo.

La superficie de cribado se determina mediante la ecuación:

$$S = \frac{T}{B \cdot ft} \quad (5)$$

**dónde:**

S Superficie necesaria de cribado,  $\text{m}^2$

T Flujo másico de alimentación a seleccionar (capacidad de producción),  $\text{t/h}$ ;

B Capacidad específica o básica,  $\text{t/m}^2\cdot\text{h}$ ;



Factor de corrección total de la capacidad básica (ft)

La tabla 2.1 muestra los valores de la capacidad básica que han sido calculados separadamente para productos naturales o de forma redondeada, y para productos triturados.

Tabla 2.1 Capacidad Básica B (t/m<sup>2</sup>h.)

Granulometría mm	Material		
	carbón	triturado	natural
0,5	2,0	2,7	3,5
0,8	2,6	3,4	4,4
1,0	2,8	3,7	4,9
1,3	3,1	41,0	5,5
2,0	4,0	5,3	7,1
4,0	6,0	8,0	10,5

Fuente: "Calculo de la Superficie de Cribado" Juan Luis Bouso Eral. 11

El factor de corrección total se obtiene de la fórmula:

$$ft = fd \cdot fr \cdot fs \cdot fe \cdot fh \cdot fm \cdot fp \cdot fi \cdot fo \quad (c1)$$

**dónde:**

Factor de densidad (fd)

Los valores de la capacidad básica mostrados en la tabla 2.1 están basados en un producto de peso específico de 1,6 ton/m<sup>3</sup>, por lo que cualquier otro producto de distinta densidad tendrá una capacidad proporcional a la misma, es decir, el valor de la capacidad básica deberá ser corregido con un factor fd.

$$fd = \frac{\gamma}{1,6} \quad (c2)$$

Factor de rechazo (fr)

Los valores de la capacidad básica mostrados en la tabla 2.1, considera un producto de alimentación con un 25 % de rechazo, por lo que cualquier otro porcentaje, significa que debe de corregirse la capacidad básica con un factor fr lógicamente fr=1 para un valor de rechazo de 25 %. En la tabla 2.2 se muestra los valores del factor de rechazo en función del porcentaje de rechazo.

Tabla 2.2 Factor de Rechazo

R, %	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Factor fr	1,10	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92
R, %	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Factor fr	0,90	0,88	0,86	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,55	0,40

Fuente: "Cálculo de la superficie de cribado" Juan Luis Bouso Eral, Equipos y

Procesos S.A

Factor de semitamaño (fs)

Los valores de la capacidad básica mostrado en la tabla 2.1, fueron calculados en base de un producto conteniendo 40 % de partículas más finas que la mitad de la luz de la malla, por eso cualquier desviación debe ser corregida aplicando un factor fs siendo  $fs=1$  para un valor de semitamaño de 40 %. La tabla 2.3 muestra los valores del factor de semitamaño.

Tabla 2.3 Factor de Semitamaño.

semitamaño	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Factor fs	0,50	0,55	0,60	0,65	0,72	0,77	0,85	0,92	1,00	1,10
semitamaño	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Factor fs	1,20	1,30	1,45	1,60	1,75	1,95	2,20	2,55	3,00	3,65

Fuente: "Cálculo de la superficie de cribado" Juan Luis Bouso, Equipos y

Procesos S.A

Factor de eficiencia (fe)

Los valores de la capacidad básica mostrado en la tabla 2.1 han sido calculados en base a una eficiencia o rendimiento de cribado, E, del 94 %, es decir, el 6 % de las partículas finas que debería haber pasado por la luz de malla no pasaron, por lo que cualquier divergencia con esta hipótesis debe ser corregida con un factor de eficiencia, fe, que sería  $fe=1$  para una eficiencia  $E=94$  %. En la tabla 2.4 se muestran los factores de eficiencia.

Tabla 2.4 Factor de eficiencia

E, %	98	96	94	92	90	85	80
Factor fe	0,60	0,85	1,00	1,05	1,12	1,26	1,21
E, %	75	70	65	60	55	50	45
Factor fe	1,56	1,70	1,85	2,00	2,10	2,30	2,32

Fuente: "Cálculo de la superficie de cribado" Juan Luis Bouso, Equipos y

Procesos S.A

#### Factor de humedad (fh)

Los valores de la capacidad básicos mostrados en la tabla 2.1 han sido obtenidos en base a un cribado en seco, o con una humedad inferior al 3 %. A menudo los productos de alimentación no están exentos de humedad y a veces una humedad excesiva por encima del 9 % puede impedir el cribado, provocando el “cegado” de las mallas, siendo necesario realizar el cribado en vía húmeda.

Por otro lado cada producto tiene una humedad critica, pero generalizando podría establecerse el siguiente factor de corrección fh.

Si  $H > 9 \%$

Si  $6 \% < H < 9 \%$                        $fh = 0,75$

Si  $3 \% < H < 6 \%$                        $fh = 0,85$

Si  $H < 3 \%$                                  $fh = 1,00$

#### Factor de apertura de malla (fm)

Los valores de la capacidad básica mostrados en la tabla 2.1 fueron calculados con una malla de alambre de acero de sección de paso cuadrado, por lo que otro tipo de apertura también tendrá una repercusión en la capacidad de cribado, debiéndose aplicar un factor.

Si la malla es de apertura cuadrada  $fm = 1,0$

Si la malla es de apertura redonda  $fm = 0,8$

#### Factor de posición (fp)

Las partículas al caer sobre la criba debido a su componente de avance horizontal describen una parábola, lo que significa que los tamices inferiores no son aprovechados en toda su longitud, por lo que la superficie efectiva de cribado es menor a medida que la malla está colocada en las posiciones inferiores.

Consecuentemente hay que aplicar un factor de corrección en función da la posición de la criba de cribado, fp

Si está en el primer piso,  $fp = 1,0$

Si está en el segundo,  $fp = 0,9$

Si está en el tercero,  $fp = 0,8$

#### Factor de ángulo de inclinación ( $f_i$ )

Generalmente para cribados medios y gruesos se emplean cribas inclinadas, siendo la inclinación normal  $20^\circ$ , aunque en algunas cribas se puede ajustar dicha inclinación, disminuyendo esta para cortes más finos y aumentando para cortes más gruesos. Existen cribas para clasificaciones finas con inclinaciones de  $5^\circ$  y  $15^\circ$ . Los cálculos de la capacidad básica han sido hechos en cribas inclinadas por lo cual el factor a aplicar en ese caso sería  $f_i = 1$ . En otros casos habrá que aplicar un factor según lo indicado a continuación.

Cribas inclinadas ( $20^\circ$ )  $f_i = 1,00$

Cribas inclinadas ( $15^\circ$ )  $f_i = 0,96$

Cribas inclinadas ( $10^\circ$ )  $f_i = 0,94$

Cribas inclinadas ( $5^\circ$ )  $f_i = 0,87$

Cribas horizontales normales  $f_i = 0,83$

#### Factor de área libre de paso ( $f_o$ )

Los valores de la capacidad básica mostrados en la tabla 2.1 han sido calculados para mallas de alambre de acero, con una superficie libre del 50 %. Se establece que la capacidad de cribado es directamente proporcional a la superficie libre. Dando esto por supuesto, al momento de calcular la superficie del cribado necesario, debería tenerse en cuenta la superficie libre considerada en el cálculo real a instalar en base al tipo y material de malla empleada, corrigiendo la superficie proporcionalmente a la diferencia entre las áreas libres, como se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Factor de área libre de paso.

Superficie libre	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Factor $f_o$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6

Fuente: "Cálculo de la Superficie de Cribado" Juan Luis Bouso, Equipos y

Procesos S.A

La tabla 2.5 muestra el porcentaje de superficie libre de paso en función de la apertura de la malla de acero así como la de plástico.

Es recomendado incrementar la superficie de cribado en un 20%, considerando que el reparto de la carga sobre el cedazo no es uniforme, y el tapamiento parcial de la malla. La tabla 2.6 muestra el incremento de la superficie de cribado

Tabla 2.6 Superficie de las Mallas

granulometría		0,5	0,6	1,0	1,3	2,0	3,2	4,0
Superficie libre	acero	35,0	37,0	38,0	38,0	44,0	44,0	45,0
	pu	10,0	12,0	18,0	20,0	20,0	37,0	38,0
granulometría		5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
Superficie libre	acero	49,0	50,0	56,0	57,0	60,0	61,0	61,0
	pu	39,0	41,0	43,0	45,0	46,0	47,0	48,0
granulometría		31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	120,0
Superficie libre	acero	64,0	68,0	71,0	72,0	73,0	75,0	75,0
	pu	47,0	45,0	44,0	41,0	41,0	43,0	43,0

Fuente: “Cálculo de la Superficie de Cribado” Juan Luis Bouso, Equipos y Procesos

Factor de Cribado por vía Húmeda (fa)

Para cribados por vías húmedas (empleo de difusores de agua) hay que introducir un nuevo factor de corrección (tabla 2.7) cuyo valor dependerá de la dimensión de la abertura de la malla (m):

Tabla 2.7 Criba por vía Húmeda

GRANULOMETRIA (mm)	FACTOR DE CRIBADO EN HÚMEDO (fa)
<0,5	1,00
1,0	1,42
1,25	1,70
2,0	2,20
4,0	2,50
5,6	2,35
6,3	2,25
8,0	2,00
10,0	1,42
11,2	1,35
12,5	1,30

Fuente: “Cálculo de la Superficie de Cribado” Juan Luis Bouso, Equipos y Procesos S.A.

El empleo de agua en las cribas incrementa la capacidad de cribado en los tamaños intermedios y menores.

El consumo de agua viene a ser de 1 a 1,5 m<sup>3</sup>/t alimentación.

La tabla 2.8 ofrece el valor del caudal medio que proporciona un difusor en función de la presión de trabajo:

Tabla 2.8 Caudal de los Difusores.

DIÁMETRO DEL DIFUSOR (mm)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)					
	50 kPa	100 kPa	150 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
4	0,42	0,72	1,02	1,20	1,50	1,74
5	0,48	0,84	1,14	1,26	1,46	2,34
7	1,08	1,38	1,74	1,98	1,56	3,00
9	1,50	2,46	2,88	3,00	3,12	3,24

Fuente: "Cálculo de la Superficie de Cribado" Juan Luis Bouso, Equipos y Procesos

### 2.8.2 Cálculo de flujo másico

El flujo másico que atraviesa la criba para cada nivel está dado por la ecuación:

$$T = (1 - R) \cdot \omega \quad (c3)$$

**donde:**

$\omega$  Flujo másico que atraviesa la crba, (t/h)

R Porcentaje de rechazo

Para el primer tamiz el cálculo de flujo másico es:

$$T1 = (1 - R1) \cdot \omega \quad (c4)$$

**donde:**

$\omega$  Flujo másico total que ingresa al sistema de cribado, t/h (dato obtenido en la sección 3.1.1)

R1 Porcentaje de rechazo de la criba,

La superficie de cribado, para el primer nivel se determina con la ecuación:

$$S_{\text{Primer Paño}} = \frac{T1}{B1 \cdot ft1} \quad (c5)$$

**donde:**

ft Factor de corrección total de la capacidad básica;

B Capacidad específica o básica, t/m<sup>2</sup>h;

T Flujo másico de alimentación a seleccionar (capacidad de producción), t/h.

Para el segundo tamiz el cálculo de flujo másico es:

$$T2 = (1 - R2) \cdot T1 \quad (c6)$$

**donde:**

T1 Flujo másico que ingresa al tamiz 2, es el cernido del primer tamiz, t/h;

R2 Porcentaje de rechazo de la criba.

La superficie de cribado, para el segundo nivel se determina en la ecuación:

$$S_{\text{Segundo Paño}} = \frac{T2}{B2 \cdot ft2} \quad (c7)$$

**donde:**

ft2 Factor de corrección total de la capacidad básica;

B2 Capacidad específica o básica, t/m<sup>2</sup>h;

T2 Flujo másico de alimentación a seleccionar (capacidad de producción), t/h.

Para el tercer tamiz el cálculo de flujo másico es:

$$T3 = (1 - R3) \cdot T2 \quad (c8)$$

**donde:**

T2 Flujo másico que ingresa al tamiz 2, es el cernido del primer tamiz, t/h;

R3 Porcentaje de rechazo de la criba.

La superficie de cribado, para el tercer nivel se determina en la ecuación:

$$S_{\text{tercer Paño}} = \frac{T3}{B3 \cdot ft3} \quad (c9)$$

**donde:**

ft3 Factor de corrección total de la capacidad básica;

B3 Capacidad específica o básica, t/m<sup>2</sup>h;

T3 Flujo másico de alimentación a seleccionar (capacidad de producción), t/h.

### 2.8.3 Cálculo de la longitud de la criba

La longitud de la criba se calcula con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{s}{L} \quad (6)$$

siendo:

Z Largo de la criba, m;

s Superficie de la criba, m<sup>2</sup>;

L Ancho de entrada de la criba, m.

Análogo al procedimiento anterior se hace los cálculos para los demás niveles de la zaranda.

#### 2.8.4 Forma e inclinación de la criba

La forma de la criba es de planchas planas que se encuentran una encima de la otra o en paralelo y tienen un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal (figura 2.10), que ya ha sido calculado anteriormente en el punto 2.8.1. En la tabla 2.10 se ilustra el esquema de inclinación de la criba.

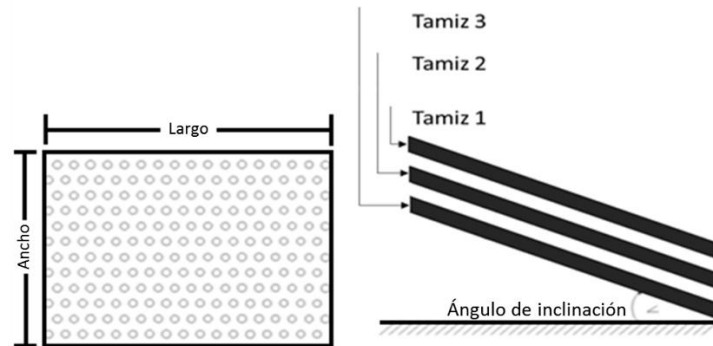


Figura 2.10 Esquema de inclinación de la criba. Fuente: Elaboración propia.

#### 2.8.5 Cálculo del peso de la criba

Para facilitar los cálculos, se asume que el peso total aproximado de la estructura de la criba es la suma de:

- Peso de las planchas (tamiz y tapas laterales);
- Peso del eje y las poleas (masas excéntricas);
- Peso del material a cribar.

### 2.9 Dimensionamiento del sistema mecánico

El sistema mecánico de la criba depende directamente de su sistema de transmisión mecánica.

#### 2.9.1 Diseño del sistema de transmisión mecánica

Para el diseño del sistema de transmisión mecánica se empieza por determinar la velocidad de avance.

##### 2.9.1.1 Cálculo de la velocidad de avance

La rapidez de desplazamiento del material a cribar con respecto a la superficie de la zaranda se denomina velocidad de avance del material (véase la figura 2.11).



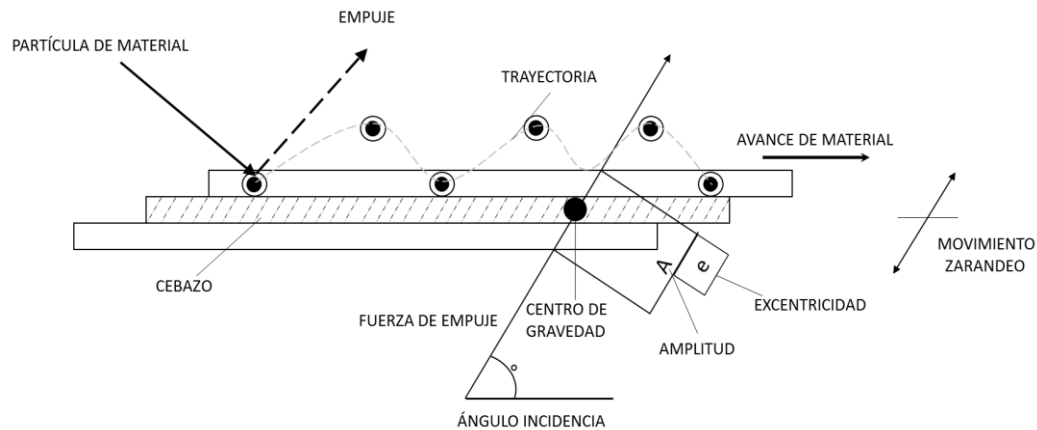


Figura 2.11 Velocidad de avance del material. Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de avance del material depende principalmente de:

- El ángulo de incidencia, es el ángulo de la línea de fuerza de vibración respecto a la horizontal. Es así que la velocidad máxima de avance se presenta para un ángulo de incidencia igual a cero y la velocidad mínima para el ángulo de  $90^\circ$ , véase la figura 2.11;
- La excentricidad, que origina el movimiento alternativo, a mayor excentricidad mayor es la amplitud del movimiento del zarandeo, y la longitud horizontal de la trayectoria será por tanto mayor, así como la velocidad de avance;
- La frecuencia de oscilación, que está relacionada con la velocidad angular del eje excéntrico instalado en la zaranda. A mayor velocidad angular del motor, mayor será la velocidad de avance del material.

El ángulo de incidencia de la línea de acción de fuerzas, está subordinado al tipo de proceso de elaboración y debe estar comprendido dentro de la gama prevista en la tabla 2.9. Para el diseño de la zaranda se adoptará el valor de  $i=30$ .

Tabla 2.9 Ángulos de Incidencia Recomendados

ÁNGULO DE INCIDENCIA $i$	PROCESOS Y/O UTILIZACIONES
De $6$ a $12^\circ$	Separadores y molienda
De $25$ a $30^\circ$	Transporte, extracción, alimentación y clasificación
De $25$ a $45^\circ$	Cribado, calibración y separación
De $30$ a $80^\circ$	Para lechos fluidos

Fuente: [www.Italvibras.electric/vibrators](http://www.Italvibras.electric/vibrators). 41

La velocidad de avance del material se puede determinar matemáticamente recurriendo al concepto del caudal, que se define como el producto de la velocidad por el área perpendicular al flujo. Véase la figura 2.12.

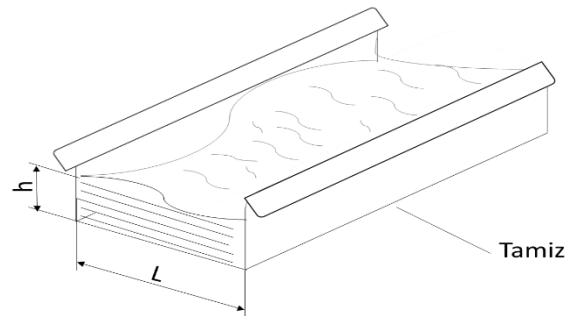


Figura 2.12 Velocidad de avance. Fuente: Elaboración propia.

Siendo el flujo másico igual al producto de su peso específico por el caudal, además el área de flujo, según la figura 2.12, viene a ser igual al producto  $L \times h$ . Por tanto el flujo másico en función de la velocidad de avance del producto, en cada tamiz estará dada por:

$$\text{Nivel 1:} \quad w_1 = \gamma \cdot V_{p1} \cdot L \cdot h_1 \quad (d1)$$

$$\text{Nivel 2:} \quad w_2 = \gamma \cdot V_{p2} \cdot L \cdot h_2 \quad (d2)$$

$$\text{Nivel 3:} \quad w_3 = \gamma \cdot V_{p3} \cdot L \cdot h_3 \quad (d3)$$

Suponiendo que la velocidad de avance es igual para todos los niveles:

$$V_{p1} \approx V_{p2} \approx V_{p3} \quad (d4)$$

Y sumando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$w = \gamma \cdot V_p \cdot L \cdot (h_1 + h_2 + h_3) \quad (d5)$$

Despejando la velocidad de avance:

$$V_p = \frac{w}{\gamma \cdot L \cdot (h_1 + h_2 + h_3)} \quad (7)$$

**donde:**

$V_p$  Velocidad de avance de la criba, m/s;

$w$  Capacidad de producción, t/h;

$L$  Ancho de los tamices, m;

$h_1$  Altura del material en el nivel 1, m;

$h_2$  Altura del material en el nivel 2, m;

$h_3$  Altura del material en el nivel 3, m.

La velocidad teórica de avance está expresada del siguiente modo:

$$V_{teorica} = \frac{V_p}{k_r} \quad (8)$$

**donde:**

Vp Velocidad real de avance, (m/s);

kr Factor correctivo.

De la guía de selección, se toma  $kr = 0,3$  (Ver anexos A-3)

## 2.9.2 Diseño del mecanismo de vibración

La elección del tipo de vibración depende del peso específico y de la granulometría (tamaño) del material empleado en el proceso, como se muestra en la siguiente tabla 2.10.

Tabla 2.10 Valores recomendados para el modo de vibración

Tipo de proceso	Peso específico	Tamaño	Método de vibración		Vibraciones							Acelerac en la línea de fuerza a
			Rotac.	Unidirec	600 (50 Hz)	750 (50 Hz)	1000 (50 Hz)	1900 (50 Hz)	3000 (50 Hz)	6000 (50 Hz)	9000 (50 Hz)	
					720 (60 Hz)	900 (60 Hz)	1200 (60 Hz)	1800 (60 Hz)	3600 (60 Hz)	-	-	
Transporte	A	F		•				•	•			4÷9
Separación				•			•	•				4÷6
Cribado				•		•	•					3,5÷4,5
Orientación				•								5÷7
Clasificación	B	F		•				•				4÷5,5
Calibración				•								3,5÷5,5
Extracción				•								2÷3
Alimentación				•		•	•					Nota (1)
Limpieza filtros	A/B	F	•					•	•			
Alojamiento y vaciado del material en silos, tolvas, etc.	A/B	F	•						•			
	A/B	M	•						•			
	A/B	G	•					•	•			2÷4
Lechos fluidos				•		•	•					2÷4
Separadores (ej. En la molienda)				•	•	•						2÷4
Fondos vibrantes		F	•						•			0,7÷2
		M	•					•	•			
		G	•					•				
		F	•					•				
		M	•					•				
		G	•					•				
Compactación		F	•	•				•	•	•		2÷6
		M	•	•				•	•	•		
		G	•	•				•	•	•		
Compactación hormigón	-	-	•	•					•	•	•	1÷2
Bancos para test (envejecimiento acelerado)	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0,5÷24

LEYENDA: Peso específico A=elevado B=reducido  
Tamaño F=fino G=grueso M=mediano

Nota (1): Fuerza centrífuga del motorvibrador = 0,1÷0,25 para pesar el material contenido en la parte cónica del aparato vibrador.

