

1/1020.2/B72

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA- ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“OPTIMIZACIÓN DE LA SECCIÓN DE  
CHANCADO PARA INCREMENTAR LA  
PRODUCCIÓN DIARIA A 700  
TONELADAS DE MINERAL TRITURADO  
EN LA EMPRESA ICM PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**Bachiller: PAULO CÉSAR ARIAS VARGAS**

**Callao, octubre, 2014**

**PERÚ**



## **DEDICATORIA**

A DIOS todopoderoso por sus grandes bendiciones en mi vida diaria.

A mi madre, hermanos y familiares, por haberme guiado por la senda del bien, y por darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Va mi gratitud al Ing. Remi Mclean, por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

A todo el personal de la mina ICM Perú, compañeros de trabajo, por su desinteresado y constante apoyo.

También expreso mi reconocimiento a la Facultad de Ingeniería Mecánica - Energía de la Universidad Nacional del Callao, que con una labor intelectual grandiosa aportaron a mi formación profesional.

Un agradecimiento especial a los docentes del Primer Ciclo de Tesis, a los ingenieros Jorge Alejos, Jaime Flores y Juan Palomino, también para el Ing. Juan Bravo por su constante apoyo durante la elaboración de la tesis.

## **INDICE**

### **CAPÍTULO I**

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>12</b>
1.1: Identificación del Problema .....	12
1.2: Formulación del Problema .....	16
1.3: Objetivos de la Investigación .....	16
1.3.1: Objetivo General .....	16
1.3.2: Objetivos Específicos .....	17
1.4: Justificación .....	17
1.4.1: Teórica.....	17
1.4.2: Metodológica .....	17
1.4.3: Tecnológica.....	18
1.5: Importancia .....	18

### **CAPÍTULO II**

<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1: Antecedentes del Estudio .....	20
2.2: Marco Conceptual .....	26
2.2.1: Bases Teóricas de Minerales .....	26

2.2.2: Sección de Chancado .....	32
2.2.3: Mantenimiento .....	114
2.3: Normatividad.....	139
 CAPÍTULO III	
VARIABLES E HIPÓTESIS.....	140
3.1: Variables de la Investigación .....	140
3.2: Operacionalización de Variables.....	140
3.3: Hipótesis General y Específicas.....	141
3.3.1: Hipótesis General.....	141
3.3.2: Hipótesis Específicas.....	141
 CAPÍTULO IV	
METODOLOGÍA.....	142
4.1: Tipo de Investigación .....	142
4.2: Diseño de la Investigación .....	142
4.2.1: Parámetros Básicos de Investigación.....	142
4.2.2: Etapas de la Investigación .....	144
4.2.3: Detalles de la Investigación.....	145
4.3: Población y Muestra .....	179
4.4: Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	180
4.5: Procedimiento de Recolección de Datos .....	181

4.6: Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos .....	182
CAPÍTULO V	
RESULTADOS .....	183
CAPÍTULO VI	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	208
6.1: Contrastación de la Hipótesis con los Resultados.....	208
6.2: Contrastación de los Resultados con Otros Estudios Similares .....	214
CAPÍTULO VII	
CONCLUSIONES.....	215
CAPÍTULO VIII	
RECOMENDACIONES .....	216
CAPÍTULO IX	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	218
ANEXOS	
- MATRIZ DE CONSISTENCIA	
- PLANOS	
- GLOSARIO	