Fuente: Italtvibras “Guía para la Selección del Motorvibrador”

([http://www.italvibras.it/user/upload\\_inc\\_scelta\\_motovibradore/ITV\\_scelta\\_IT.pdf](http://www.italvibras.it/user/upload_inc_scelta_motovibradore/ITV_scelta_IT.pdf))

Según la tabla 2.10, para procesos de lechos fluidos se selecciona el tipo de vibración unidireccional, con una frecuencia de vibración de 50 Hz y un rango de 750 rpm.

### 2.9.2.1 Cálculo de la excentricidad de las masas

En la figura 2.11, se observa que la trayectoria de la partícula presenta una onda periódica, y se sabe teóricamente que la velocidad de avance de una onda está expresada por:

$$V = \lambda \cdot f \quad (e1)$$

**donde:**

$\lambda$  Longitud de onda, m;

$f$  Frecuencia, Hz;

$V$  Velocidad teórica de avance, m/s.

De acuerdo con la Figura 2.11, se deduce que: si la excentricidad ( $e$ ) se incrementa, la trayectoria tendrá picos más altos, es decir que la longitud de onda es directamente proporcional a la magnitud de excentricidad, matemáticamente se expresa:

$$\lambda = K \cdot e \quad (e2)$$

Reemplazando la ecuación e1 en e2:

$$V = K \cdot e \cdot f \quad (e3)$$

Es decir, la velocidad de avance depende de la excentricidad.

Para determinar la excentricidad ( $e$ ) de una masa en un eje se utilizan los diagramas del catálogo del fabricante de motovibradores-Italvibras con los datos siguientes:

$V_t$  Velocidad teórica de avance;

$i$  Ángulo de incidencia;

$n$  Velocidad angular.

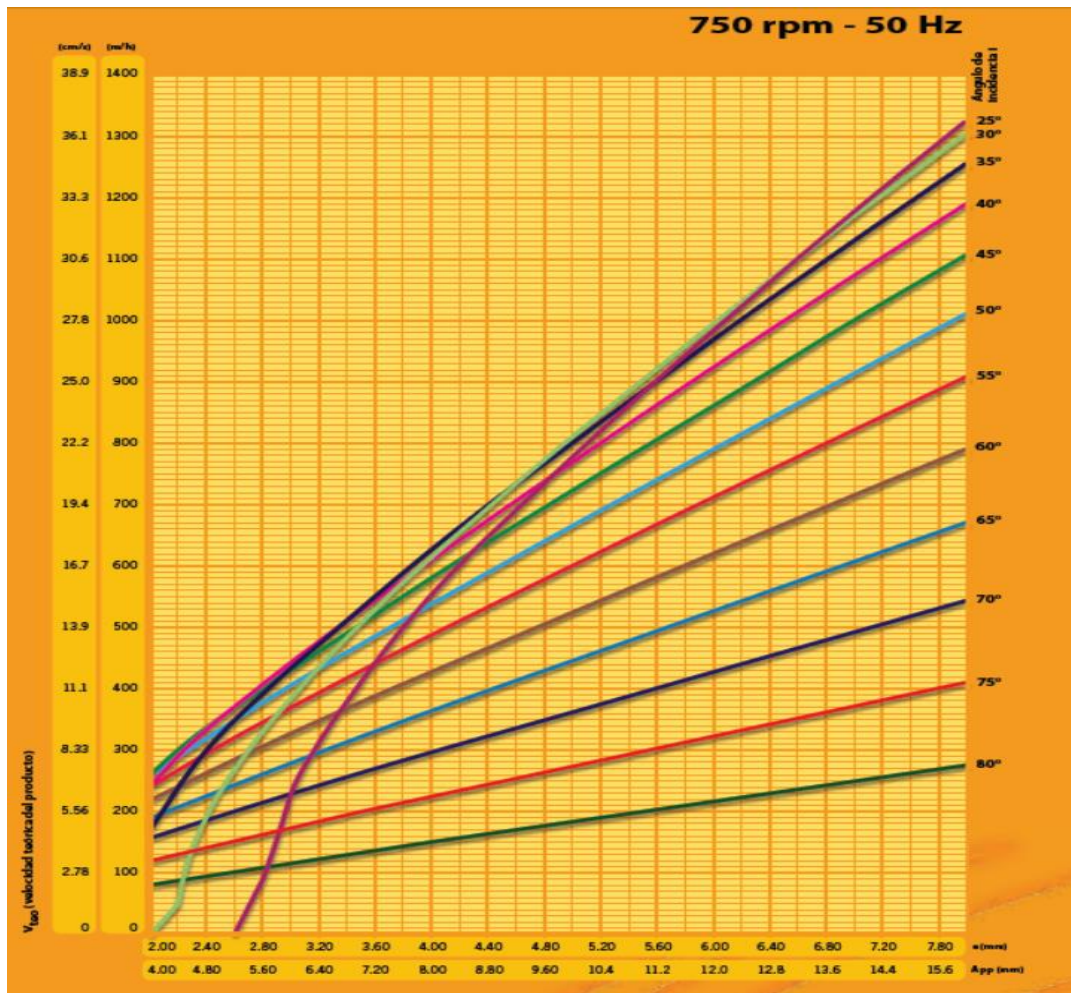


Figura 2.13 Gráfica de selección de vibración 750 rpm – 50 Hz. Fuente: Italvibras, Guía para la Selección del Motovibrador.

### 2.9.2.2 Cálculo de la fuerza centrífuga o de vibración

El momento estático en cada polea se calcula acorde a la expresión siguiente:

$$M_t = \left( \frac{P_v}{2} \right) \cdot e \quad (f1)$$

donde:

$P_v$  Peso de la zaranda incluyendo el eje y poleas, kg;

$e$  excentricidad.

La fuerza de vibración centrífuga se calcula con la expresión:

$$F_c = 1,12 \cdot e \cdot \left( \frac{n}{1000} \right)^2 \cdot \left( \frac{P_v}{2} \right) \quad (9)$$

donde:

$e$  Excentricidad, mm;

$n$  Velocidad de rotación, rpm.

Pv Carga total, kg.

### 2.9.2.3 Cálculo de las masas excéntricas

Para realizar el cálculo previamente se analiza:

La fuerza centrífuga se define como:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (g1)$$

El peso es igual a:

$$W = m \cdot g \quad (g2)$$

Es decir que las masas son:

$$m = \frac{W}{g} \quad (g3)$$

Para N elementos:

$$m = N \cdot \frac{W}{g} \quad (g4)$$

Remplazando, se concluye que la fuerza centrífuga generada en las masas excéntricas está dada por:

$$F_c = \left( \frac{N \cdot W}{g} \right) \cdot \omega^2 \cdot r \quad (g5)$$

despejando

$$W = \frac{F_c \cdot g}{N \cdot \omega^2 \cdot r} \quad (10)$$

**donde:**

W Peso de una masa excéntrica, kg;

g Aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>;

F<sub>c</sub> Fuerza centrífuga, kg;

ω Velocidad angular del motor, rad/s;

r Centro geométrico de la masa, m;

N Número de masa, adimensional.

El punto de ubicación del centro geométrico o de gravedad del par de masas excéntricas puede ser modificado según las posiciones de las masas. Véase la figura 2.14.

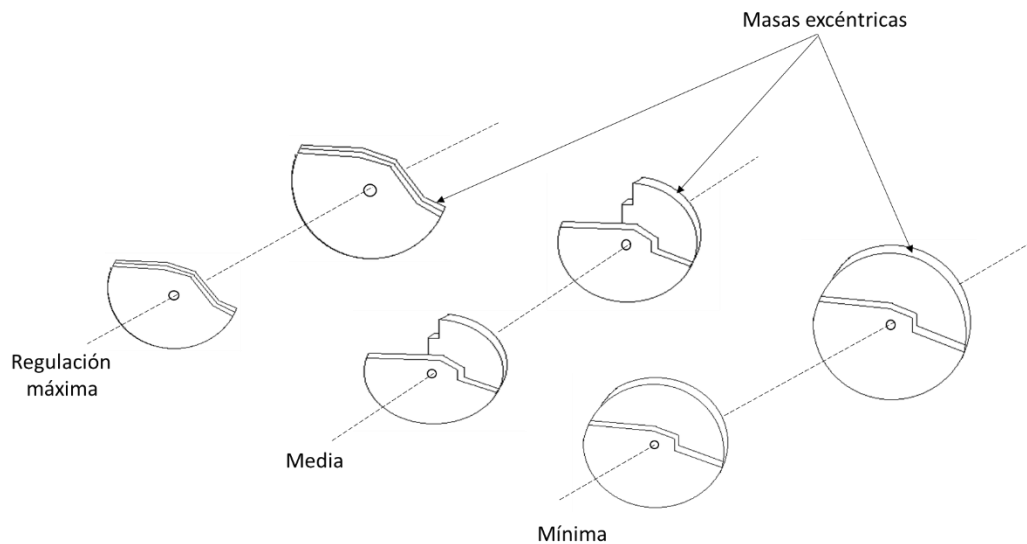


Figura 2.14 Par de masa excéntrica. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo descrito, será conveniente realizar los cálculos respectivos de las masas inerciales, para la posición denominada regulación máxima.

Para la regulación máxima, el centro de gravedad se analiza la gráfica de la figura 2.13 de las masas:

$$x1 = Y1 = -\frac{4 \cdot R}{3 \cdot \pi} \quad (g6)$$

(Centro de gravedad de un semicírculo)

Siendo R el radio geométrico de masa excéntrica y depende de las dimensiones de la polea.

El área frontal de una masa excéntrica aproximadamente es:

$$A = \frac{\pi \cdot R^2}{2} \quad (g7)$$

El peso de una masa excéntrica está dada por:

$$W = \gamma \cdot A \cdot H \quad (g8)$$

Despejando H:

$$H = \frac{W}{\gamma \cdot A} \quad (11)$$

donde:

**H** Ancho de la masa (incógnita);

**W** Peso de la masa a 25 Kg (dato calculado previamente);

**$\gamma$**  Peso específico de la masa, igual a 7 850 Kg/m<sup>3</sup>;

**A** Área frontal de la masa, igual a 0,063 (m<sup>2</sup>).

#### 2.9.2.4 Cálculo de la potencia del motor

Para determinar el valor de la potencia del motor, se emplea:

$$N_{\text{motor}} = M_{\text{torsi}} \cdot n \quad (12)$$

donde:

$N_{\text{motor}}$	Potencia del motor, kW;
$M_{\text{torsi}}$	Momento torsor, kg·mm;
$n$	Velocidad angular de la criba, rpm.

#### 2.9.2.4.1 Cálculo de la potencia de diseño del motor

Se emplea la fórmula siguiente:

$$N_d = N_{\text{motor}} \cdot F_s \quad (13)$$

$F_s$  Factor de servicio para choque fuerte, valor de 1,5 a 1,8.

#### 2.9.2.5 Cálculo de las poleas de transmisión

Para el cálculo de las poleas de transmisión se determina inicialmente el diámetro de las poleas.

#### 2.9.2.5.1 Cálculo del diámetro de las poleas

Para determinar el diámetro, se analiza la figura 2.15.

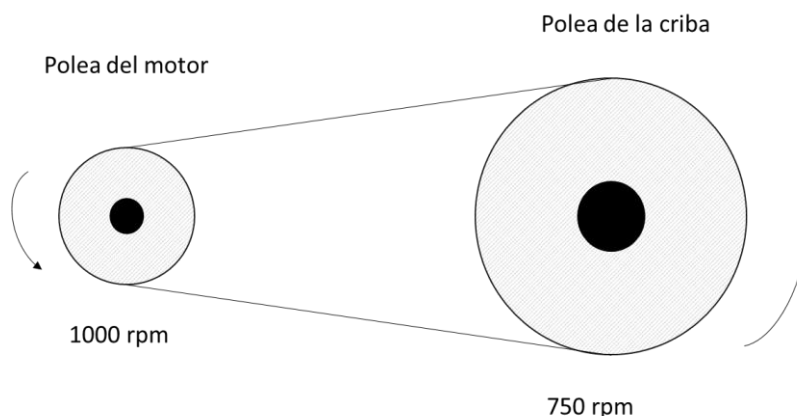


Figura 2.15 Esquema de la transmisión del motor - Eje de la Criba. Fuente:

Elaboración propia.

Si la relación de transmisión es:

Primer Caso: ( $i < 1$ )

$$i_T = \frac{n_{\text{criba}}}{n_{\text{motor}}} = 0,75 \quad (h1)$$



Entonces se aplica:

$$i = \sqrt{i_T} = 0,87 \quad (h2)$$

Segundo Caso: ( $i > 1$ )

$$i_T = \frac{n_{\text{motor}}}{n_{\text{criba}}} = 1,33 \quad (h3)$$

Entonces se aplica:

$$i = \sqrt{i_T} = 1,15 \quad (h4)$$

Con la relación de transición:

$$i = \frac{d}{D_c} \quad (h5)$$

Despejando:

$$D_c = \frac{d}{i} \quad (h6)$$

**donde:**

d      Diámetro de la polea del motor;

Dc     Diámetro de la polea de la criba.

#### **2.9.2.6 Cálculo de la sección de la banda**

En el cálculo de la sección de la banda se van a determinar los siguientes puntos:

##### **a) Cálculo de la distancia entre centros**

Para determinar la distancia entre centros, se usa la ecuación:

$$D_{\text{polea criba}} < C < 3 \cdot D_{\text{polea criba}} + d_{\text{polea motor}} \quad (i1)$$

##### **b) Cálculo de la longitud de paso (Lp)**

$$L_p = 2C + 1,57 \cdot (D_{\text{polea criba}} + d_{\text{polea motor}}) + \frac{(D_{\text{polea criba}} - d_{\text{polea motor}})^2}{4 \cdot C} \quad (i2)$$

##### **c) Cálculo de la velocidad y potencia de la banda**

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\pi \cdot D_{\text{polea criba}} \cdot d_{\text{polea motor}}}{12} \quad (i3)$$

Utilizando la Tabla 17-12 (Ver anexo A4), se busca la potencia nominal de la banda.

##### **d) Cálculo del número de bandas**

Se determina con la ecuación:

$$Z_{\text{banda}} = \frac{Nd}{N_N \cdot k_1 \cdot k_2} \quad (i4)$$

**donde:**

$Nd$  15 hp (Potencia de diseño calculada)

Para determinar  $k_1$  y  $k_2$ , primero se determina la longitud interna ( $Li$ );

$$Li = Lp - \Delta L \quad (i5)$$

$\Delta L$  Valor para la banda de sección (Ver en la tabla 17-14 de anexo A-4).

El ángulo de contacto se determina con:

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{D_{\text{polea criba}} - d_{\text{polea motor}}}{2C} \right) \quad (i6)$$

De ahí:

$$\theta = 180 - 2\phi \quad (i7)$$

Con los valores calculados se determinan los siguientes factores:

$k_1$  Factor de corrección, de la tabla 17-13 (anexo A4), que está en función del ángulo de contacto  $\theta$ ;

$k_2$  Factor de longitud, de la tabla 17-10 (anexo A4), que está en función de la sección de la banda C y la longitud interna  $Li$ .

### **e) Cálculo de la tensión de la polea**

Previamente se calcula el torque. Para determinar el torque, primero se analiza lo siguiente:

Si la potencia se define como:  $P = T \cdot w \quad (i8)$

La velocidad angular como:  $w = \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (i9)$

Combinando las ecuaciones (i6) y (i7):  $P = T \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (i10)$

Despejando el torque (T) se tiene:  $T = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n} \quad (i11)$

**donde:**

Remplazando los valores en la ecuación (i9) se tiene que:

$$T = 1\,432 \text{ kg cm}$$

En la siguiente figura 2.16 se ilustran las fuerzas en la polea del rodillo.

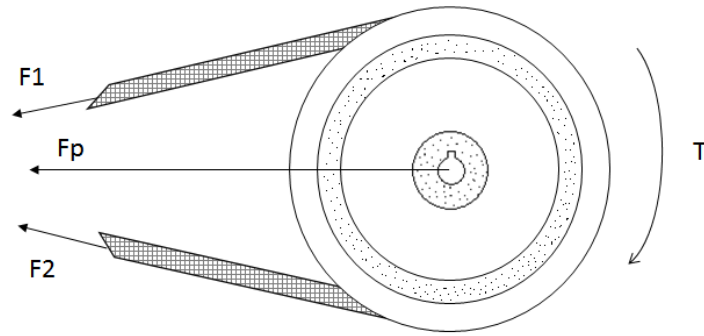


Figura 2.16 Diagrama de fuerzas en la polea del eje de la criba. Fuente:

Elaboración propia.

Despejando la fuerza total:  $F_p = 3$

Luego de transformaciones pertinentes la tensión de la polea se determina por:

$$F_p = 3 \cdot \frac{T}{D_{\text{polea criba}}} \quad (14)$$

## 2.10 Dimensionamiento del sistema eléctrico

Para el dimensionamiento del sistema eléctrico lo primero es determinar el motor.

### 2.10.1 Cálculos del motor

La selección de un motor depende principalmente de la velocidad de rotación requerida y la potencia.

#### 2.10.1.1 Cálculo de la potencia de régimen

Para determinar el valor de la potencia de régimen del motor, se emplea la siguiente ecuación:

$$N_{\text{motor}} = M_t \cdot n \quad (j1)$$

**donde:**

$M_t$  Momento torsor;

$n$  Velocidad angular de la criba, rpm.

#### 2.10.1.2 Cálculo de la potencia de aceleración angular

Para determinar la potencia de aceleración angular se analiza:

$$P_a = M \cdot \omega \quad (15)$$

La velocidad angular es:

$$\omega = \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (j2)$$

Combinando las ecuaciones (15) y (j2):

$$P_a = M \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (j3)$$

n Velocidad de giro del eje del motor;

M Momento angular referido al eje del motor, en kg·m

El momento angular referido al eje del motor, se calcula con la ecuación:

$$M = I_{ref} \cdot \alpha \quad (j4)$$

I<sub>ref</sub> Inercia referida o reducida total del eje del motor;

α Aceleración angular del motor dada por:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot n_m}{30 \cdot t} \quad (j5)$$

**donde:**

n<sub>m</sub> Velocidad angular del motor, rpm;

t Tiempo de aceleración, s.

La I<sub>ref</sub> (inercia referida o reducida total) se obtiene de la ecuación:

$$I_{ref} = I_{polea \text{ del motor}} + \left( \frac{n_r}{n_m} \right)^2 \cdot (I_{polea \text{ criba}} + I_{eje \text{ criba}}) \quad (j6)$$

Si la formula general para determinar la Inercia es:

$$I = \frac{W \cdot D^2}{4 \cdot g} \quad (j7)$$

**donde:**

W Peso del eje o polea, kg;

D Diámetro del eje o polea, m;

g Aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

Para determinar los valores de la ecuación (j6), se emplea la ecuación general de las inercias (j7).

### 2.10.1.3 Cálculo de la potencia mecánica máxima

Para determinar la potencia mecánica máxima se emplea la siguiente ecuación:

$$P_{mec \text{ max}} = \left( \frac{P_r + P_a}{1,85} \right) \quad (j8)$$

**donde:**

P<sub>r</sub> Potencia de régimen;

P<sub>a</sub> Potencia de aceleración angular.

#### 2.10.1.4 Selección y especificación del motor

Para la selección del motor eléctrico, se aplica la siguiente ecuación:

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{mec max}} \cdot FS}{FA \cdot FT \cdot FR \cdot \eta_{\text{red}}} \quad (16)$$

donde:

$P_{\text{mec max}}$  Potencia mecánica máxima, kW;

FS Factor de servicio para equipos de choque mediano (Ver anexos A-7);

FA Factor de altura para 2 000 m.s.n.m;

FT Factor de temperatura de hasta 40 °C;

FR Factor de marcha del 60 %;

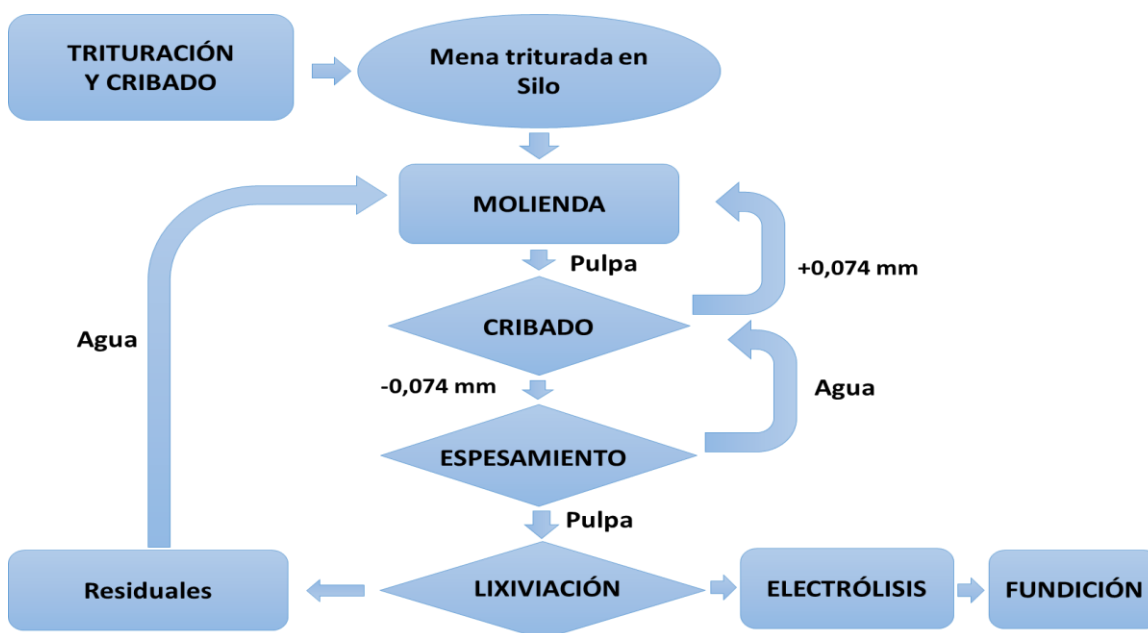
$\eta_{\text{red}}$  Rendimiento para motores de 1 000 rpm, según catálogo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha descrito en el capítulo 2, la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas está diseñada, en la sección de molienda y clasificación, para la reducción y clasificación de hasta 80 toneladas diarias de mineral, produciendo una pulpa con una granulometría deseada por proyecto de  $d_{60-90} = 0.074$  mm (60 al 90 % de la masa) y un % de sólidos de 38 a 44 %. Pero que actualmente no se alcanza ese grado de molienda, porque el clasificador espiral, instalado por diseño, no cumple su función por ser una pulpa con % de sólidos muy superior al 25%, por lo que en acuerdo con el CIPIMM este equipo se elimina del proceso. Es decir, que no hay un sistema de clasificación granulométrica instalado en la planta, y el mineral molido pasa directamente al proceso de lixiviación, ocasionando una disminución en la eficiencia del proceso.

En este proyecto se propone instalar un sistema de clasificación granulométrica mecánico, por medio de una criba vibratoria, con objetivo de minimizar los costos de producción de la planta, y para cumplir con los requerimientos del contenido de sólido, se recomienda que se instale un espesador después del cribado. De ahí que se propone también un nuevo esquema tecnológico, como se observa en la figura 3.1.

Figura 3.1 Esquema tecnológico propuesta para la UEB Producciones Mineras de Placetas. Fuente: Elaboración propia.



Al dimensionar la criba a instalar en la planta se obtuvieron los siguientes resultados:

### 3.1 Parámetros de dimensionamiento

Los parámetros tomados en cuenta para el presente proyecto obedecen a los requerimientos de la UEB Producciones Mineras de Placetas, Villa Clara.

#### 3.1.1 Parámetros iniciales

La materia prima mineral que contiene oro, para ser procesada, es transportada desde la mina, hasta los patios de almacenaje por camiones con volquetas de 30 t de capacidad que cargan el material en un determinado tiempo.

Para determinar la capacidad de trabajo del sistema de cribado se analiza la capacidad de las volquetas y el tiempo de recorrido en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Parámetros iniciales de diseño

Descripción	Unidades
Tiempo estimado para mejorar el rendimiento de los equipos actuales en el proceso de cribado mineral.	8
Tiempo promedio de recorrido que efectúa los camiones desde la mina a la planta (solo de ida).	8
Capacidad de carga aproximada en volumen de la volqueta de los camiones	16
Capacidad de carga aproximada en peso de la volqueta.	30 t

Fuente: Elaboración propia.

Como el tiempo estimado para mejorar el rendimiento de la criba es similar al tiempo promedio de recorrido que efectúa el camión, para mantener la producción continua:

$$\frac{1 \text{ volqueta}}{8\text{h}} \cdot \frac{30 \text{ t}}{1 \text{ volqueta}} = 3,75 \text{ t/h}$$

La criba será diseñada para una capacidad de 3,75 t/h, esta producción ha sido requerida por la empresa, debido a que está en función de la cantidad de equipos de carga y transporte de mineral que dispone.

### 3.1.2 Parámetros secundarios

Los parámetros secundarios están determinados por las características técnicas.

#### 3.1.2.1 Características técnicas de los materiales de diseño.

La resistencia límite a la fluencia de los materiales que se utilizan en el presente proyecto, según catálogo (ver anexo A2) es:

Planchas de acero al carbono:	AISI 1010	$F_y = 1\,837 \text{ kg/m}^2$
Angulares y perfiles para la estructura:	ASTMA36, St 37	$F_y = 2\,245 \text{ kg/m}^2$
Ejes de acero al carbono:	AISI 1045	$F_y = 3\,165 \text{ kg/m}^2$

#### 3.1.2.2 Características físicas del mineral

El mineral procesado actualmente, en la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas presenta un color rojizo, una humedad típica de 5 % y densidad de  $2,86 \text{ kg/m}^3$ .

#### Otras consideraciones

La criba a instalar en la UEB Producciones Mineras de Placetas, que trabaja de manera continua. En este caso, la máquina trabaja en dos turnos, cada uno de 12 horas por día, en un ambiente abierto (intemperie). Se procesarán 80 t/día, es decir 3,75 t/h.

En la figura 3.2 se muestra el sistema y subsistemas elegidos para el dimensionamiento de la criba, así será el orden de cálculo de los mismos.

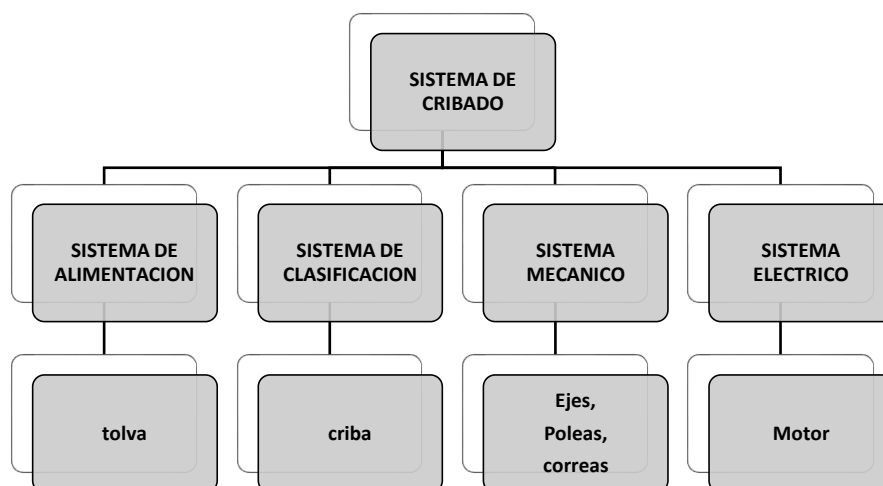


Figura 3.2 Sistema y subsistemas para el dimensionamiento. Fuente:

Elaboración propia.



### 3.2 Dimensionamiento del sistema de alimentación

Se proyecta cargar la tolva de manera continua, de acuerdo a esta premisa la capacidad de la tolva será:

#### a. Capacidad en peso de la tova ( $w$ ):

Partiendo de la cantidad de viajes que dan los camiones, empleando la ecuación (1) se obtiene:

$$W_{\text{trabajo en un día}} = \frac{80 \text{ t}}{3} = 26,66 \text{ t}$$

$$W_{\text{trabajo en una hora}} = \frac{26,6 \text{ t}}{8} = 3,33 \text{ t} = 3\,330 \text{ kg}$$

#### b. Capacidad en volumen ( $V$ ):

La capacidad de volumen está en función de las características técnicas de las tolvas de volquetas que transportan el material, siendo estas de las marcas Hyundai y Kamaz de 16 cubos aproximadamente.

El volumen de las volquetas de los camiones está dado por las dimensiones de sus aristas, que son de: 4,5 x 1,4 x 2,5 m. Empleando la expresión de volumen de un cubo rectangular, se obtiene que el volumen de una volqueta es de 15,75 m<sup>3</sup>  $\approx$  16 m<sup>3</sup>

Por lo tanto la capacidad de la tolva en una carga de la criba será de 16 m<sup>3</sup>.

La capacidad de volumen de la criba en una hora será:

$$\frac{16 \text{ m}^3}{1 \text{ volqueta}} \cdot \frac{3 \text{ volquetas}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 3.2.1 Cálculo de la superficie de la tolva

El cálculo de la superficie de la tolva se realiza en función de los 2 m<sup>3</sup> ya calculados, de la siguiente manera:

Partiendo que la alimentación es una pulpa diluida con un 75 % de líquido, procedente del molino se considera que, según la ecuación (a1):

$$Z = 0,2 \text{ m (altura);}$$

X = 1 m (está en función de la abertura de descarga del ducto procedente de la molienda);

$$V_p = 0,5 \text{ m}^3$$

Por lo tanto la superficie total, según la ecuación (3) es:

$$A = \frac{2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}^3 + 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}^3}{1 \cdot 0,2} = 3,5 \text{ m}^2$$

Entonces la longitud de la tolva, usando la expresión (a3) es de:

$$Y = \frac{0,5 \text{ m}^3}{1 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 2,5 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones finales de la tolva, se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Dimensionamiento de la tolva.

Variables	Dimensiones
Altura, m	0,2
Ancho, m	1,0
Longitud, m	2,5
Descarga a la criba, m	0,5
Superficie total, m <sup>2</sup>	3,5
Capacidad volumétrica, m <sup>3</sup>	0,5
Capacidad másica, kg	3300

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Cálculo del espesor de la plancha

Según el análisis estático:

Determinar la fuerza resultante máxima que soporta la tolva, precisa antes de determinar la distancia donde se ejerce mayor fuerza en la tolva, siendo determinada por la expresión (b1), y sabiendo que la inclinación de la misma es de 30° y usando la expresión (b2):

$$d = \text{sen } 30 \cdot 2,5 \text{ m} = 1,25 \text{ m}$$

Calculando el área (de la base de la tolva).

Si:  $Y = 2,5 \text{ m}$  y  $X = 1,0 \text{ m}$

Sustituyendo en la ecuación del área de un cuadrilátero (b3), se tiene que el valor del área es de 2,5 m<sup>2</sup>

Remplazando en la ecuación (b1) se obtiene que la fuerza resultante máxima que soporta la tolva es:

$$Fr = 53930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2} \cdot \frac{1,25 \text{ m}}{2} \cdot 2,5 \text{ m}^2 = 84\,265,625 \text{ N} = 8\,592,862 \text{ kgf}$$

Para el cálculo del espesor de la plancha de la tolva, se emplea la ecuación (4), pero previamente es necesario determinar cada uno de los factores influyentes en la misma.

Para la determinación del factor de seguridad se parte de trabajar con un acero AISI 1010 cuya resistencia de fluencia es  $1835 \text{ kg/cm}^2$  y el factor de seguridad 1,5, además se considera que el mayor esfuerzo se realiza en  $1 \text{ m}^2$  ( $100 \times 100 \text{ cm}^2$ ) y las tensiones permisibles consideradas es de 0,55, reemplazando en la expresión (4) se obtiene:

$$e = \frac{1 \cdot 8\,592,862 \text{ kgf}}{0,55 \cdot 1\,835 \text{ kgf/cm}^2 \cdot 100} = 0,13 \text{ cm} \approx 1,5 \text{ mm (normalizando)}$$

Por lo tanto se empleará para las planchas de la tolva el acero AISI 1010 con un espesor de 1,5 mm.

### 3.3 Dimensionamiento del sistema de clasificación

La criba a dimensionar estará compuesta de tres niveles (paños) como se muestra en la Figura 3.3 para la clasificación del mineral. Haciendo un análisis de la composición física del material y el método descrito anteriormente, referido al cálculo de la superficie de cribado se obtiene los siguientes datos:

Nivel 1: Criba de 1,0 mm de diámetro de abertura.

Nivel 2: Criba de 0,5 mm de diámetro de abertura.

Nivel 2: Criba de 0,074 mm de diámetro de abertura.

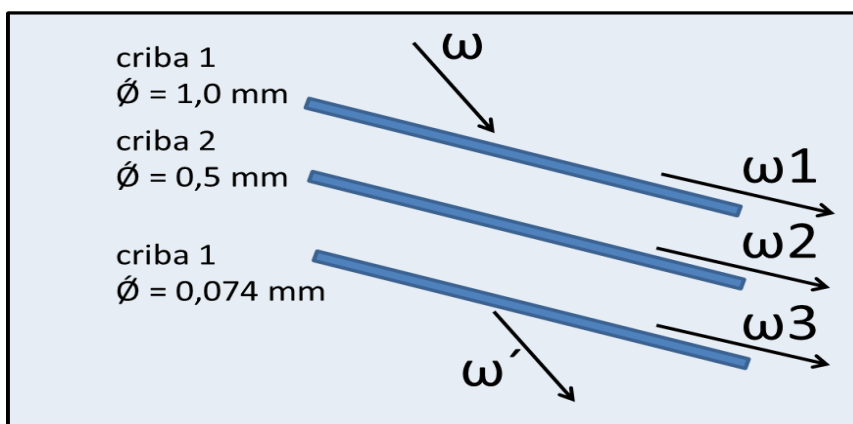


Figura 3.3 Esquema de los niveles de criba. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1 Cálculo de la superficie de la criba

Se comienza antes por definir la capacidad básica de cribado

#### 3.3.1.1 Cálculo de la capacidad básica de cribado.

Como se conoció, en la sección 2.8.1 del capítulo 2, la capacidad básica depende de la abertura de la criba. De la tabla 2.1, se extrae la capacidad básica correspondiente para el nivel de la criba a diseñar. Los valores que se usan, se presentan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Capacidad básica de la criba en sus niveles

Niveles	Granulometría (mm)	t/m <sup>2</sup> h
1	1,0	3,7
2	0,5	2,7
3	0,074	1,26

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2 Cálculo del factor de corrección de la capacidad básica (ft)

Para realizar el cálculo, primero deben calcularse los factores que afectan la capacidad básica.

#### 1) Factor de densidad (fd)

Se calcula con la ecuación (c2).

Conociendo que el peso específico del mineral es 110 500 N/m<sup>3</sup> y su densidad correspondiente de 2 860 kg/m<sup>3</sup> y sustituyendo en la expresión.

$$fd = \frac{2,86}{1,6} = 1,788$$

## 2) Factor de rechazo (fr)

En la Figura 3.4 se muestra el esquema de rechazo del sistema de cribas.

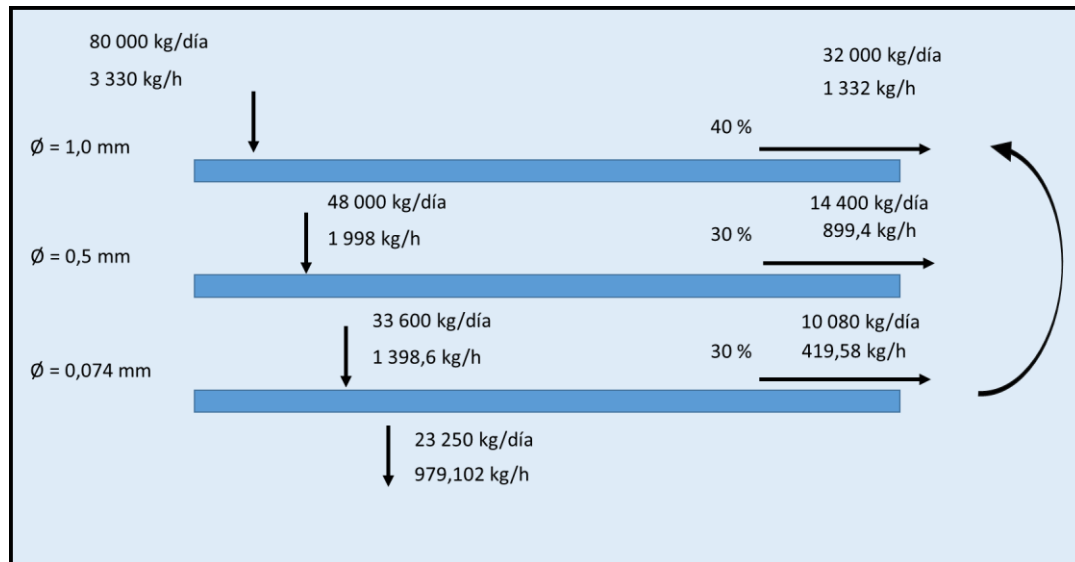


Figura 3.4 Esquema del factor de rechazo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.4 se muestra el balance de sólido del sistema de cribado donde entran 3 330 kg/h de material en el primer paño y el 40 % se rechaza y para el segundo entra una cantidad de 1 998 kg/h y sale un rechazo de 30 % del alimentado a ese paño, de manera similar sucede con el tercer paño donde se rechaza el 30 % del alimentado, a partir del porcentaje del rechazo se toman los valores correspondiente de la tabla (3.4) y se obtienen los valores del factor de rechazo, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3.4 Factor de rechazo

nivel	R %	fr
1	40	0,94
2	30	0,98
3	30	0,98

Fuente: Elaboración propia.

## 3) Factor de semitamaño (fs)

El porcentaje de semitamaño, para el nivel de la criba de acuerdo al concepto explicado, es la cantidad de partículas minerales que contiene el oro, que tiene un tamaño promedio de 35 (mm) la mitad de abertura en la criba.

Tabla 3.5 Factor de semitamaño.

nivel	R %	fs
1	40	1
2	30	0,85
3	30	0,85

Fuente: Elaboración propia.

#### 4) Factor de eficiencia (fe)

El factor de eficiencia depende precisamente de la eficiencia que se desea obtener en el proceso de selección de tamaños, por ser un proceso por vía húmeda, la eficiencia es elevada (superior al 90 %).

La eficiencia de cribado que se requiere es del 98 %, el factor de eficiencia para todos los niveles es  $fe = 0,60$ , como se ilustra en la tabla 3.5.

Tabla 3.6 Factor de eficiencia

nivel	E %	fe
1	98	0,6
2	98	0,6
3	98	0,6

Fuente: Elaboración propia.

#### 5) Factor de apertura de malla (fm)

Depende de la forma de apertura de la malla. En este caso, como se muestra en Tabla 2.6:

Tabla 3.7 Factor de abertura de malla

nivel	Tipo de apertura	fm
1	circular	0,8
2	rectangular	1,0
3	rectangular	1,0

Fuente: Elaboración propia.

#### 6) Factor de posición (fp)

De acuerdo al concepto explicado en la sección 2.8.1, se tiene:

Tabla 3.8 Factor de posición.

nivel	fp
1	1,0
2	0,9
3	0,8

Fuente: Elaboración propia.

### 7) Factor de ángulo de inclinación (fi)

Para este caso, la zaranda tiene una inclinación de 20°:

Tabla 3.9 Factor de ángulo de inclinación

Criba inclinada	fi
20°	1,0

Fuente: Elaboración propia.

### 8) Factor de lascas (fl)

La presencia de lascas en el material molido, según la apreciación de expertos es mostrado en la tabla (2.9):

Tabla 3.10 Factor de Lascas

nivel	Lascas %	fl
1	30	0,8
2	10	0,95
3	10	0,95

Fuente: Elaboración propia.

### 9) Factor área libre de paso (fo)

Para determinar el factor de paso es necesario evaluar el área y la cantidad de orificios que tiene el paño, los resultados se muestran en la tabla 2.10

Tabla 3.11 Factor área libre de paso

nivel	Superficie libre %	fo
1	30	0,6
2	25	0,5
3	35	0,6

Fuente: Elaboración propia.

### 10) Factor de cribado por vía húmeda (fa)

Para cribados por vía húmeda (con empleo de difusores de agua) hay que introducir un nuevo factor de corrección cuyo valor dependerá de la dimensión de la abertura de malla (m):

Partiendo de que se realiza un cribado de granulometría fina, los valores se ilustran en tabla 2.11.

Tabla 3.12 Factor de cribado por vía húmeda

nivel	Granulometría mm	fa
1	1,0	1.42
2	0,5	1,0
3	0,074	1,0

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para determinar el factor total de corrección (ft), se remplazan los valores hallados en la fórmula (c1):

Remplazando los factores ya calculados en la ecuación se obtiene el resultado como se ilustra en la tabla 2.12.

Tabla 3.13 Factor Total de corrección

nivel	ft
1	0,33
2	0,23
3	0,24

Fuente: Elaboración propia.

### c) Cálculo de flujo másico

El flujo másico que atraviesa la criba para cada nivel está dado por la ecuación (c3)

**Para el primer paño el cálculo de flujo másico es:**

$\omega$  flujo másico que ingresa al paño 1 = 3,330 t/h

R porcentaje de rechazo del paño 1 = 40 %

Remplazando en la ecuación (c3) se tiene:

$$T1 = (1 - 0,4) \cdot 3,330 \text{ t/h}$$

$$T1 = 1,998 \text{ t/h}$$



La superficie de cribado, para el primer nivel se determina con la ecuación (c5).

Conociendo por cálculos que:

$$f_t = 0,33$$

$$B = 3,7 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$T_1 = 1,998 \text{ t/h}$$

Sustituyendo en la expresión (c5) se obtiene que:

$$S_{\text{primer paño}} = \frac{1,998 \text{ t/h}}{3,7 \text{ t/m}^2\text{h} \cdot 0,33}$$

Obteniendo la superficie de cribado del primer paño de:

$$S_{\text{primer paño}} = 1,636 \text{ m}^2$$

Para el segundo paño el cálculo de flujo másico es:

$\omega$  = Flujo másico que ingresa al segundo paño, igual a 1,998 t/h

R = Porcentaje de rechazo del paño 2 = 30 %

Sustituyendo en la expresión (c3):

$$T_2 = (1 - 0,3) \cdot 1,998 \text{ t/h}$$

$$T = 1,398 \text{ t/h}$$

El flujo másico para el segundo nivel es de 1,398 t/h

La superficie de cribado, para el segundo nivel se determina en la ecuación (c7):

donde:

$$f_t = 0,23$$

$$B = 2,7 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$T_2 = 1,398 \text{ t/h}$$

Reemplazando en la ecuación (c7):

$$S_{\text{segundo paño}} = \frac{1,398 \text{ t/h}}{2,7 \text{ t/m}^2\text{h} \cdot 0,23}$$

Obteniendo la superficie de cribado del segundo paño de:

$$S_{\text{segundo paño}} = 2,251 \text{ m}^2$$

Para el tercer paño el cálculo de flujo másico es:

$\omega$  = Flujo másico que ingresa al paño 3, igual a 1,398 t/h

R = Porcentaje de rechazo del paño 3 = 30 %

Sustituyendo en la expresión (c8)

$$T_3 = (1 - 0,3) \cdot 1,398 \text{ t/h}$$

$$T_3 = 0,987 \text{ t/h}$$

El flujo másico para el segundo nivel es de 1,398 t/h

La superficie de cribado para el segundo nivel se determina en la ecuación (c9):  
donde:

$$ft = 0,23$$

$$B = 2,7 \text{ t/m}^2\text{h}$$

$$T3 = 0,978 \text{ t/h}$$

Reemplazando en la ecuación (c9):

$$S_{\text{tercer paño}} = \frac{0,978 \text{ t/h}}{1,26 \text{ t/m}^2\text{h} \cdot 0.24}$$

Obteniendo la superficie de cribado del tercer paño de:

$$S_{\text{tercer paño}} = 3,234 \text{ m}^2$$

### 3.3.3 Cálculo de la longitud de la criba

Se calcula con la ecuación (6):

Siendo:

Para el primer paño:

$$S = 1,636 \text{ m}^2$$

$$d = 0,8 \text{ m (ancho de entrada de la criba).}$$

Se obtiene:

$$L = 2,045 \text{ m}$$

Para el segundo paño:

$$S = 2,251 \text{ m}^2$$

$$d = 0,8 \text{ m (ancho de entrada de la criba).}$$

Se obtiene:

$$L = 2,814 \text{ m}$$

Para el tercer paño:

$$S = 3,324 \text{ m}^2$$

$$d = 0,8 \text{ m (ancho de entrada de la criba).}$$

Se obtiene:

$$L = 4,155 \text{ m}$$

Los resultados totales de la criba se muestran en la tabla 2.13.