## Listado de Figuras

FIGURA N° 2. 1 Minerales de la corteza terrestre.....	29
FIGURA N° 2. 2 Chute de carga del Apron Feeder .....	35
FIGURA N° 2. 3 Apron Feeder .....	37
FIGURA N° 2. 4 Sección de alimentación mediante chute .....	37
FIGURA N° 2. 5 Partes del Apron Feeder .....	38
FIGURA N° 2. 6 Según la ubicación de la placa móvil .....	42
FIGURA N° 2. 7 Trituradora de mandíbulas .....	43
FIGURA N° 2. 8 Principio de funcionamiento .....	44
FIGURA N° 2. 9 Sección de una trituradora giratoria .....	48
FIGURA N° 2. 10 Sección de una trituradora cónica.....	50
FIGURA N° 2. 11 Sección de una trituradora hydrocónica .....	53
FIGURA N° 2. 12 Trituradora cónica de cabeza corta.....	55
FIGURA N° 2. 13 Trituradora de rodillos.....	56
FIGURA N° 2. 14 Clasificación en la zaranda vibratoria .....	57
FIGURA N° 2. 15 Partes de una zaranda vibratoria .....	58
FIGURA N° 2. 16 Elementos de una banda transportadora.....	64
FIGURA N° 2. 17 Correa transportadora .....	65
FIGURA N° 2. 18 Clasificación dependiendo de su posición .....	66
FIGURA N° 2. 19 Tipos de refuerzos interiores metálicos.....	68
FIGURA N° 2. 20 Esquema general de la banda tipo Tubo.....	69
FIGURA N° 2. 21 Esquema geométrico de una banda transportadora .....	76
FIGURA N° 2. 22 Rodillos en terna .....	80

FIGURA N° 2. 23 Rodillo plano.....	81
FIGURA N° 2. 24 Polines de Carga y de Retorno.....	85
FIGURA N° 2. 25 Polines guía.....	86
FIGURA N° 2. 26 Polines de impacto.....	87
FIGURA N° 2. 27 Área de carga de la sección transversal.....	90
FIGURA N° 2. 28 Arreglos típicos de las poleas motrices.....	95
FIGURA N° 2. 29 Ángulo de contacto entre la polea y la faja.....	97
FIGURA N° 2. 30 Tipo del faldón.....	103
FIGURA N° 2. 31 Tipos de Poleas.....	104
FIGURA N° 2. 32 Representación de una Faja Transportadora.....	104
FIGURA N° 2. 33 Motorreductor.....	106
FIGURA N° 2. 34 Chute de carga.....	106
FIGURA N° 2. 35 Esquema del sistema chute – faja.....	107
FIGURA N° 2. 36 Diagrama de tensiones en la polea motriz.....	108
FIGURA N° 2. 37 Diagrama de tensiones para fajas horizontales.....	109
FIGURA N° 2. 38 Diagrama de tensiones para fajas inclinadas – caso 1.....	110
FIGURA N° 2. 39 Diagrama de tensiones para fajas inclinadas – caso 2.....	111
FIGURA N° 2. 40 Tolva de finos.....	112
FIGURA N° 2. 41 Modelo típico de una Tolva de Finos.....	113
FIGURA N° 2. 42 Tiempos en Mantenimiento para el Cálculo del OEE.....	134
FIGURA N° 4. 1 Balance de masa en la Sección de Chancado.....	146
FIGURA N° 4. 2 Dimensiones del chute de carga y descarga.....	164

## Listado de Gráficos

GRÁFICO N° 5. 1: Producción Anual de Mineral Triturado (2008).....	192
GRÁFICO N° 5. 2: Tasa de Producción (2008).....	193
GRÁFICO N° 5. 3: Disponibilidad Operativa Anual (2008).....	193
GRÁFICO N° 5. 4: Tasa de Rendimiento Anual (2008).....	194
GRÁFICO N° 5. 5: Utilización (2008).....	194
GRÁFICO N° 5. 6: Efectividad Global de la Planta (2008).....	195
GRÁFICO N° 5. 7: Capacidad Productiva de la Planta (2008).....	195
GRÁFICO N° 5. 8: Producción Anual de Mineral Triturado (2009).....	196
GRÁFICO N° 5. 9: Tasa de Producción (2009).....	197
GRÁFICO N° 5. 10: Disponibilidad Operativa Anual (2009).....	197
GRÁFICO N° 5. 11: Tasa de Rendimiento Anual (2009).....	198
GRÁFICO N° 5. 12: Utilización (2009).....	198
GRÁFICO N° 5. 13: Efectividad Global de la Planta (2009).....	199
GRÁFICO N° 5. 14: Capacidad Productiva de la Planta (2009).....	199
GRÁFICO N° 5. 15: Producción Anual de Mineral Triturado (2010).....	200
GRÁFICO N° 5. 16: Tasa de Producción (2010).....	201
GRÁFICO N° 5. 17: Disponibilidad Operativa Anual (2010).....	201
GRÁFICO N° 5. 18: Tasa de Rendimiento Anual (2010).....	202
GRÁFICO N° 5. 19: Utilización (2010).....	202
GRÁFICO N° 5. 20: Efectividad Global de la Planta (2010).....	203
GRÁFICO N° 5. 21: Capacidad Productiva de la Planta (2010).....	203
GRÁFICO N° 5. 22: Producción Anual de Mineral Triturado (2011).....	204