Tabla 3.14 Resultados de la superficie

Nivel	Granulometría mm	B t/m <sup>2</sup> ·h	ft	W kg/h	T t/h	S m <sup>2</sup>	d m	L m
1	1,00	3,7	0,33	3 330	1,998	1,636	0,8	2,045
2	0,50	2,7	0,23	1 998	1,398	2,251	0,8	2,814
3	0,074	1,6	0,24	1 398	0,987	3,324	0,8	4,155

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de diseño la zaranda tendrá las dimensiones:

Largo de la zaranda: 4 000 (mm)

Ancho de la zaranda: 800 (mm)

### 3.3.4 Forma e inclinación de la criba

La criba está compuesta por tres planchas planas paralelas con un ángulo de inclinación de 20° con respecto a la horizontal, como se aprecia en la Figura 2.10.

Previamente se calcularon los siguientes datos para el primer paño:

$e = 1,0$  mm (espesor de la plancha del criba)

$S = 1,636$  m<sup>2</sup> (superficie del criba)

$L = 4,00$  m (largo del criba)

Previamente se calcularon los siguientes datos para el segundo paño:

$e = 1,0$  mm (espesor de la plancha del criba)

$S = 2,251$  m<sup>2</sup> (superficie del criba)

$L = 4,00$  m (largo del criba)

Previamente se calcularon los siguientes datos para el tercer paño:

$e = 1,0$  mm (espesor de la plancha del criba)

$S = 3,324$  m<sup>2</sup> (superficie del criba)

$L = 4,00$  m (largo del criba)

Se asume que el peso total aproximado de la estructura de la criba es la que se muestra a continuación:

- Peso de las planchas (criba y tapas laterales) = 1 200 kg.
- Peso del eje y las poleas (masas excéntricas) = 100 kg.

- Peso del material a cribar = 5 kg.

Por lo tanto el peso total de diseño es igual a 1 305 kg.

### 3.4 Dimensionamiento del sistema de transmisión mecánica

Se empieza por determinar la velocidad de avance.

#### 3.4.1 Cálculo de la velocidad de avance

La rapidez de desplazamiento del material a cribar con respecto a la superficie de la zaranda, se denomina velocidad de avance del material (figura 2.11).

Suponiendo que la velocidad de avance es igual,  $w = 3\,330\text{ kg/h}$  para todos los niveles y sustituyendo en la expresión (7) se tiene que:

$$V_p = \frac{3\,330\text{ kg/h}}{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,5\text{m} \cdot (0,03 + 0,005 + 0,001)\text{m}}$$

$$V_p = 0,0514\text{ m/s}$$

Y la velocidad teórica por la expresión (8):

$$V_{\text{teórica}} = \frac{0,0514}{0,3}$$

$$V_{\text{teórica}} = 0,1713\text{ m/s}$$

#### 3.4.2 Diseño del mecanismo de vibración

Según la tabla 2.10, para procesos de lechos fluidos (por ser un cribado por vía húmeda) se selecciona el tipo de vibración unidireccional, con una frecuencia de vibración de 50 Hz y un rango de 750 rpm.

#### 3.4.3 Cálculo de la excentricidad de las masas

En la Figura 2.11, se observa que la trayectoria de la partícula presenta una onda periódica, se sabe teóricamente que la velocidad de avance de una onda está expresada por:

Para determinar la excentricidad de una masa en un eje se utilizan los diagramas del catálogo del fabricante de motovibradores “Italvibras” con los siguientes datos:

$$V_p = 0,0514\text{ m/s} = 185,04\text{ m/h (velocidad de avance);}$$

$$i = 30^\circ \text{ (ángulo de incidência);}$$

$$n = 750\text{ rpm (velocidad angular).}$$

Del diagrama del manual del fabricante de Italvibras para 750 rpm – 50 Hz (2.13) se obtiene la excentricidad:

$$e = 6,6 \text{ mm.}$$

#### 3.4.4 Cálculo de la fuerza centrífuga o de vibración

El peso se la zaranda incluyendo el eje y poleas se estima en:

$$P_v = 1\,305 \text{ kg (carga total).}$$

El momento estático en cada polea se calcula con la expresión (f1):

$$M_t = \left( \frac{1\,350 \text{ kg}}{2} \right) \cdot 6,6 \text{ mm}$$

$$M_t = 4\,455 \text{ kg}\cdot\text{mm}$$

La fuerza de vibración centrífuga se calcula con la ecuación (9) y sustituyendo en la misma:

$$F_c = 1,12 \cdot 6,6 \text{ m} \cdot \left( \frac{750 \text{ rpm}}{1\,000} \right)^2 \cdot \left( \frac{1\,305 \text{ kg}}{2} \right)$$

$$F_c = 1,12 \cdot 6,6 \text{ m} \cdot 0,5625 \text{ rpm} \cdot 652,5 \text{ kg}$$

$$F_c = 2\,713,095 \text{ kg}$$

#### 3.4.5 Cálculo de las masas excéntricas

De acuerdo a lo descrito en el capítulo 2, será conveniente realizar los cálculos respectivos de las masas inerciales, para la posición denominada regulación máxima (figura 2.14).

El centro de gravedad de un semicírculo se determina por la ecuación (g6).

De la ecuación (g6), siendo R el radio geométrico de masa excéntrica y depende de las dimensiones de la polea, el R radio debería ser igual a 100 mm.

$$Y_1 = - \frac{4 \cdot 100}{3 \cdot \pi}$$

Entonces:

$$Y_1 = 42,441 \text{ mm}$$

Por tanto el centro geométrico para la regulación media es:

$$r = 0,0424 \text{ m}$$

Entonces, remplazando los siguientes datos, en la ecuación (10) se tiene:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$w = 750 \text{ rpm} = 78 \text{ rad/s}$$

$$F_c = 2\,713,095 \text{ kg}$$

$$r = 42,441 \text{ mm} = 0,0424 \text{ m}$$

$$N = 5$$

Se obtiene el peso necesario de una excéntrica igual a:

$$W = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2\,713,0945 \text{ kg}}{4 \cdot 78 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \cdot 0,0424 \text{ m}}$$

$$W = 20,635 \text{ kg}$$

El área frontal de una masa excéntrica aproximadamente es medida por la ecuación (g7):

$$A = \frac{\pi \cdot 0,10^2}{2}$$

$$A = 0,015 \text{ m}^2$$

Despejando el ancho de una masa excéntrica de la expresión (11) y reemplazando los datos correspondientes, se obtiene:

H = Ancho de la masa;

W = 25 kg Peso de la masa;

$\gamma = 7\,850 \text{ kg/m}^3$  Peso específico de la masa;

A =  $0,015 \text{ m}^2$  área frontal de la masa.

$$H = \frac{20,635 \text{ kg}}{7\,850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,015 \text{ m}^2}$$

$$H = 17,50 \text{ (mm)}$$

Con los resultados obtenidos, se diseñan las masas excéntricas utilizando planchas AISI 1010 con un espesor de 17,5 mm, para la fabricación de las masas.

### 3.4.6 Cálculo de la potencia del motor

Para determinar el valor de la potencia del motor, se emplea la expresión (12), donde para el caso particular los valores de cada parámetro son:

$$M_{\text{torsi}} = 4\,455 \text{ kg}\cdot\text{mm} \text{ (dato calculado en la sección 3.4.4)}$$

$$n_{\text{criba}} = 750 \text{ rpm}$$

Reemplazando en la fórmula y haciendo conversiones para igualar las dimensiones, se tiene:

$$N_{\text{motor}} = 3\,341\,250 \text{ kg} \cdot \text{mm} \cdot \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$N_{\text{motor}} = 3\,428,969 \text{ W} = 3,429 \text{ kW}$$

Aplicando un rendimiento mecánico del 88 %.

$$N_{\text{motor}} = \frac{3,429 \text{ kW}}{0,88}$$

$$N_{\text{motor}} = 3,896 \text{ kW} = 5,195 \text{ hp}$$

#### 3.4.6.1 Cálculo de la potencia de diseño del motor

Usando la fórmula (13) y conociendo que el factor de servicio para choque fuerte toma valores entre 1,5 a 1,8.

Por tanto:

$$N_d = 3,896 \text{ kW} \cdot 1,5 = 5,844 \text{ kW} = 7,945 \text{ hp}$$

#### 3.4.7 Cálculo de las poleas de transmisión

Para el cálculo de las poleas de transmisión se determina inicialmente el diámetro de las poleas.

##### 3.4.7.1 Cálculo del diámetro de las poleas

Con los datos hallados en el apartado 3.4.6.1 y comparando con las tabla 17-12 (anexo A4), se determina la sección de la banda tipo B.

Para determinar el diámetro, se analiza la figura 2.15 y recordando que:

$n_{\text{motor}} = 1\,000 \text{ rpm}$  (velocidad del motor eléctrico según catálogo ver anexo A6)

$n_{\text{criba}} = 750 \text{ rpm}$  (velocidad del eje de la criba)

La elección de la velocidad del motor eléctrico, está en función de las dimensiones de las poleas.

Como la relación de transmisión es:

$$i_T < 1 = 0,75$$

entonces:

$$i = i = \sqrt{i_T} = 0,8$$

Según el caso de la tabla 17-9 (anexo A4), para bandas tipo B, la restricción en la selección del diámetro de la polea del motor es de 10 pulg = 25 cm, con la relación de transición

$$i = 0,8.$$

Despejando el diámetro de la polea de la criba en la ecuación (h6) y sustituyendo los valores calculados:

$$D_c = \frac{10}{0.8} = 12,5 \text{ pulg.} = 31,25 \approx 35 \text{ cm}$$

Entonces los valores finales son:

$$d_{\text{polea del motor}} = 25 \text{ cm} = 10 \text{ ''}$$

$$D_{\text{polea de la criba}} = 35 \text{ cm} = 12.5 \text{ ''}$$

### 3.4.8 Cálculo de la sección de la banda

Según la potencia de diseño para especificar la banda de transmisión es  $N_d = 7,945 \text{ hp}$  y comparando con la tabla 17-9 (anexo A4) se determina la sección de la banda tipo B.

#### a) Cálculo de la distancia entre centros

Para determinar la distancia entre centros  $C$ , se usa la ecuación (i1):

Por tanto:

$$12,5 < C < 3(12,5+10)$$

$$12,5 < C < 76,5$$

Entonces el valor asumido será:

$$C = 40 \text{ pulg.}$$

#### b) Cálculo de la longitud de paso ( $L_p$ )

Se calcula por la expresión (i2) y sustituyendo en la misma:

$$L_p = 2 \cdot 40 + 1,57 \cdot (12,5 + 10) + \frac{(12,5 + 10)^2}{4 \cdot 40}$$

$$L_p = 115,46 \text{ pulg} = 288,66 \text{ cm}$$

#### c) Cálculo de la velocidad y potencia de la banda

Se determina mediante la ecuación (i3):

Reemplazando:

$$v = \frac{\pi \cdot 10 \text{ pulg} \cdot 1\,000 \text{ rpm}}{12}$$

La velocidad de la banda es:

$$v = 2\,618 \text{ pie/min} = 798 \text{ m/min} = 13,3 \text{ m/s.}$$

Con el dato de la velocidad, se determina la potencia nominal por banda ( $N_N$ ) y se utiliza la tabla 17-12 (ver anexo A4), entonces la potencia nominal de la banda será:

$$N_N = 4,49 \text{ hp/banda.}$$



#### **d) Cálculo del número de bandas**

Utilizando la ecuación (i4), para determinar  $k_1$  y  $k_2$ , primero se determina la longitud interna ( $L_i$ ).

$$L_i = 115,46 \text{ pulg.}$$

$\Delta L = 2,9$  (Valor para la banda de sección B, tabla 17-14 de anexo A4).

$$L_i = L_p - \Delta L = 115,46 - 2,9 = 112,5 \text{ pulg}$$

Entonces:

$$L_i = 112,5 \text{ pulg}$$

Normalizando la circunferencia interna de la banda en V estándares, con la tabla 17-10 (anexo A4):

$$L_i = 120 \text{ pulg.}$$

El ángulo de contacto se determina con la expresión (i6):

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{12,5 - 10}{2 \cdot 40} \right) = \sin^{-1}(0,03125)$$
$$\phi = 1,79^\circ \approx 2^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación (i7) se obtiene que:

$$\Theta = 180^\circ - 2^\circ = 176^\circ$$

Con los valores calculados se encuentran los siguientes factores:

$k_1 = 0.95$  (factor de corrección, de la tabla 17-13 de anexo A4., que está en función del ángulo de contacto  $\theta$ );

$k_2 = 0.95$  (factor de longitud, de la tabla 17-14 de anexo A4, que está en función de la sección de la banda C y la longitud interna  $L_i$ ).

Remplazando los valores en la ecuación “Número de Bandas” se tiene:

$$Z = 1,92 = 2 \text{ Bandas}$$

Que cumple con la condición general de  $Z \leq 4$

#### **e) Cálculo de la tensión de la polea**

Primero se calcula el torque:

Despejando el torque y reemplazando los valores en la ecuación (i11) se tiene:

$$N_d = 7,8 \text{ hp} = 585 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$T = \frac{30 \cdot 585 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{\pi \cdot 750 \text{ rpm}}$$

$$T = 745 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Partiendo del análisis literal que se realiza, se emplea la expresión (14) para la determinación de la fuerza de la tensión en la polea:

$$F_p = 3 \cdot \frac{745 \text{ kg cm}}{35 \text{ cm}}$$

$$F_p = 63,85 \text{ kg}$$

En la tabla 3.15 se muestran los resultados finales de la dimensión mecánica

Tabla 3.15 Resultados del dimensionamiento de sistema mecánico

Vt m/s	e mm	Fc kg	W kg	Mt kg·mm	Nd kW	d cm	D cm	Lp cm	T kg·cm
0,1713	6,6	<sup>2</sup> 713,095	20,635	4 455	5,844	25	35	288,66	745

### 3.5 Diseño del sistema eléctrico

Empezando con el cálculo de del motor

#### 3.5.1 Cálculos del motor

La selección de un motor depende principalmente de la velocidad de rotación requerida y la potencia.

##### 3.5.1.1 Cálculo de la potencia de régimen

Para determinar el valor de la potencia de régimen del motor, se emplea:

$$M_{\text{torsor}} = 8\,910 \text{ kg mm (dato calculado en la sección 3.4.4)}$$

$$n_{\text{criba}} = 750 \text{ rpm}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (j1) e igualando dimensiones, se tiene que la potencia del motor es:

$$N_{\text{motor}} = 6,68 \text{ kW} = 9,034 \text{ hp}$$

##### 3.5.1.2 Cálculo de la potencia de aceleración angular

Primeramente se calcula el momento angular referido al eje del motor, partiendo de la determinación de los factores que la integran:

La aceleración angular es determinada por la expresión (j5), si:

$$n_m = 1\,000 \text{ rpm (revoluciones del motor)}$$

$$t = 1 \text{ s (tiempo de aceleración)}$$

Entonces:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot n_m}{30 \cdot t} = \frac{\pi \cdot 1000 \text{ rpm}}{30 \cdot 1 \text{ s}} = 105 \text{ rad/s}^2$$

Para determinar los valores de la ecuación (j6), se emplea la ecuación general de las inercias (j7).

La inercia de la polea del motor es:

$$W_{\text{polea del motor}} = 8 \text{ kg (peso de la polea del motor);}$$

$$\text{Diámetro de la polea del motor} = 0,25 \text{ m;}$$

$$I_{\text{polea motor}} = 0,018 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

La inercia de la polea de la criba es:

$$W_{\text{polea criba}} = 10 \text{ kg} + 25 \text{ kg (peso de la polea de la criba y la masa excéntrica)}$$

$$\text{Diámetro de la polea de la criba} = 0,35 \text{ m;}$$

$$I_{\text{polea criba}} = 0,128 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

La inercia del eje de la criba es:

$$W_{\text{eje criba}} = 65 \text{ kg (peso del eje de la criba);}$$

$$\text{Diámetro del eje de la criba} = 0,08 \text{ m;}$$

$$I_{\text{eje criba}} = 0,055 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación (j6) se tiene que:

$$I_{\text{ref}} = 0,018 + \left(\frac{750}{1000}\right)^2 \cdot (0,128 + 0,055)$$

$$I_{\text{ref}} = 0,1209 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

El momento angular referido al eje del motor se calcula con la ecuación (j4):

$$M = 0,1209 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 105 \text{ rad/s}^2$$

$$M = 12,695 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$P_a = 1,8 \text{ hp} = 1,32 \text{ kW}$$

### 3.5.1.3 Cálculo de la potencia mecánica máxima

Partiendo de que se conocen los parámetros necesarios, calculados anteriormente

$$P_r = 9,034 \text{ hp (potencia de régimen);}$$

$$P_a = 1,8 \text{ hp (potencia de aceleración angular).}$$

Sustituyendo en la ecuación (j8):

$$P_{\text{mec max}} = \left(\frac{9,034 \text{ hp} + 1,8 \text{ hp}}{1,85}\right)$$

Entonces la potencia mecánica máxima es igual a 5,85 hp

### 3.5.1.4 Selección y especificación del motor

Para la selección del motor eléctrico, aplicando la ecuación (16)

donde:

$P_{max} = 5,85$  hp (potencia mecánica máxima)

$FS = 1.3$  (factor de servicio para equipos de choque mediano, ver anexos A7)

$FA = 0.9$  (factor de altura para 2 000 m.s.n.m.);

$FT = 1.0$  (factor de temperatura de hasta 40 °C);

$FR = 1.15$  (factor de marcha del 60 %).

$\eta_{red} = 90\%$  (rendimiento para motores de 1 000 rpm, según catálogo, anexo A7)

Se obtiene la potencia del motor igual a 7,945 hp, valor que es similar a los datos obtenidos en la potencia de diseño del motor.

## 3.6 Valoración ambiental de la planta

Se hace una valoración de la tecnología para tratamiento de aguas residuales cianuradas en la planta CIL durante los seis años de funcionamiento de la misma. Esta tecnología se basa en la utilización del hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) de producción nacional, en sustitución al peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), producto importado de alto precio en el mercado internacional. El tratamiento de residuales, por proyecto, se diseñó aplicando sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y cal directamente a la pulpa residual a la salida de lixiviación-adsorción, y se preveía en caso de emergencia por llenado de la presa de colas el tratamiento con peróxido en las lagunas de emergencia y vertimiento al medio. Las abundantes precipitaciones en el territorio, entre los años 2012 al 2014 y ocurrencia de fenómenos meteorológicos en años posteriores obligaron a buscar soluciones para evitar el vertimiento al medio sobre una cuenca hidrográfica de primera importancia a nivel nacional, luego de varias etapas de tratamiento que incluyen métodos naturales, las aguas residuales se disponen en lagunas de disposición controladas y monitoreadas y su carga contaminante no excede a la permitida por la norma cubana de vertimiento, debido a su alta eficiencia además en la remoción de metales pesados disueltos. Se han tratado en la planta 39 000 m<sup>3</sup> de agua residual. La tecnología aplicada ha permitido en seis años ahorrar 97,5 toneladas de peróxido de hidrógeno con un efecto económico de 207,1 MP de ellos 176,7 MUSD. La tecnología puede ser generalizable para otras industrias que generen tales residuales.

### 3.7 Evaluación Económica

Para la realización de la inversión de una criba vibratoria en la Unidad Empresarial de Base Producciones Mineras de Placetas se partió de conocer la producción de oro y plata anual así como los precios de ambos metales en la Bolsa de Metales de Londres. Los ingresos por ventas mensuales y anuales son mostrados en la tabla 3.16.