GRÁFICO N° 5. 23: Tasa de Producción (2011).....	205
GRÁFICO N° 5. 24: Disponibilidad Operativa Anual (2011).....	205
GRÁFICO N° 5. 25: Tasa de Rendimiento Anual (2011).....	206
GRÁFICO N° 5. 26: Utilización (2011).....	206
GRÁFICO N° 5. 27: Efectividad Global de la Planta (2011).....	207
GRÁFICO N° 5. 28: Capacidad Productiva de la Planta (2011).....	207
GRÁFICO N° 6. 1: Efectividad Global de la Planta.....	209
GRÁFICO N° 6. 2: Disponibilidad Operativa.....	210
GRÁFICO N° 6. 3: Eficiencia.....	210
GRÁFICO N° 6. 4: Tasa de Producción.....	211
GRÁFICO N° 6. 5: Utilización.....	212
GRÁFICO N° 6. 6: Capacidad Productiva.....	213

## Listado de Tablas

TABLA N° 2. 1: Valores Típicos del Work Index.....	46
TABLA N° 2. 2: Clasificación de las bandas de caucho .....	67
TABLA N° 2. 3: Velocidad en función del tamaño de grano .....	79
TABLA N° 2. 4: Factor (k) debido a la inclinación de la banda.....	82
TABLA N° 2. 5: Coeficiente de fricción entre tambor y banda.....	96
TABLA N° 3. 1: Cuadro de Operacionalización de Variables .....	140
TABLA N° 4. 1: Parámetros de entrada de Fajas Transportadoras.....	143
TABLA N° 4. 2: Parámetros de entrada del Apron Feeder .....	143
TABLA N° 4. 3: Parámetros de entrada de la Chancadora de Mandíbulas .....	143
TABLA N° 4. 4: Parámetros de entrada de la Chancadora Cónica.....	144
TABLA N° 4. 5: Parámetros de entrada de la Zaranda Primaria y Secundaria ..	144
TABLA N° 4. 6: Parámetros de entrada de la Tolva de Finos .....	144
TABLA N° 4. 7: Balance de carga en la Sección de Chancado.....	147
TABLA N° 4. 8: Datos de entrada para las Fajas Transportadoras.....	148
TABLA N° 4. 9: Resumen de resultados para las Fajas Transportadoras .....	151
TABLA N° 4. 10: Resumen de resultados de la Tensión Efectiva.....	154
TABLA N° 4. 11: Resumen de resultados de las Tensiones Resultantes.....	156
TABLA N° 4. 12: Selección del Tipo de Faja Transportadora.....	160
TABLA N° 4. 13: Selección del Motorreductor.....	161
TABLA N° 4. 14: Selección del Apron Feeder.....	168