Tabla 3.16 Ingresos por venta de oro y plata en la Unidad Empresarial de base de Producciones Mineras de Placetas

Oro Metálico					
DETALLE	Producción kg	Producción oz	Precio De Venta USD/oz	Ingresos	
Producción Mensual	2,5	88,175	\$ 1 337,0	Mensual	\$ 117 888,21
Producción anual	27,5	969,925	\$ 1 337,0	Anual	\$ 1 296 770,33

Plata Metálica					
DETALLE	Producción kg	Producción oz	Precio De Venta USD/oz	Ingreso	
Producción Mensual	5	176,35	\$ 14,8	Mensual	\$ 12 154,4
Producción anual	55	1 939,85	\$ 14,8	Anual	\$ 145 853,1

INGRESO TOTAL	
Oro y Plata mensual	\$ 130 042,6
Oro y Plata anual	\$ 1 442 623,5

En la tabla 3.17 se muestra un resumen de los costos en que se incurre durante la producción de oro y plata, a partir del análisis y cálculos de los costos fijos y variables de la misma,

Tabla 3.17 Costos en la Unidad Empresarial de base de Producciones Mineras de Placetas

<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 349 632,00</b>
Mano de Obra Directa	\$ 86 160,00
Mano de Obra Indirecta	\$ 33 072,00
Costo de transporte	\$ 230 400,00

<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 204 000,00</b>
Materiales Directos	\$ 201 600,00
Materiales Indirectos	\$ 2 400,00
<b>COSTOS TOTALES</b>	<b>\$ 553 632,00</b>

Los gastos administrativos son considerados dentro del flujo de caja en la Unidad Empresarial de base de Producciones Mineras de Placetas. Los cálculos son mostrados en la tabla 3.18

Tabla 3.18 Gastos Administrativos

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL MENSUAL</b>	<b>TOTAL ANUAL</b>
Sueldos Administrativos	\$ 9 936,00	\$ 119 232,00
Servicios Básicos	\$ 10 294,88	\$ 123 538,61
Electricidad 2000 Kv por mes	\$ 10 290,38	\$ 123 484,61
Agua	\$ 4,50	\$ 54,00
Total Gastos Administrativos	\$ 20 230,88	\$ 242 770,61

Para la confección del flujo de caja para la inversión de la criba vibratoria, se consideró la información siguiente:

Costo de la inversión inicial: \$ 15 000,00

Costo del capital de trabajo: \$ 7 000,00

Depreciación de intangibles: \$ 15 348,12

Taza de descuento: 15 %

En la tabla 3.19 se muestra el flujo de caja para la inversión de la criba en la Unidad Empresarial de base de Producciones Mineras de Placetas

Tabla 3.19 Flujo de caja del proyecto de inversión de una criba vibratoria en la Unidad Empresarial de base de Producciones Mineras de Placetas

<b>FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO, (\$)</b>						
<b>Detalle</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ingresos		1 442 623,46	1 471 475,93	1 500 905,45	1 530 923,56	1 561 542,03
Egresos		798 402,61	833 752,31	871 751,17	912 646,39	956 709,53

Costos de Venta		553 632,00	564 704,64	575 998,73	587 518,71	599 269,08
Coste de Fabricación		553 632,00	564 704,64	575 998,73	587 518,71	599 269,08
Gasto Administrativo		242 770,61	267 047,67	293 752,44	323 127,68	355 440,45
Gasto de Venta y Publicidad		2 000,00	2 000,00	2 000,00	2 000,00	2 000,00
Flujo Operacional		644 220,85	637 723,62	629 154,28	618 277,17	604 832,50
Amortización Intangible		209,70	209,70	209,70	209,70	209,70
Depreciación		15 138,42	15 138,42	15 138,42	15 138,42	15 138,42
Utilidad antes de Impuesto		628 872,73	622 375,50	613 806,16	602 929,05	589 484,38
Impuesto a la Renta, 25%		157 218,18	155 593,88	153 451,54	150 732,26	147 371,10
Participación de Trabajadores, 15%		94 330,91	93 356,33	92 070,92	90 439,36	88 422,66
Utilidad Neta		377 323,64	373 425,30	368 283,70	361 757,43	353 690,63
Depreciación y Amortización Intangible		15 348,12	15 348,12	15 348,12	15 348,12	15 348,12
Inversión Inicial	-7 000,00					
Capital de Trabajo	-1 500,00					
Flujo neto del proyecto	-8 000,00	392 671,76	388 773,42	383 631,82	377 105,55	369 038,75
TIR	46,19 %					
tasa de descuento 10 %	10,00					
VAN	30 726,71					

Como paso final del cálculo económico se llegó a la conclusión que es posible realizar las inversiones de una criba vibratoria previstas en la Unidad Empresarial de Base Producciones Mineras de Placetas debido a que el VAN obtenido es de \$ 30 726,71 con una tasa de descuento de un 10 %, además de corroborar tal posibilidad, a partir de tener un TIR del 46,19 %.

## **CONCLUSIONES**

- Mediante estudio de diferentes métodos de clasificación granulométrica para minerales auríferos, se seleccionó el método mecánico y el más usado en la industria minero-metalúrgica, que es la clasificación granulométrica por criba para la UEB Producciones Mineras de Placetas;
- Se seleccionó una criba vibratoria con tres tamices, siendo: el primer tamiz con 1,0 mm de diámetro, 0,5 mm para el segundo, y 0,074 mm para el tercer tamiz, procesando 3 330 kg/h de minerales auríferos;
- El motor instalado a la criba tiene una potencia de 5,844 kW, generando una frecuencia de vibración de 50 Hz y una velocidad de giro de 750 rpm;
- Con los resultados obtenidos se logra incrementar eficiencia metalúrgica en la planta, superior o igual al 80 %.



## **RECOMENDACIONES**

- Se debe realizar un estudio del mineral a la hora de seleccionar la criba a instalar, porque a mayor abrasividad del mineral, habrá que escoger un equipo con mayor resistencia a esa propiedad;
- Para un funcionamiento correcto y eficiente de la criba, se debe realizar un mantenimiento periódico en el equipamiento;
- El dimensionamiento fue realizado para las condiciones requeridas en la UEB Producciones Mineras de Placetas;
- Para los requerimientos del contenido de sólido en el proceso, se debe instalar un espesador después del cribado.

## BIBLIOGRAFIAS

1. Alcalá J., Soto R., Sosa, M. y T. Lebgue. 2006. Community diagnosis of the environmental problematic: an example from Chihuahua City, Mexico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2 (2): 81-88.
2. American Society for Testing and Materials. 2003, Norma C 117 - 95, Volumen 04.02.
3. Andréiev, S. E., Perov, V. A. & Zverievich, V. V. 1980. Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de Minerales. Editorial Mir, Moscú.
4. Blanco, E. 2011. Tecnología Mineralúrgica. Bloque II. Capítulo 9. Clasificación.
5. Brown, G. 1965. Mineralogical Society, Clay Minerals Group, London.
6. Chaves, A.P. e Peres, A.E.C. 1999. Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem, volume 3, Signus, São Paulo.
7. Cori, W. 2017. Diseño de una Criba para la Concentración de Oro. Tesis de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
8. González, R. 2015. Instalación de una Planta de Trituración y Cribado de una Cantera de Cuarzita. Tesis de Ingeniería. Universidad de León. México
9. Heiskanen, K. 1993. Particle Classification. London. 321 p.
10. ICA Fuor Daniel S. de R. L. de C.V.
11. Bouso, J. L. 2018. Cálculos de la Superficie de Cribado. Universidad Politécnica de Madrid. España.
12. Luz, A.B. y Lins, F.A.F. 2004. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: Luz, A.B.; Sampaio, J.A.; Almeida, S.L.M. Tratamento de Minérios. 4 ed. Rio de Janeiro. CETEM/MCT. n. 1, p. 3 – 16
13. Manual de la AISC, Tabla 2-4, p.2-48, 14ava. Ed., 2011.
14. Mullar, A. L. & Bhappu, R. B. 1980. Diseño de Plantas de Proceso de Minerales. Editorial Rocas y Minerales, Nueva York.
15. Otero de la Gandora, J. L. 1980. Operaciones de Separación en Metalurgia Extractiva. Ed. Alhambra, España.

16. Pavez, J. 2016. Optimización de Tamaños de Transferencia en Chancado y Molienda Sewell Mediante Simulación de Procesos. Tesis de Ingeniería. Pontificia Universidad de Valparaíso. Chile. pp33.
17. Peres, A.E.C.; Chaves, A.P.; Lins, F.A.F.; Torem, M.L. 2002. Beneficiamento de Minérios de Ouro. In: Trindade, R.B.E.; Filho, O.B. Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro. CETEM/CNPq, n. 2, p. 15 - 50.
18. Rázumov, K. A. & Perov, V. A. 1985. Proyectos de Fábricas de Preparación de Minerales. Editorial Mir. Moscú.
19. Stange, W. 1999. The process design of gold leaching and carbon-in-pulp circuits. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. p. 13 – 26.
20. Wills, B. A. & Napier-Munn, T. 2006. Mineral Processing Technology. An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7th Edition ed. s.l.:Elsevier Science & Technology Books.

[www.italvibras.it/user/upload/inc\\_scelta\\_motovibradore/ITV\\_scelta\\_IT.pdf](http://www.italvibras.it/user/upload/inc_scelta_motovibradore/ITV_scelta_IT.pdf)

[www.astra.cl](http://www.astra.cl)

<https://mega.co.nz/>

[www.weg.net](http://www.weg.net)

## ANEXOS

### Anexo A1 – Cálculo del Tamiz

# ASTRA

ventas@astra.cl      www.astra.cl  
COLON 8201 - LA CISTERNA - Santiago - Fono 22 547 13 95

## Medidas de Planchas Perforadas Formato 1000 x 2000 mm

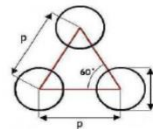
### EN ACERO COMERCIAL A-37 o Similar

#### PERFORACIONES REDONDAS

medidas en mm

Ø	espesor	paso	Area Libre %
0,5	0,5	1,25	15
0,8	0,8	2 o 1,6	15/23
1	1	2	23
1,2	1	2,3	27
1,5	1	2,5 (3)	32/23
1,5	1,5	3	23
2	1	3,5	30
2	2	4	23
2,5	1	4	35
2,5	2	4	35
3	0,8	5	32
3	0,8	5	32
3	1	5	32
3	2	5	32
3	3	5,5	27
3,5	2	5	44
3,5	3	5	44

Galvanizada



$$\text{Area Libre \%} = 90,7 \times (d/t)$$

2

PRODUCTOS Y DESCARGAS

PLANCHAS PERFORADAS

ALUMINIOS Y ACEROS INOXIDABLES

MALLAS EN ACERO INOXIDABLE Y NYLON

CONCERTINAS METAL DESPLEGADO

APLICACIONES

SUGERENCIAS Y RECLAMOS

CONTACTANOS

Buscar

## EN ACERO INOXIDABLE

### PLANCHAS PERFORADAS

Español English

#### Información necesaria para procesar una cotización o pedido:

- Tipo de Material (Acero Comercial, A.Inox., Aluminio, etc..)
- Formato de Plancha (Ej.: 1000 X 2000 mm)
- Espesor de la Plancha: **e** en mm
- Diámetro de la Perforación: **d** en mm
- Paso de las Perforaciones: **p** en mm
- Cantidades requeridas

En caso de tratarse de perforaciones fuera de estándar, se recomienda adjuntar plano o croquis a solicitud.

## Anexo A2 – Cálculo del peso de la criba

Tipo de acero	Designación de la ASTM	Esfuerzo mínimo de fluencia $F_y$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo <sup>a</sup> de tensión $F_u$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Serie de perfiles aplicables											
				W	M	S	HP	C	MC	L	HSS		Tubo		
											Rect.	Redondo			
Al carbono	A36	36	58–80 <sup>b</sup>												
	A53 Gr. B	35	60												
	A500	Gr. B	42	58											
			46	58											
			46	62											
			50	62											
	A501	Gr. A	36	58											
		Gr. B	50	70											
	A529 <sup>f</sup>	Gr. 50	50	65–100											
		Gr. 55	55	70–100											
Baja aleación alta resistencia	A572	Gr. 42	42	60											
		Gr. 50	50	65 <sup>j</sup>											
		Gr. 55	55	55											
		Gr. 60 <sup>e</sup>	60	60											
		Gr. 65 <sup>c</sup>	65	65											
	A618 <sup>d</sup>	Gr. I & II	50 <sup>g</sup>	70 <sup>g</sup>											
		Gr. III	50	50											
	A913	50	50 <sup>h</sup>	60 <sup>h</sup>											
		60	60	75											
		65	65	80											
		70	70	90											
	A992	50	65 <sup>i</sup>												
	Baja aleación alta resistencia resistente a la corrosión	A242	42 <sup>j</sup>	63 <sup>j</sup>											
46 <sup>k</sup>			67 <sup>k</sup>												
50 <sup>l</sup>			70 <sup>l</sup>												
A588		50	70												
A847		50	70												

■ = Especificación recomendada para el material

□ = Otra especificación de material aplicable, cuya disponibilidad deberá confirmarse antes de la especificación

□ = La especificación de material no aplica

<sup>a</sup> Mínimo a menos que se muestre un rango.

<sup>b</sup> Para perfiles arriba de 426 lb/plg, sólo aplica el mínimo de 58 klb/plg<sup>2</sup>.

<sup>c</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1½ plg solamente. Para mejorar la soldabilidad, puede especificarse un máximo de carbono (de acuerdo con el Requisito suplementario S78 de la ASTM). Si se desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 90 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S79 de la ASTM).

<sup>d</sup> Si se desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 70 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S91 de la ASTM).

<sup>e</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 2 plg solamente.

<sup>f</sup> A618 de la ASTM también puede especificarse como resistente a la corrosión; véase A618 de la ASTM.

<sup>g</sup> El mínimo aplica a muros de un espesor nominal de ¾ plg y menor. Para espesores de muro mayores que ¾ plg,  $F_y = 46$  klb/plg<sup>2</sup> y  $F_u = 67$  klb/plg<sup>2</sup>.

<sup>h</sup> Si se desea, puede especificarse un esfuerzo máximo de fluencia de 65 klb/plg<sup>2</sup> y una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la de tensión de 0.85 (de acuerdo con el Requisito suplementario S75 de la ASTM).

<sup>i</sup> Se incluyen como obligatorias en A992 de la ASTM una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la de tensión de 0.85 y una fórmula equivalente para el carbono.

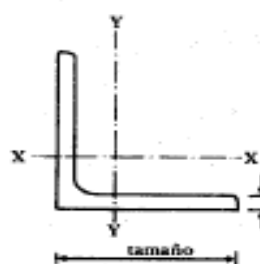
<sup>j</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 2 plg solamente.

<sup>k</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 1½ plg y menor que o igual a 2 plg solamente.

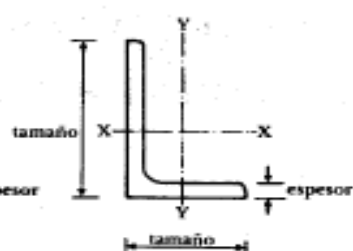
<sup>l</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1½ plg solamente.

Manual de la AISC, Tabla 2-4, p.2-48, 14ava. Ed., 2011

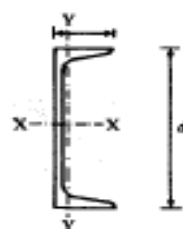
# NOMBRES Y SÍMBOLOS DE PERFILES



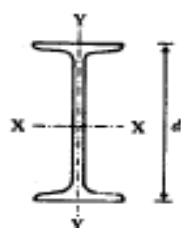
ÁNGULO DE LADOS IGUALES (LI)



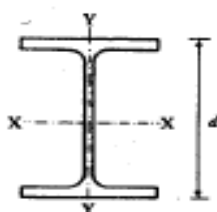
ÁNGULO DE LADOS DESIGUALES (LD)



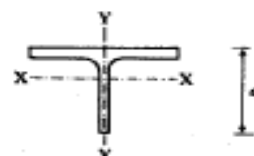
PERFIL C ESTÁNDAR (CE)



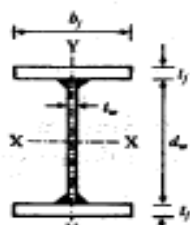
PERFIL I ESTÁNDAR (IE)



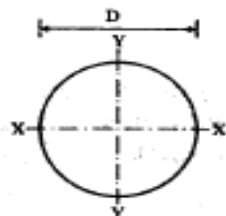
PERFIL I RECTANGULAR (IR)



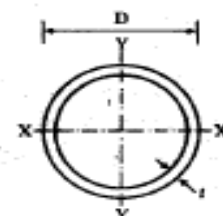
PERFIL T RECTANGULAR (TR)



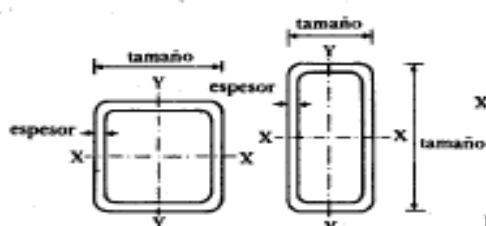
PERFIL I SOLDADO (IS)



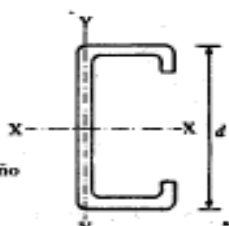
REDONDO SÓLIDO LISO (OS)



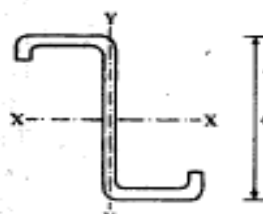
TUBO CIRCULAR (OC)




TUBO CUADRADO O RECTANGULAR (OR)

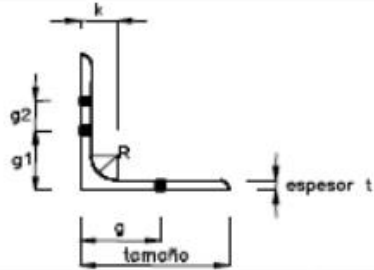


PERFIL C FORMADO EN FRÍO (CF)



PERFIL Z FORMADO EN FRÍO (ZF)





## LI

### ANGULO DE LADOS IGUALES

### DIMENSIONES

Designación tamaño y espesor <i>t</i>		Peso	<i>k</i>	<i>R</i>	Gramil			Sujetadores		
					<i>g</i>	<i>g</i> <sub>1</sub>	<i>g</i> <sub>2</sub>	Diámetro máximo	Espac. recom.	
mm x mm*	in. x in.	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.	mm
19 x 3	3/4 x 1/8	0.88	11.1	3.2	11	-	-	6.3	1/4	20
x 5	x 3/16	1.25	12.7	3.2	11	-	-	6.3	1/4	20
22 x 3	7/8 x 1/8	1.04	11.1	3.2	12	-	-	6.3	1/4	20
x 5	x 3/16	1.49	12.7	3.2	12	-	-	6.3	1/4	20
25 x 3	1 x 1/8	1.19	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30
x 5	x 3/16	1.73	12.7	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30
x 6	x 1/4	2.22	14.3	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30
32 x 3	1 1/4 x 1/8	1.50	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40
x 5	x 3/16	2.20	12.7	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40
x 6	x 1/4	2.86	14.3	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40
38 x 3	1 1/2 x 1/8	1.83	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40
x 5	x 3/16	2.68	12.7	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40
x 6	x 1/4	3.48	14.3	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40
x 8	x 5/16	4.26	15.9	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40
x 10	x 3/8	4.99	17.5	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40
44 x 3	1 3/4 x 1/8	2.14	11.1	6.3	25	-	-	15.9	5/8	50
x 5	x 3/16	3.15	12.7	6.3	25	-	-	15.9	5/8	50
x 6	x 1/4	4.12	14.3	6.3	25	-	-	15.9	5/8	50
x 8	x 5/16	5.04	15.9	6.3	25	-	-	15.9	5/8	50
51 x 3	2 x 1/8	2.46	11.1	6.3	30	-	-	15.9	5/8	50
x 5	x 3/16	3.63	12.7	6.3	30	-	-	15.9	5/8	50
x 6	x 1/4	4.75	14.3	6.3	30	-	-	15.9	5/8	50
x 8	x 5/16	5.83	15.9	6.3	30	-	-	15.9	5/8	50
x 10	x 3/8	6.99	17.5	6.3	30	-	-	15.9	5/8	50
64 x 4	2 1/2 x 5/32	3.83	11.1	6.3	35	-	-	19	3/4	60
x 5	x 3/16	4.61	12.7	6.3	35	-	-	19	3/4	60
x 6	x 1/4	6.10	14.3	6.3	35	-	-	19	3/4	60
x 8	x 5/16	7.44	15.9	6.3	35	-	-	19	3/4	60
x 10	x 3/8	8.78	17.5	6.3	35	-	-	19	3/4	60

Notas:

Los perfiles sombreados no son de fabricación común, por lo que se recomienda consultar con el proveedor su disponibilidad.

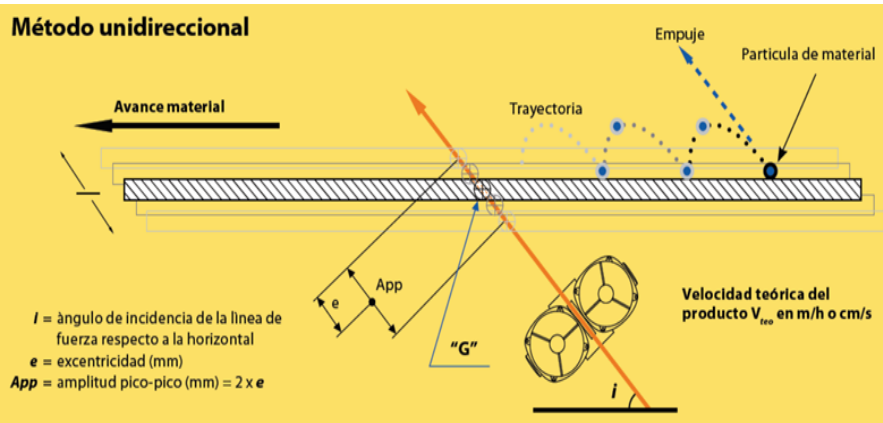
Espac. recom. Es espaciado recomendado.

\* Redondeado al milímetro

ICA Fuor Daniel S. de R. L. de C.V.

## Anexo A3 – Cálculo de la velocidad de avance del material

### Método unidireccional



**Italtvibras SpA**

I-41049 Sassuolo MO - Via Puglia, 2/4

Tel. +39 0536 804634 - Fax +39 0536 804720

italvibras@italvibras.it - www.italvibras.it

**"i"**

de 6° a 12°

de 25° a 30°

de 31° a 45°

de 45° a 80°

### Procesos/utilizaciones

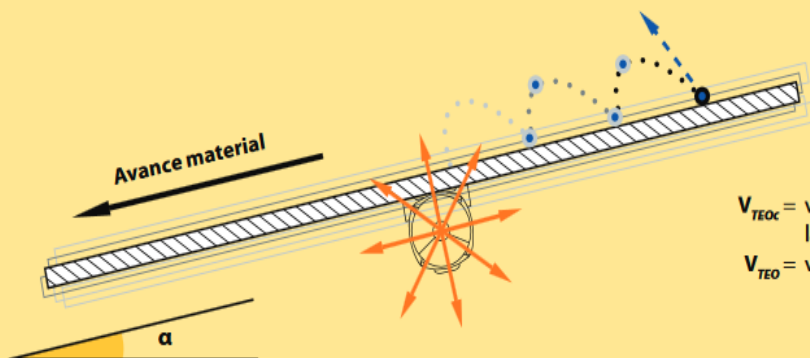
para especiales separadores (por ej. Industria de la molienda);

para transporte, extracción, alimentación, orientación y clasificación;

para cribado, calibración y separación;

para lechos fluidos.

### Método rotacional



$$V_{TEOC} = \frac{V_{teo} + V_i}{Fa}$$

$V_{TEOC}$  = velocidad teórica correcta para tener en cuenta la inclinación de la máquina

$V_{TEO}$  = velocidad teórica del producto

$\alpha$  = ángulo de inclinación de la máquina respecto a la horizontal

$i$  = ángulo de incidencia =  $90 - \alpha$

$V_i$  = velocidad de incidencia (cm/s o m/h)

$Fa$  = factor correctivo para el cálculo de la velocidad teórica correcta  $V_{TEOC}$

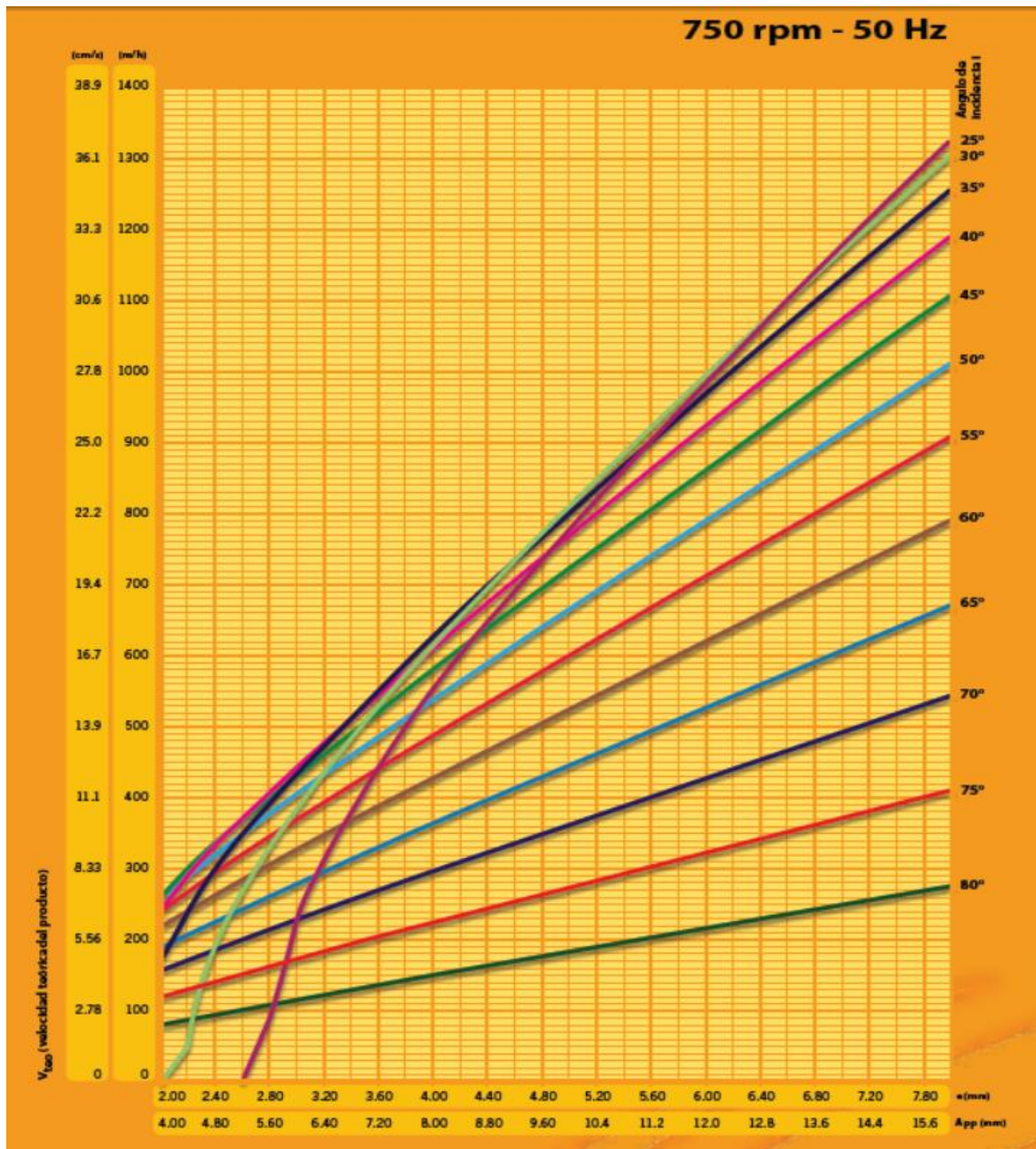
$e$  = excentricidad (mm)

Obtenibles en función de  $\alpha$  (ver tabla adjunta)

Valor establecido	Valores obtenido en función de $\alpha$		
$\alpha$	$i$	$Fa$	$V_i$
10°	80°	0,81	80
15°	75°	0,71	75
20°	70°	0,60	70
25°	65°	0,48	65
35°	55°	0,25	55



Tipo de proceso	Peso específico	Tamaño	Metodo de vibración		Vibraciones							Acelerac. en la línea de fuerza a
			Rotac.	Unidrec.	600 (50Hz)	750 (50Hz)	1000 (50Hz)	1500 (50Hz)	3000 (50Hz)	6000 (50Hz)	9000 (50Hz)	
					720 (60Hz)	900 (60Hz)	1200 (60Hz)	1800 (60Hz)	3600 (60Hz)	-	-	nxg
Transporte Separación Cribado Orientación Clasificación Calibración Extracción Alimentación	A	F		●				●	●			4÷9
		M		●			●	●				4÷6
		G		●		●	●					3.5÷4.5
	B	F		●				●				5÷7
		M		●			●					4÷5.5
		G		●		●	●					3.5÷5.5
Limpieza filtros	A/B	F	●					●	●			2÷3
Aflojamiento y vaciado del material en silos, tolvas, etc.	A/B	F	●						●			Nota (1)
	A/B	M	●						●			
	A/B	G	●					●	●			
Lechos fluidos				●		●	●					2÷4
Separadores (ej en la molienda)				●	●	●						2÷4
Fondos vibrantes		F	●						●			0.7÷2
		M	●					●	●			
		G	●					●				
		F	●					●				
		M	●					●				
		G	●					●				
Compactación		F	●	●				●	●	●		2÷6
		M	●	●				●	●	●		
		G	●	●				●	●	●		
Compactación hormigón	-	-	●	●					●	●	●	1÷2
Bancos para test (envejecimiento acelerado)	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0.5÷24
Leyenda:    Peso específico    A = elevado    B = reducido Tamaño            F = fino        G = grueso        M = mediano												
Nota (1): Fuerza centrífuga del motovibrador = 0.1 ÷ 0.25 para pesar el material contenido en la parte cónica del aparato vibrador.												



Catálogo Italtvibras:

[www.italvibras.it/user/upload/inc\\_scelta\\_motovibradore/ITV\\_scelta\\_IT.pdf](http://www.italvibras.it/user/upload/inc_scelta_motovibradore/ITV_scelta_IT.pdf)

## Anexo A4 – Cálculo de las poleas de transmisión – banda

**TABLA 7-1** Factores de servicio para bandas V

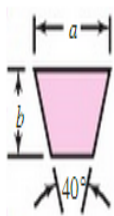
Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

<sup>a</sup>Síncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

<sup>b</sup>Monofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

**Tabla 17-9**

Secciones de bandas en V estándar



Sección de la banda	Ancho <i>a</i> , pulg	Espesor <i>b</i> , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

**Tabla 17-10**

Circunferencias interiores de bandas en V estándar

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

**Tabla 17-12**

Potencias nominales de bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
C	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
D	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2

**Tabla 17-13**

Factor de corrección  
del ángulo de contacto  
 $K_1$  para transmisiones  
de banda plana VV\* y  
en V

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	VV	$K_1$ Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

\*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de  $\theta$  es  
 $K_1 = 0.143\,543 + 0.007\,46\,8\,\theta - 0.000\,015\,052\,\theta^2$   
 en el intervalo de  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

**Tabla 17-14**

Factor de corrección de  
longitud de banda  $K_2$ \*

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

\*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.



**Tabla 17-15**

Factores de servicio sugeridos  $K_s$  para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

E. Shigley. Diseño en Ingeniería Mecánica. 9na edición (1998 Barcelona España).

## CATÁLOGO DE CORREAS DE TRANSMISIÓN INDUSTRIAL



TRANSMISIONES  
ELEVACIONES  
INDUSTRIALES

**Hydro-oil®**

tel: 4754-8200 / 4753-2226  
FAB. Y ADM.: Av. de los constituyentes 2006  
1650 - VILLA MAIPU - SAN MARTIN

Bs. As. - ARGENTINA -  
A 8 cuadras de general paz  
elevafacil@yahoo.com.ar

TIPO	Mt [Kgm.]	r.p.m. (max.)	PESO	DIMENSIONES										
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
Hy-260-4	4	2750	1.2	67	34	25	16	47	56	5 x 2.2	19	6 x M5	53	10
Hy-260-6,3	6.5	2550	1.6	80	38	30	20	55	68	6 x 2.7	24	6 x M5	62	11
Hy-260-10	10	2400	2.3	95	42	40	25	68	82	8 x 3.2	31	6 x M5	73	12
Hy-260-16	16	2200	3.6	105	42	45	28	75	90	8 x 3.2	32	6 x M6	74	12
Hy-260-25	25	2000	4.9	125	52	55	35	90	107	10 x 3.7	33	6 x M6	85	12
Hy-260-40	40	1725	6.6	135	52	60	40	95	115	12 x 3.7	37	6 x M8	89	14
Hy-260-63	63	1450	8	150	62	70	45	110	130	14 x 4.2	42	6 x M10	102	16
Hy-260-100	100	1200	14.5	180	74	85	55	130	155	16 x 5.2	50	6 x M10	124	22
Hy-260-160	160	1000	21	210	76	100	70	150	180	20 x 6.3	54	6 x M12	130	26
Hy-260-250	250	850	33	245	85	120	80	180	214	24 x 7.3	65	6 x M12	150	28
Hy-260-400	400	720	49	280	100	140	95	210	245	28 x 8.3	71	8 x M16	171	29
Hy-260-630	630	650	81	320	115	160	110	240	280	32 x 9.3	90	8 x M20	205	33
Hy-260-1000	1000	560	127	370	140	180	130	280	325	32 x 9.3	94	8 x M20	234	38
Hy-260-1600	1600	480	182	410	160	200	140	310	360	35 x 10	108	8 x M24	268	38
Hy-260-2500	2500	400	272	460	180	220	160	340	400	40 x 11	109	8 x M30	289	45

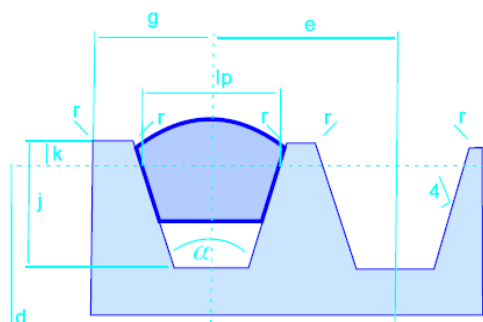
TABLA N° 6

Tabla N° 6		Longitud primitiva nominal				
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
78	-	2013	2024	2042	-	-
79	-	2033	2043	2068	-	-
80	-	2065	2075	2094	-	-
81	-	2093	2103	2119	-	-
82	-	2116	2126	2145	-	-
83	-	2133	2151	2170	-	-
84	-	2167	2177	2196	-	-
85	-	2193	2203	2221	-	-
86	-	2220	2230	2247	-	-
87	-	2245	2258	2273	-	-
88	-	2273	2283	2299	2313	-
89	-	2299	2304	2326	2339	-
90	-	2319	2329	2348	2366	-
91	-	2344	2355	2374	2392	-
92	-	2370	2380	2400	2418	-
93	-	2393	2403	2422	2445	-
94	-	2421	2431	2448	2471	-
95	-	2446	2456	2475	2497	-
96	-	2471	2481	2500	2523	-



## DIMENSIONES DE LAS POLEAS

En la tabla siguiente se dan los datos relevantes del perfil y de la dimensión de la garganta de la polea con la notación siguiente:



- lp Ancho primitivo.
- k Altura mínima de la garganta sobre la línea primitiva.
- j Profundidad mínima de la garganta sobre la línea primitiva.
- $\alpha$  Angulo de la garganta.
- d Diámetro primitivo.
- e Paso entre ejes de gargantas.
- g Distancia entre el eje de la garganta y el bore de la polea.
- r Radio de acabado de arista.

Sección de Correa	lp (mm)	k (mm)	j (mm)	e (mm)	g (mm)	$\Delta \alpha$
Z	8.5	2.5	7	12 $\pm$ 0.3	8 $\pm$ 1	$\pm$ 1°
A	11	3.3	8.7	16 $\pm$ 0.3	9.5 $\pm$ 0	$\pm$ 1°
B	14	4.2	10.8	19 $\pm$ 0.4	12.5 $\pm$ 3.8	$\pm$ 1°
C	19	5.7	14.3	25.5 $\pm$ 0.5	17.5 $\pm$ 3.8	$\pm$ 1/2°
D	27	8.1	19.9	36.5 $\pm$ 0.6	22.2 $\pm$ 6.35	$\pm$ 1/2°
E	32	9.6	23.4	44.5 $\pm$ 0.7	28.5 $\pm$ 6.35	$\pm$ 1/2°

<https://mega.co.nz/>



## ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

**1. Descripción:** es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

**2. Normas involucradas:** ASTM A108

**3. Propiedades mecánicas:** Dureza 163 HB (84 HRb)  
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)  
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)  
Elongación 16% (en 50 mm)  
Reducción de área (40%)  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)  
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.43 – 0.50 % C  
0.60 – 0.90 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

**6. Usos:** los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

**7. Tratamientos térmicos:** se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

TEL: (506) 591-7514  
FAX: (506) 551-4169  
E-MAIL: [mercadeo@sumiteccr.com](mailto:mercadeo@sumiteccr.com)

[www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com)



## Anexo A6 – Cálculo de las chumaceiras – catálogo FAG

### Dimensionado

Valores de orientación para  $f_L$  y valores usuales de cálculo

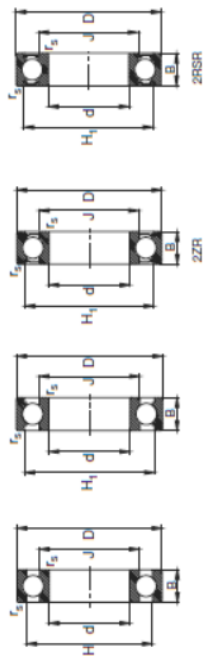
Lugar de aplicación	Valor $f_L$ que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
<b>Máquinas para trabajar la madera</b>		
Huillos de tupa y ejes portacuchillas	3 ... 4	Fuerzas de corte y de accionamiento; velocidad nominal
Resaca principal de sierras	3,5 ... 4	Fuerzas máximas; velocidad nominal
Podamiento de la biela de sierras	2,5 ... 3	Fuerzas máximas; velocidad nominal
Sierras circulares	2 ... 3	Fuerza de corte y accionamiento; velocidad nominal
<b>Transmisiones de maquinaria en general</b>		
Transmisiones universales	2 ... 3	Potencia nominal; velocidad nominal
Grandes transmisiones estacionarias	3 ... 4,5	Potencia nominal; velocidad nominal
<b>Manufacturación</b>		
Cintas transportadoras para elevación a cielo abierto	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Rodillos para extracción a cielo abierto	4,5 ... 5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Rodillos para cintas transportadoras en general	2,5 ... 3,5	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Excavadoras de rotapalas, accionamiento	2,5 ... 3,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Excavadoras de rotapalas	4,5 ... 6	Resistencia a la excavación; peso; velocidad en servicio
Excavadoras de rotapalas, accionamiento de la rueda	4,5 ... 5,5	Potencia nominal; velocidad nominal
Poleas de accionamiento	3 ... 4	Peso de la cinta y carga; velocidad de servicio
Poleas de cable	2,5 ... 3,5	Carga en cable; velocidad nominal
<b>Bombas, ventiladores, compresores</b>		
Ventiladores, sopletes	3,5 ... 4,5	Empuje radial o axial; peso del rotor; masa desequilibrada
Grandes sopletes	4 ... 5	Masa desequilibrada; peso del rotor; $f_L$ ; velocidad nominal
Bombas de émbolo	3,5 ... 4,5	$f_L = 0,5$ para sopletes de aire fresco
Bombas hidráulicas de émbolo, axiales y radiales	3 ... 4,5	Empuje nominal; velocidad nominal
Transmisiones de bombas	1 ... 2,5	Empuje axial; peso del rotor; velocidad nominal
Compresores	2 ... 3,5	Presión nominal; velocidad nominal
<b>Centrifugadoras, batidoras</b>		
Centrifugadoras	2,5 ... 3	Presión en servicio; velocidad nominal
Grandes batidoras	3,5 ... 4	Presión en servicio; fuerza máximas; velocidad nominal
<b>Machacadoras, molinos, cribas, etc.</b>		
Machacadoras de mandíbulas	3 ... 3,5	Peso; masa desequilibrada; velocidad nominal
Trituradoras, machacadoras de rodillos	3 ... 3,5	Peso; fuerza de accionamiento; radio de excentricidad; velocidad nominal
Molinos de mandíbulas, de impacto y de rodillos	4 ... 5	Fuerza de triturado; velocidad nominal
Molinos de tubos	4 ... 5	Peso del rotor; $f_L$ ; velocidad nominal; $f_L = 2$ a 2,5
Molinos vibratorios	2 ... 3	Peso total; $f_L$ ; velocidad nominal; $f_L = 1,5$ a 2,5
Molinos de pulverizado	4 ... 5	Fuerza centrífuga; $f_L$ ; velocidad nominal; $f_L = 1,2$ a 1,3
Cribas vibratorias	2,5 ... 3	Esfuerzo de compresión; $f_L$ ; número de revoluciones nominal
Prensas para briquetas	3,5 ... 4	$F = 1,5$ a 3
Rodillos para hornos gratorios	4 ... 5	Esfuerzo de presión; número de revoluciones nominal
		Carga de los rodillos; $f_L$ ; número de revoluciones nominal
		Nota: Para las máquinas de este tipo, el cálculo de las chumaceiras debe tomarse en cuenta el peso propio muy elevado que debe comprarse la capacidad de carga estática

### Dimensionado

Valores de orientación para  $f_L$  y valores usuales de cálculo

Lugar de aplicación	Valor $f_L$ que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
<b>Máquinas de papel e imprenta</b>		
Máquinas de papel, parte húmeda	5 ... 5,5	Tensión del lamiz; tracción de los folios; peso de los cilindros; esfuerzos de compresión; velocidad nominal
Máquinas de papel, parte de secado	5,5 ... 6,5	
Máquinas de papel, refino	4 ... 5	
Máquinas de papel, laminado	4 ... 5	
Máquinas de imprenta	4 ... 4,5	Peso de los cilindros; esfuerzos de compresión; velocidad nominal
<b>Maquinaria textil</b>		
Hiladoras, huallos de hilar	3,5 ... 4,5	Fuerzas centrífugas; velocidad nominal
Telares, tejedoras y calcetedoras	3 ... 4	Fuerzas de accionamiento; fuerzas máximas; fuerzas centrífugas; número de revoluciones nominal
<b>Máquinas para la fabricación de plásticos</b>		
Prensas de extrusión por tornillo sin fin	3 ... 3,5	Presión máxima de prensado; velocidad en servicio; en máquinas para prensado termoplástico debe comprarse también la capacidad de carga estática
Calandras para goma y plásticos	3,5 ... 4,5	Presión media de laminado; velocidad media; (temperatura)
<b>Transmisiones por correa y cable</b>		
Transmisión por cadena		Fuerza tangencial; $f_L$ (debido a la pre carga y a los golpes)
Correas trapezoidales	$f_L = 1,5$	
Correas de fibra	$f_L = 2$ ... 2,5	
Correas de cuero	$f_L = 2$ ... 3	
Bandas de acero	$f_L = 2,5$ ... 3,5	
Cumbrer-cadena	$f_L = 3$ ... 4	
		$f_L = 1,5$ ... 2

# Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida limitada, a  $C_p/P_{adm}$ , ver Pág. 41.

Eje	Dimensiones				Peso		Capacidad de carga		Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares			
	d	D	B	r <sub>min</sub>	H	H <sub>1</sub>	J	C <sub>dyn</sub>	stat. C <sub>0</sub>		Redamiento	D <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	r <sub>max</sub>	
	mm				mm	mm	mm	kN		mm <sup>-1</sup>	FAG	mm			
40	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	29	18	6208	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,371	29	18	6208 W 203B	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,382	29	18	6208 ZFR	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,382	29	18	6208 ZFR W 203B	47	73	1	
	40	80	18	1,1	67,5	70,4	53	0,384	29	18	6208 ZFR W 203B	47	73	1	
	40	80	23	1,1	67,5	70,4	53	0,477	29	18	6208 ZFR	47	73	1	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,64	42,5	25	6208 ZFR	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,641	42,5	25	6208 W 203B	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	42,5	25	6208 ZFR	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,654	42,5	25	6208 ZFR	49	81	1,5	
	40	90	23	1,5	74,6	76,5	55,5	0,903	42,5	25	6208 ZFR	49	81	1,5	
	40	110	27	2	91,6	95,1	68	1,12	62	38	6408	53	97	2	
45	45	75	10	0,8	65,6	68	55	0,187	15,8	14,2	16009	48,2	71,8	0,8	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,197	20	14,3	16009	48,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,214	20	14,3	16009 W 203B	48,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,253	20	14,3	16009 ZFR	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	68	54,2	0,257	20	14,3	16009 ZFR	49,6	70,4	1	
	45	75	16	1	65,5	67,9	54,2	0,244	20	14,3	16009 ZFR W 203B	49,6	70,4	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,429	31	20,4	6209	52	76	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,429	31	20,4	6209 W 203B	52	76	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	31	20,4	6209 ZFR	52	76	1	
	45	85	19	1,1	71,8	74,6	57,2	0,441	31	20,4	6209 ZFR W 203B	52	76	1	
	45	85	23	1,1	71,8	74,6	57,2	0,522	31	20,4	6209 ZFR	52	76	1	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,947	53	31,5	6209	54	91	1,5	
50	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,959	53	31,5	6209 W 203B	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,969	53	31,5	6209 ZFR	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,967	53	31,5	6209 ZFR	54	91	1,5	
	45	100	25	1,5	83,3	85,6	62	0,979	53	31,5	6209 ZFR W 203B	54	91	1,5	
	45	100	36	1,5	83,3	85,6	62	1,2	53	31,5	6209 ZFR	54	91	1,5	
	45	120	29	2	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	50	50	80	10	0,6	70,5	72,8	60,1	0,181	16	13,2	16010	53,2	76,8	0,6
		50	80	16	1	70,1	72,8	59,8	0,179	20,8	15,6	16010	54,6	75,4	1
		50	80	16	1	70,1	72,8	59,8	0,26	20,8	15,6	16010 W 203B	54,6	75,4	1
		50	80	16	1	70,1	72,8	59,8	0,282	20,8	15,6	16010 ZFR	54,6	75,4	1
		50	80	16	1	70,1	72,8	59,8	0,283	20,8	15,6	16010 ZFR	54,6	75,4	1
		50	80	16	1	70,1	72,9	59,8	0,271	20,8	15,6	16010 ZFR W 203B	54,6	75,4	1
55		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
		55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	
	55	110	30	2,5	100,9	104,3	75,2	1,37	76,5	47,5	6409	58	107	2	

Bajo demanda también son suministrables otras especificaciones: no duden en contactarnos.

## Anexo A7 – Cálculo del motor eléctrico



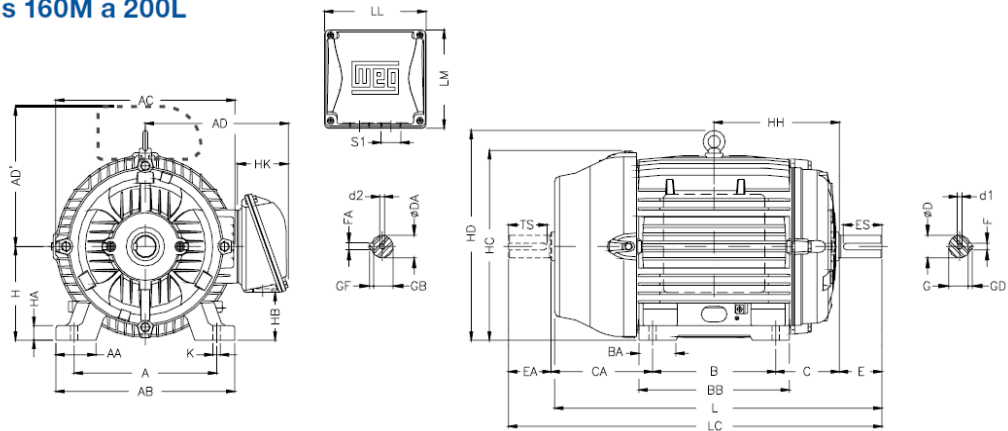
### W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

<http://www.weg.net>

Frecuencia	Voltaje nominal	Polos	Potencia HP (cv)	Momento de inercia	Peso	Factor de Servicio	Rotación nominal	Corriente nominal	Altitud	Protección
50 Hz	220/380V	6	15.00	0.21112 kgm <sup>2</sup>	143 kg	1.00	975 rpm	39.1/22.6 A	1000 m	IPW55
50 Hz	220/380/440V	6	15.00	0.21112 kgm <sup>2</sup>	143 kg	1.00	975 rpm	39.1/22.6/19.5 A	1000 m	IPW55

## Datos mecánicos

### Carcasas 160M a 200L



[www.weg.net](http://www.weg.net)

Carcasa	A	AA	AB	AC	AD	AD' (**)	B	BA	BB	BD	C	CA	Eje											
													D	DA	E	EA	ES	F	FA	G	GB	GD	GF	TS
63	100	25.5	116	125	122	122	80		95		40	78	11j6	9j6	23	20	14	4	3	8.5	7.2	4	3	12
71	112	28.5	132	141	130	130	90		113.5		45	88	14j6	11j6	30	23	18	5	4	11	8.5	5	4	14
80	125	30.5	149	159	139	139	100		125.5		50	93	19j6	14j6	40	30	28	6	5	15.5	11	6		18
L80											56	104	24j6	16j6	50	40	36	20		13	7	5		28
90S	140	36.5	164	179	157	157	125			156									63				118	
L90S									190		40.5	220	222	192	192	140		177		70	128	24j6		89
90L	216	51	248	271	218	218	178			225									108				174	
L90L									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
L100L	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
L112M									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
132S	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
132M									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
132M/L	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
160M									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
160L	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
180M									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
180L	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
200M									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
200L	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254		12	12	37		37
	279	78	350	360	279	279	241	70		294									14				42.5	
									318		82	385	402	317	317	267	82	332		16	49	10		
	254	64	308	329	264	264	210	63		254									12				12	
									279		78	350	360	279	279	241	70	294		14	42.5	9		80
	318	82	385	402	317	317	267	82		332									16				49	
									254		64	308	329	264	264	210	63	254						

Carcasa	H	HA	HB	HC	HD	HF	HG	HH	HK	K	L	LC	LL	LM	S1	d1	d2	Rodamientos	
																		D.E.	N.D.E.
63	63	7	25.5	129		68.5		80		7	216	241	108	98	2xM20x1.5	M4	M3	6201 - ZZ	
71	71		33	145		76		90			248	276				M5		6202 - ZZ	
80	80	8	43.5	163		87		100	59	10	276	313	115	104	2xM25x1.5	M6	M4	6204 - ZZ	6203 - ZZ
L80											325	362							
90S	90	9	45	182		90		106	67	12	304	350	140	133	2xM32x1.5	M8	M6	6205 - ZZ	6204 - ZZ
L90S											335	381							
90L											329	375							
L90L	100	10	61.5	205	244	106.4		118.5	79	14.5	360	406	198	188	2xM40x1.5				
100L											376	431							
L100L											420	475							
112M	112		54.5	235	280	112		133	100	118	393	448	228	217	2xM50x1.5	M10	M8	6206 - ZZ	6205 - ZZ
L112M											423	478						6207 - ZZ	6206 - ZZ
132S	132	20	75	266	319	132		159	100	118	452	519	198	188	2xM40x1.5	M12	M10	6308 - ZZ	6207 - ZZ
132M											490	557							
132M/L	160	22	79	327	374	168		191	118	18.5	515	582	228	217	2xM40x1.5				
160M											598	712							
160L	180	28	92	363	413	180		235	118	18.5	642	756	228	217	2xM40x1.5	M16	M16	6309 - C3	6209 - Z-C3
180M											664	782						6311 - C3	6211- Z-C3
180L	200	30	119	405	464	218		260.5	118	18.5	702	820	228	217	2xM40x1.5				
200M											729	842						6312 C3	6212 Z-C3
200L											767	880							

## TABLA DE CONDUCTORES

CORRIENTE NOMINAL (*) Amperios	SECCIÓN TRANSVERSAL			
	ALAMBRE DE COBRE		ALAMBRE DE ALUMINIO O DE ALUMINIO REVESTIDO DE COBRE	
	mm2	AWG o Kcmil	mm2	AWG o Kc
15	2.08	14	3.30	12
20	3.30	12	5.25	10
(30)	5.25	(10)	8.36	8
40	5.25	10	8.36	8
60	5.25	10	8.36	8
100	8.36	8	13.29	6
200	13.29	6	21.14	4
300	21.14	4	33.62	2
400	26.66	3	42.20	1
500	33.62	2	53.50	1/0
600	42.20	1	67.44	2/0
800	53.50	1/0	85.02	3/0
1000	67.44	2/0	107.21	4/0

Fuente: Tabla de conductores, Gismart Srl.

Extracto de la Norma Boliviana NB 777

Páginas 195, 196 y 197



## **20. INSTALACIONES CON MOTORES DE USO INDUSTRIAL**

### **20.1. CONDICIONES GENERALES DE INSTALACIÓN**

Los motores de más de 3 HP no deben alimentarse con conductores inferiores al Nº 12 AWG de cobre (4 mm<sup>2</sup>).

La caída de tensión en toda la longitud del circuito no deberá exceder el 3% de la tensión nominal de alimentación (véase 5.2.2 de esta norma).

Los motores estarán contruidos o se instalarán de manera que la aproximación a sus partes en movimiento, no puedan ser causa de accidente.

Los motores deben instalarse en condiciones que permitan una adecuada ventilación y un fácil mantenimiento.

Los motores no estarán en contacto con materias fácilmente combustibles y se situarán de manera que no puedan provocar la combustión de cualquiera de estos combustibles.

En general, la distancia mínima entre un motor y materias combustibles será:

- 0.50 m si la potencia nominal del motor es inferior o igual a 1 kW.
- 1.0 m si la potencia nominal del motor es superior a 1 kW.

En particular, si se trata de un motor con carcasa completamente cerrada o encerrado en un armario de materia incombustible, las distancias antes indicadas podrán ser menores.

El armario no perjudicará la refrigeración del motor y si es de un material, buen conductor del calor, se situará a 1 cm, como mínimo, de las partes combustibles.

Los motores abiertos que tengan anillos rozantes no podrán instalarse en lugares en que existan materiales combustibles.

En ambientes en que existan polvos o fibras en suspensión y que estos puedan depositarse sobre los motores en cantidades que impidan su normal ventilación o enfriamiento, deberán utilizarse motores cerrados, que no se sobrecalienten en dichas condiciones. Para casos extremos se deberá instalar un sistema cerrado de ventilación para el o los motores o se les instalara en un recinto separado, a prueba de polvo.

### **20.2. CONDUCTORES DE CONEXIÓN**

Las secciones mínimas que deben tener los conductores de conexión de los motores, con objeto de que no se produzca en ellos un calentamiento excesivo, serán los siguientes:

#### **20.2.1. Motores solos**

Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la intensidad a plena carga del motor en cuestión. En los motores de rotor devanado, los conductores que conectan el rotor con el dispositivo de arranque -conductores secundarios- deberán dimensionarse para el 125 % de la intensidad a plena carga del motor. Si el motor es para servicio intermitente, los conductores secundarios pueden ser de menor sección de acuerdo a la tabla 42:

Los tiempos indicados en la tabla 42, son los periodos en los cuales los motores por su diseño alcanzan su temperatura nominal de trabajo y pueden operar; cumplido ese periodo necesitan un intervalo de refrigeración.

#### **20.2.2. Varios motores**

Los conductores de conexión que alimentan a varios motores, deberán estar dimensionados para una intensidad no menor a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.

**Tabla 42 Factores de dimensionamiento de alimentación de motores de régimen no permanente**

Tipo de régimen	Periodo de funcionamiento			
	5 minutos	15 minutos	30 – 60 minutos	Mas de 60 minutos
Breve duración (operación de válvulas o descenso de rodillos y otros similares)	1.1	1.2	1.5	
Intermitentes (bombas, ascensores, montacargas, puentes levadizos, máquinas herramientas, tornamesas, etc.)	0.85	0.85	0.9	1.4
Periódicos (rodillos, laminadores, etc.)	0.85	0.9	0.95	1.4
Variables	1.1	1.2	1.5	2

### 20.2.3. Carga combinada

Los conductores de conexión que alimentan a motores y otros receptores, deberán ser previstos para la intensidad total requerida por los motores, calculada como antes se ha indicado.

En el tablero origen del circuito de alimentación, la línea deberá tener protección contra cortocircuitos, propia o compartida con los motores que dependen de esa línea. Los motores deberán contar con protección dedicada y específica contra las sobrecargas.

### 20.3. PROTECCIÓN CONTRA SOBREENTENSIDADES

Todo motor deberá llevar incorporado un dispositivo para abrir el circuito cuando circule una corriente mayor del 125 % de la corriente nominal.

Para las protecciones de motores se deberá utilizar una adecuada combinación de elementos, en forma separada o integrada, que asegure la maniobra y la protección contra sobrecargas, cortocircuito y faltas de fase.

Los motores de potencia nominal superior a 0.75 kW y todos los situados en locales con riesgo de incendio o explosión, estarán protegidos contra cortocircuitos y contra sobrecargas en todas sus fases, debiendo esta última protección, ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la falta de tensión de una de sus fases.

En el caso de motores con arranque estrella-triángulo, la protección asegurará a los circuitos, tanto para la conexión de estrella como para la de triángulo.

En el caso de motores polifásicos deberá utilizarse un dispositivo sensible o que detecte la falta de una fase y que interrumpa el circuito de alimentación frente a la ausencia de ésta.

Las características de los dispositivos de protección estarán de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para éstos.

Los fusibles y los interruptores automáticos no son aplicables a la protección contra sobrecargas de motores.

Los motores portátiles, siempre que su potencia sea inferior a 1 kW, podrán no estar protegidos contra sobrecargas.

Cuando la instalación consista en un único motor podrá usarse como interruptor de desconexión, el del tablero de distribución, siempre que esté ubicado con vista al motor.

## **20.4. PROTECCIÓN CONTRA LA FALTA DE TENSIÓN**

Los motores estarán protegidos contra la falta de tensión, por un dispositivo de corte automático de la alimentación, para evitar accidentes cuando arranque espontáneamente el motor, como consecuencia de un restablecimiento de la tensión.

Dicho dispositivo puede formar parte del de protección contra las sobrecargas o del de arranque y puede protegerse más de un motor, si se da una de las circunstancias siguientes:

- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y la suma de potencias absorbidas no es superior a 10 kW.
- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y cada uno de ellos queda automáticamente en el estado inicial de arranque, después de una falta de tensión.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones pre-establecidas, no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión por el sistema de corte de la alimentación, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo. Si el motor tuviera que llevar dispositivos limitadores de potencia absorbida en el arranque, será obligatorio, para quedar incluidos en la anterior excepción, que los dispositivos de arranque vuelvan automáticamente a la posición inicial al originarse una falta de tensión y parada del motor.

## **20.5. ARRANQUE DIRECTO**

No se admitirá arranque directo, a plena tensión, en motores asíncronos en jaula de ardilla de potencia mayor a 5 HP en 220 V o en 380 V, a fin de no perturbar el funcionamiento de sus redes de distribución.

Para la elección adecuada del método de arranque, se deberá estudiar en todos los casos, las perturbaciones que se puedan producir en la instalación.

Para una instalación existente el sistema de arranque a elegir será aquel que asegure que la caída de tensión en la red no alcance valores inadecuados para otros equipos conectados en el circuito. Cuando se trate de una instalación nueva, esta será proyectada de manera de disminuir las perturbaciones eléctricas en sí misma y en el resto de la instalación por medio de una adecuada elección de la sección del conductor y los métodos de protección y arranque del motor.

### **20.5.1. Circuito de control de motores**

Se entenderá por circuito de control de motores aquel circuito que lleva señales eléctricas de mando para el motor o conjunto de motores pero a través del cual no circula la corriente de alimentación. Los conductores y elementos del circuito de control que estén contenidos dentro de la caja del equipo, deberán protegerse con protecciones de cortocircuito cuya capacidad se fijara de acuerdo a la capacidad de transporte de corriente de los conductores o la potencia de consumo de dichos elementos.

No obstante se podrá prescindir de la protección separada del circuito de control, donde la capacidad nominal o la regulación de las protecciones del motor no excedan en dos veces la capacidad de transporte de corriente de los conductores de control o en donde una apertura del circuito de control pueda crear riesgos superiores como en el caso de una bomba de incendio u otros similares.

No será exigencia de los circuitos de control que estén conectados a tierra. Sin embargo, donde esta conexión sea necesaria, el circuito se dispondrá de tal manera que la conexión accidental a tierra no haga partir el o los motores controlados.

Los circuitos de control deben contar con un interruptor que los separe de su fuente de alimentación. En donde se usa, además de su alimentación principal, una fuente independiente de la alimentación exclusiva del circuito de control, dicho interruptor deberá abrir ambas fuentes, simultáneamente, o se colocaran juntos dos interruptores para abrir cada alimentación.



## CONTACTORES DE POTENCIA Y AUXILIARES



### DILA

La tarea de control más variada se puede realizar flexiblemente con los contactores auxiliares DILA y los componentes de sistema respectivos. La gestión del inventario y el diseño de ingeniería están simplificados justamente por ser una única serie.

### DILM

Los contactores DILM de reciente desarrollo conectan motores hasta 1800A. Significativamente mejorados en las características de sus prestaciones, tales como la potencia a la llamada y de retención, dimensiones optimizadas y ventajas durante la instalación transforman el contactor en un producto superior absoluto.

### Ingeniería

- 4 tamaños cubren la gama de hasta 170 A.
- Sólo 3 anchuras hasta 170 A.
- Contacto auxiliar integrado.

Eaton Moeller cubre la gama de hasta 170 A con 4 tamaños de instalación (45 mm hasta 32 A, 55 mm hasta 72 A y 90 mm hasta 170 A). El tamaño más pequeño, en las 2 versiones de contactor auxiliar y de motor, es un compromiso excelente entre dimensiones mínimas, elevada capacidad de prestación física y ventajas de manejo adicionales.

### Montaje

- Bornes de brida dobles en los contactores de 7 a 170 A.
- Cableado frontal de la bobina.
- Los contactores de accionamiento en corriente alterna y de corriente continua tienen las mismas dimensiones.

Los contactores DIL hasta 170 A tienen bornes de brida con 2 celdas de conexión. Permite cablear con 2 secciones distintas con total seguridad, incluso en máquinas sujetas a vibraciones duras, usando esta característica.

### Mando

- Módulo de protección (supresor) integrado en todos los contactores con bobina de corriente continua.
- El módulo de protección (supresor) es simplemente enchufable.
- Bajo consumo con los contactores de accionamiento por corriente continua.
- Bobinas de tensión continua universal a partir de 17A.

Todos los contactores con bobina de corriente continua tienen integrado un circuito de protección (supresor).

Los márgenes de tolerancia de tensiones en las bobinas de corriente continua superan los requerimientos de las normas IEC, ofreciendo así una excelente protección para las sobretensiones y subtensiones.

## CONTACTORES DE POTENCIA XStart

Tabla de equivalencia en contratapa trasera.

Otras tensiones de mando disponibles en stock.

Pot. asignada	Corriente nom.		Contactos auxiliares	Descripción	Código	T. de bobina	Precio Bs.
380V - AC-3	AC-1	AC-3					
4KW	20A	9A	1NA	DILM9-10	276698	220 VAC	128,00
					276696	110 VAC	128,00
5,5 KW	20A	12A	1NA	DILM12-10	276838	220 VAC	158,00
					276836	110 VAC	158,00
7,5 KW	35A	17A	1NA	DILM17-10	277012	220 VAC	229,00
					277010	110 VAC	229,00
11 KW	40A	25A	1NA	DILM25-10	277140	220 VAC	312,00
					277138	110 VAC	312,00
15 KW	40A	32A	1NA	DILM32-10	277268	220 VAC	456,00
					277266	110 VAC	456,00
18,5 KW	50A	40A	-	DILM40	277774	220 VAC	701,00
					277772	110 VAC	701,00
22 KW	65A	50A	-	DILM50	277838	220 VAC	886,00
					277836	110 VAC	886,00

## RELÉS DE PROTECCIÓN



### Relé de protección de motores

La protección de motores es una tarea central de los equipos eléctricos para máquinas. Desde los económicos relés térmicos (bimetálicos) hasta los más exigentes protectores de motor completos con integración en redes, en Moeller encontrará la solución adecuada para cada aplicación.

### Relés térmicos

Relés de sobrecarga hasta 630 A

- Ahorra tiempo de montaje gracias al montaje directo en el contactor.
- Homologación ATEX para la protección de motores EEx e hasta 250 A.
- La sensibilidad a defecto de fase ofrece una amplia protección de motores.
- Pulsador de prueba integrado que ofrece una elevada seguridad.

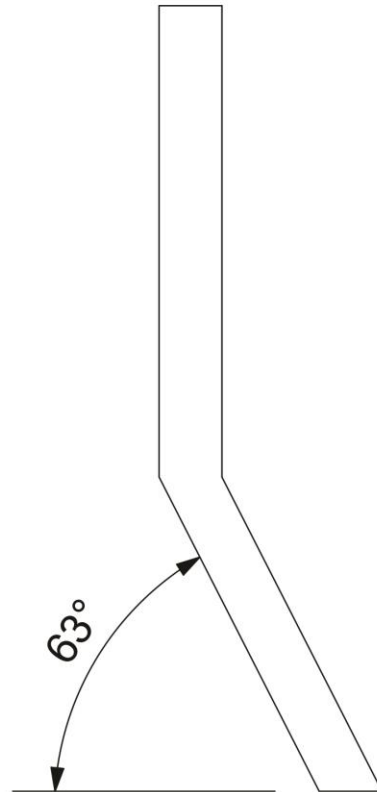
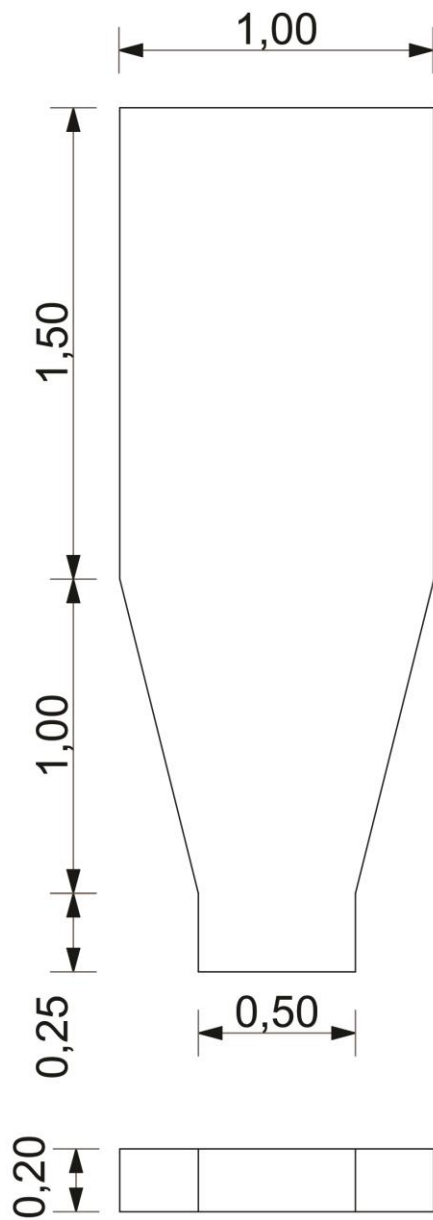
### Relé térmico electrónico ZEV hasta 820A

Con el relé electrónico de protección de motores ZEV se pueden controlar las situaciones de arranque más difíciles. La protección para cada situación de arranque del motor se ajusta de forma óptima.

- Montaje flexible mediante transformador de Rogowski.
- Transformador de intensidad externo para detección de avería de defecto a tierra.
- Visualizador LCD para ajuste de parámetros y visualización rápida de fallas en el motor.
- La fácil parametrización reduce el tiempo de puesta en servicio.
- Homologación ATEX para la protección de motores EEx e.
- El análisis adicional del termistor ofrece una protección total del motor
- Contactos auxiliares de libre parametrización utilizables para: Preaviso de sobrecarga / Defecto a tierra / Disparo del termistor / Falla interna.

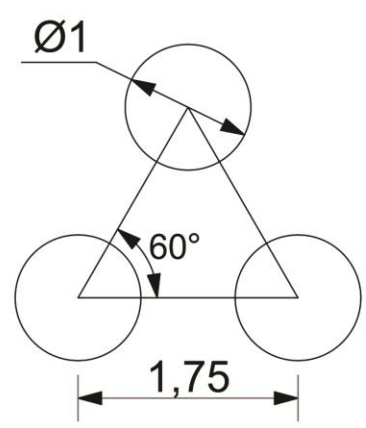
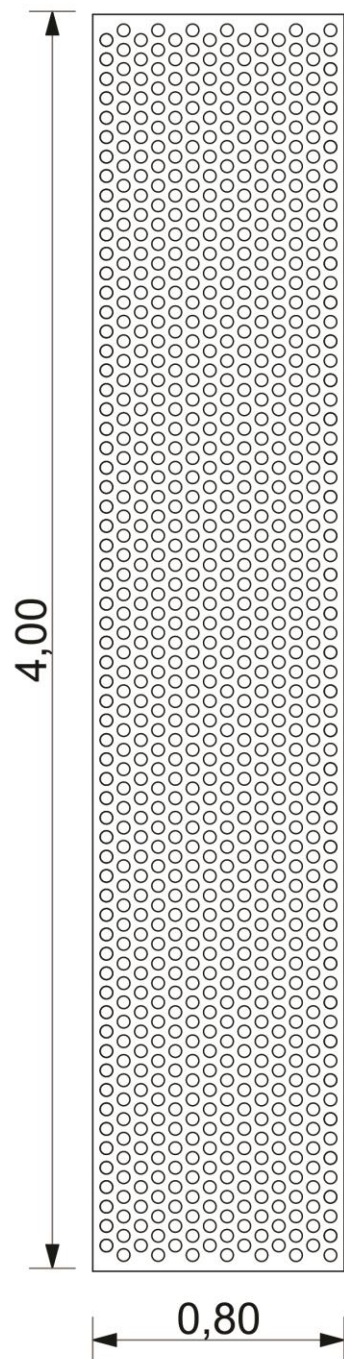
## RELÉS TÉRMICOS ZB

Marg. del disparador de sobrecarga	Utilizable con contactor	Cantidad de contactos auxiliares	Descripción	Código	Precio Bs.
1,0 - 1,6 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-1,6	278436	293,00
1,6 - 2,4 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-2,4	278437	238,00
2,4 - 4 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-4	278438	390,00
4 - 6 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-6	278439	293,00
6 - 10 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-10	278440	293,00
12 - 16 A	DILM9-DILM12	1NA-1NC	ZB12-16	290168	293,00
10 - 16 A	DILM17-DILM32	1NA-1NC	ZB32-16	278452	293,00
16 - 24 A	DILM17-DILM32	1NA-1NC	ZB32-24	278453	293,00
24 - 32 A	DILM12-DILM32	1NA-1NC	ZB32-32	278454	597,00
24 - 40 A	DILM40-DILM65	1NA-1NC	ZB65-40	278458	617,00
40 - 57 A	DILM40-DILM65	1NA-1NC	ZB65-57	278459	824,00
60 - 63 A	DILM40-DILM65	1NA-1NC	ZB65-65	278460	824,00

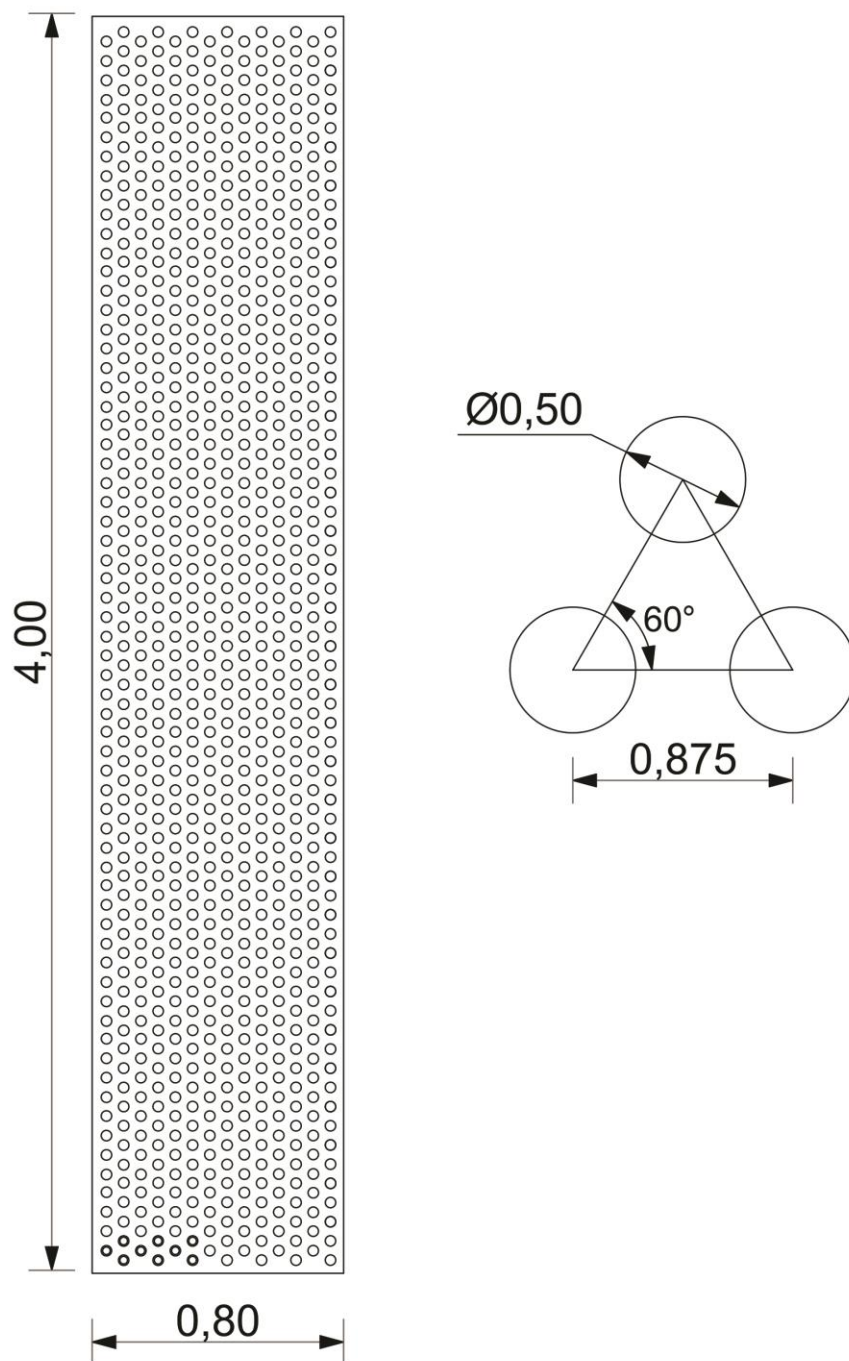


ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECHANICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:20			PIEZA: Tolva
DIM: m			N° DE PAGINA: 1

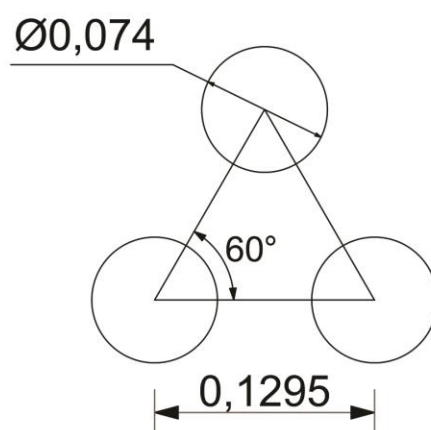
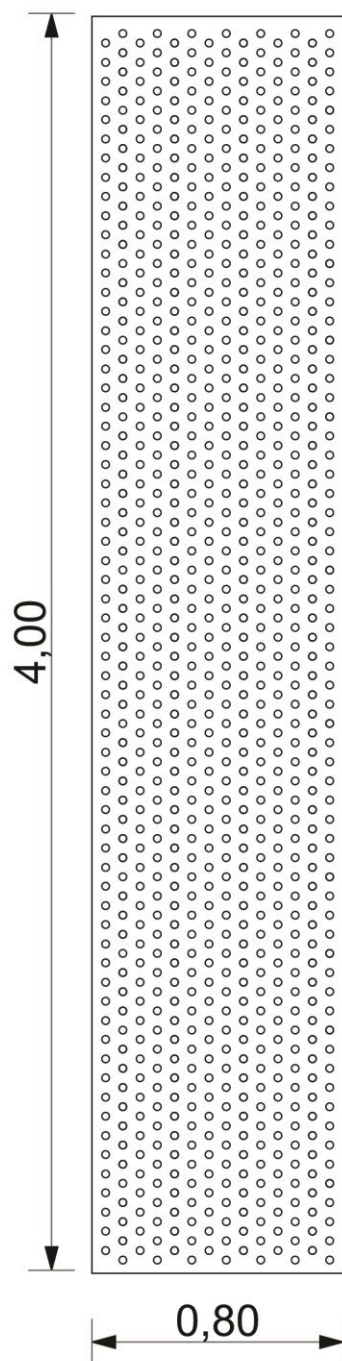




ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECAÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:20	DIM: m		PIEZA: Criba 1
			N° DE PAGINA: 2

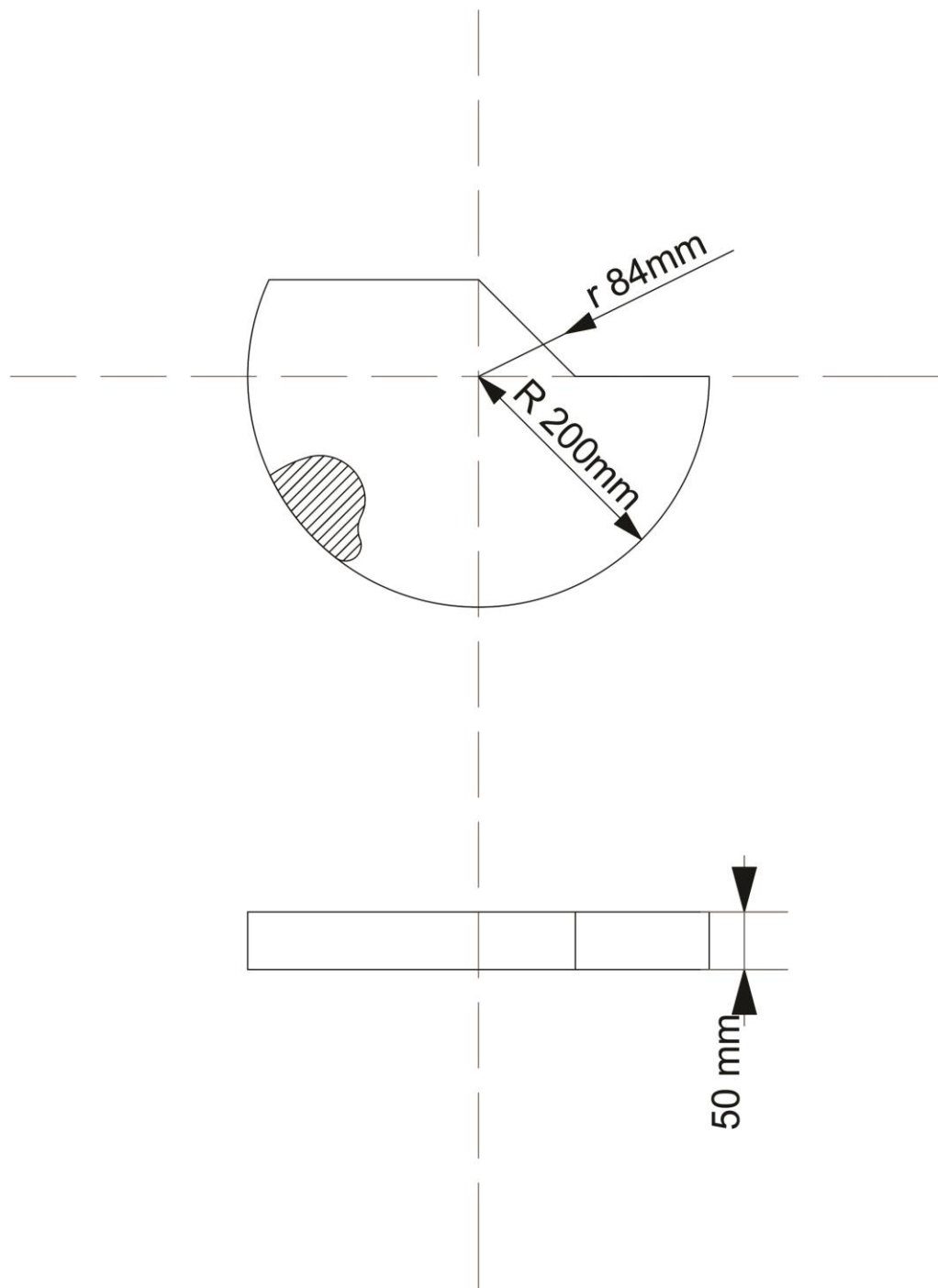


ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECAÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:20	DIM: m		PIEZA: Criba 2
			N° DE PAGINA: 3

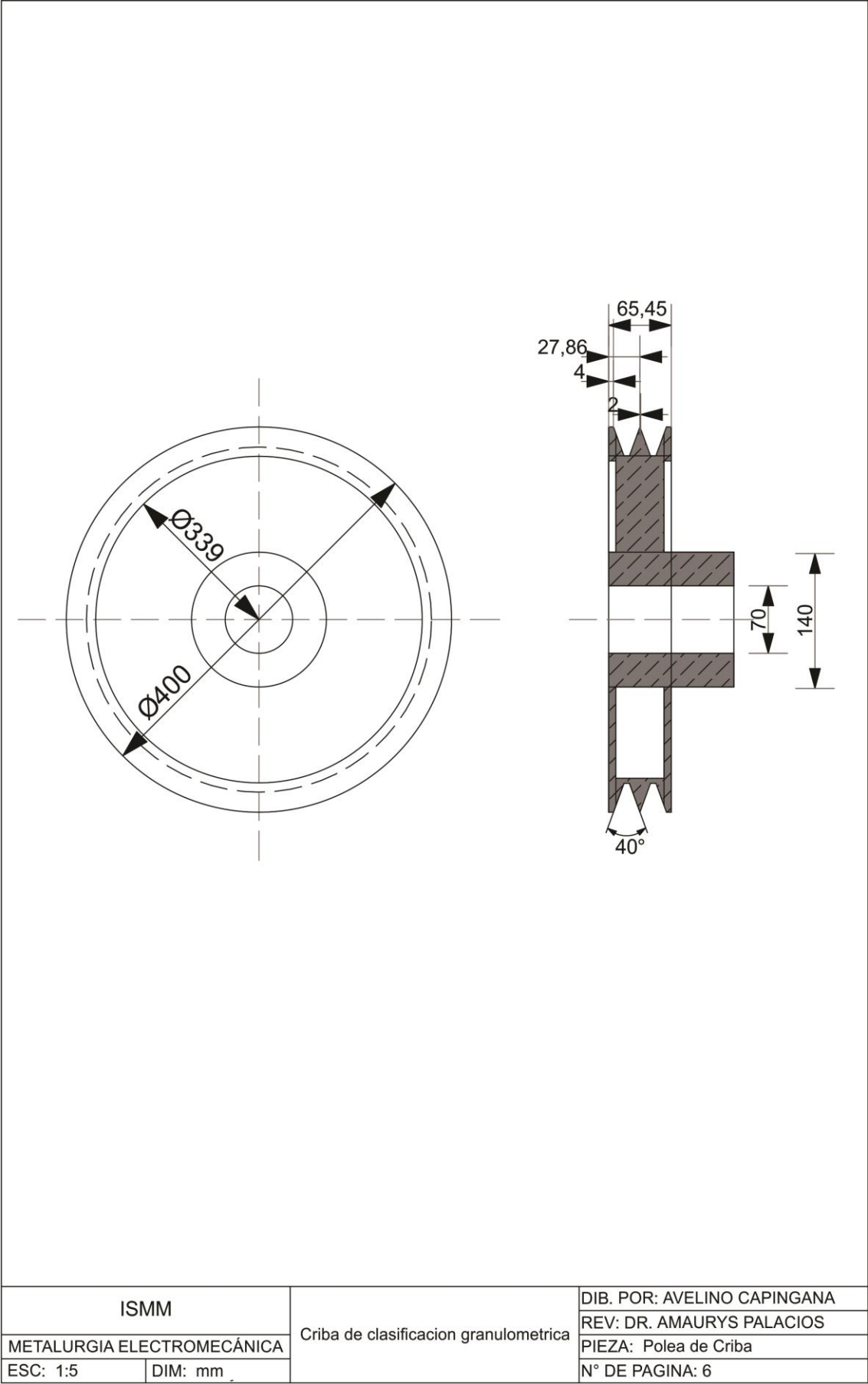


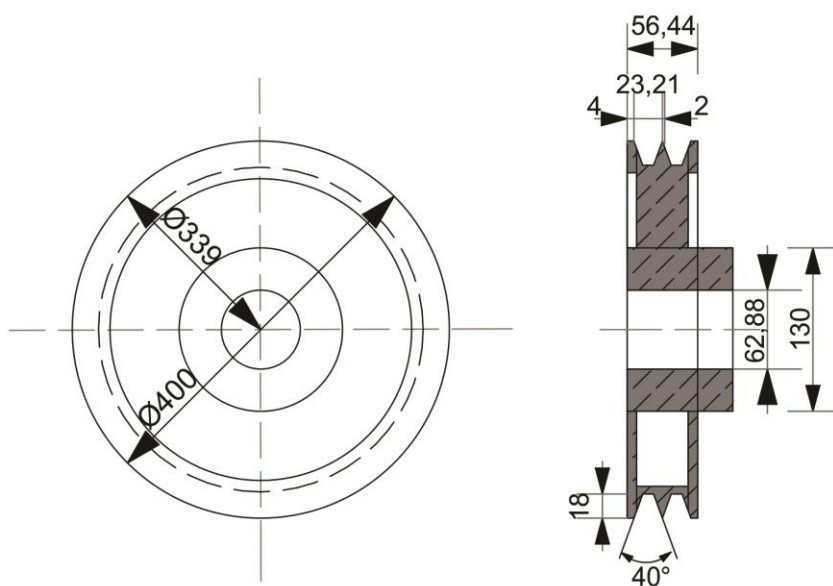
ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECAÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:20	DIM: m		PIEZA: Criba 3
			N° DE PAGINA: 4



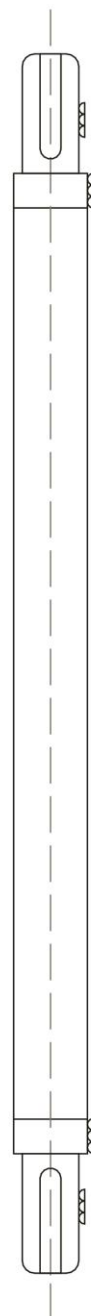
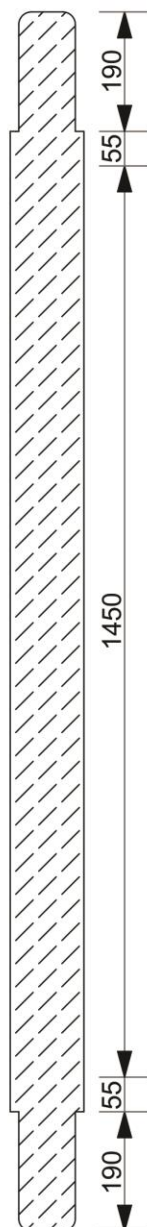
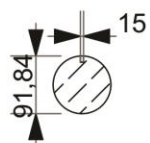


ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:5	DIM: mm		PIEZA: Masa Excentrica
			N° DE PAGINA: 5

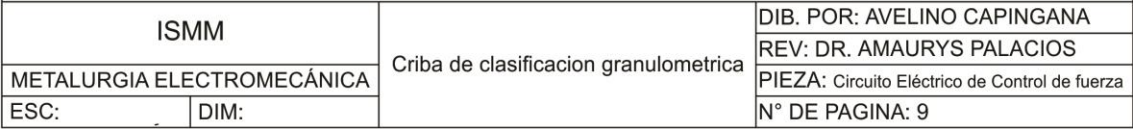


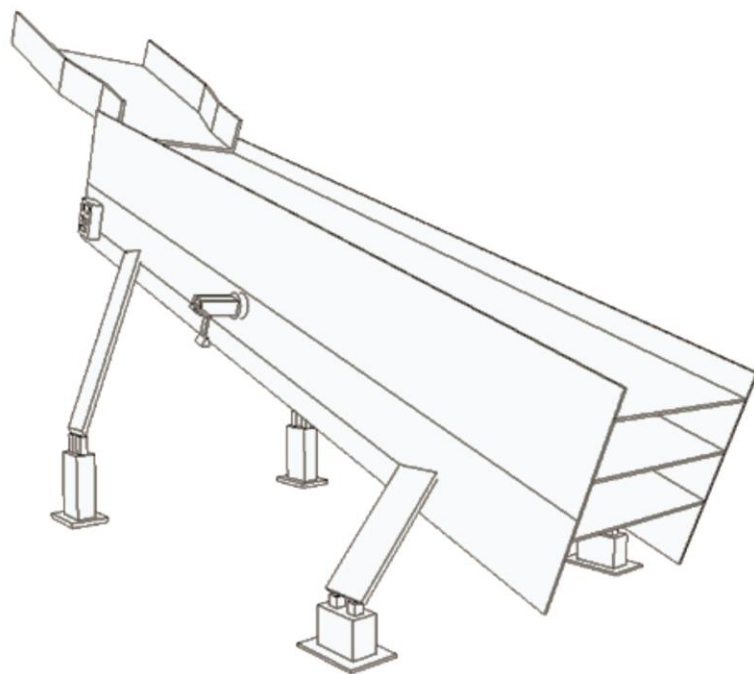


ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECAÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:5	DIM: mm		PIEZA: Eje de Criba
			N° DE PAGINA: 7



ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECHANICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:10			PIEZA: Eje de Criba
DIM: mm			N° DE PAGINA: 8





ISMM		Criba de clasificacion granulometrica	DIB. POR: AVELINO CAPINGANA
METALURGIA ELECTROMECAÁNICA			REV: DR. AMAURYS PALACIOS
ESC: 1:20	DIM: m		PIEZA: Criba
			N° DE PAGINA: 10