TABLA N° 4. 15: Selección de la Chancadora de Mandíbulas .....	170
TABLA N° 4. 16: Selección de la Chancadora Cónica .....	172
TABLA N° 4. 17: Selección de la Zaranda Vibratoria N° 1 .....	174
TABLA N° 4. 18: Selección de la Zaranda Vibratoria N° 2.....	175
TABLA N° 5. 1: Resumen – Faja Transportadora N° 1 .....	183
TABLA N° 5. 2: Resumen – Faja Transportadora N° 2 .....	184
TABLA N° 5. 3: Resumen – Faja Transportadora N° 3 .....	185
TABLA N° 5. 4: Resumen – Faja Transportadora N° 4 .....	186
TABLA N° 5. 5: Resumen – Faja Transportadora N° 5 .....	187
TABLA N° 5. 6: Resumen – Faja Transportadora N° 6 .....	188
TABLA N° 5. 7: Resumen – Faja Transportadora N° 7 .....	189
TABLA N° 5. 8: Resumen – Faja Transportadora N° 8 .....	190
TABLA N° 5. 9: Resumen – Equipos de Chancado .....	191
TABLA N° 5. 10: Cuadro Anual de Producción de Mineral Triturado 2008.....	192
TABLA N° 5. 11: Cuadro Anual de Producción de Mineral Triturado 2009.....	196
TABLA N° 5. 12: Cuadro Anual de Producción de Mineral Triturado 2010.....	200
TABLA N° 5. 13: Cuadro Anual de Producción de Mineral Triturado 2011.....	204
TABLA N° 6. 1: Resumen del OEE .....	208
TABLA N° 6. 2: Resumen de la Disponibilidad Operativa .....	209
TABLA N° 6. 3: Resumen de la Eficiencia .....	210
TABLA N° 6. 4: Resumen de la Tasa de Producción.....	211
TABLA N° 6. 5: Resumen de la Utilización y Capacidad Productiva .....	212

## RESUMEN

La siguiente investigación fue titulada como Optimización de la Sección de Chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú. Inicialmente, se analizó la problemática de producción existente en la sección de chancado, en relación al funcionamiento de los equipos que la componen, del número de fallas y tiempos de operación presentadas en un período de 2 años, y se determinó la disponibilidad, utilización, efectividad global de la planta y capacidad productiva, entre otros.

Este estudio se desarrolló como una Investigación Tecnológica del tipo Aplicada y se evidenció que la efectividad global de la planta era inaceptable ( $OEE < 65\%$ ), ocasionando pérdidas de producción, incrementando así, los costos de operación y mantenimiento de la sección de chancado. También, se verificó que la sección de chancado no contaba con un plan de mantenimiento preventivo adecuado para asegurar el funcionamiento de los equipos que la componen.

La investigación tiene la finalidad de proporcionar a la empresa ICM Perú, una herramienta que le permitiría incrementar la producción diaria a 700 TMD de mineral triturado optimizando la planta de chancado, elevar la efectividad global de la planta de chancado a 82% y la capacidad productiva a 69.96% para cumplir con los requerimientos de producción diaria solicitados por la empresa, así como también de programar, ajustar y corregir algunas deficiencias en sus actividades implementando un plan de mantenimiento preventivo.

Palabras claves: optimización, sección de chancado, efectividad global, mantenimiento preventivo.

## ABSTRACT

The following research was called as optimization of Section Crushing to increase daily production to 700 tons of ore crushed in ICM Peru Company. Initially, it was analyzed the problems of existing production in the crushing section, in relation of the performance of equipments that make it up, the number of failures and operating times presented by the equipments over a period of two years, thus determined so the availability, utilization, overall effectiveness of the plant and production capacity, among others.

This study was developed as a type Applied Technology Research and showed that the overall effectiveness of the plant was unacceptable (OEE < 65%), causing production losses, thus increasing the costs of operation and maintenance of the crushing section. It was also verified that the crushing section did not have a plan of preventive maintenance to ensure proper operation of the equipment within it.

The research is intended to provide the company ICM Peru, a tool that would increase daily production to 700 TMD of crushed ore crushing plant optimizing, raising the overall effectiveness of the crushing plant to 82% and production capacity to 69.96% to meet the requirements requested by the company, as well as to program, adjust and correct some deficiencies in its activities by implementing a preventive maintenance plan.

Key words: optimization, crushing section, overall effectiveness, preventive maintenance.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1: Identificación del Problema

La primera etapa en todo proceso productivo para la obtención de concentrado en una empresa minera es la Etapa de Chancado, siendo fundamental esta etapa para alcanzar los objetivos trazados por la empresa, los cuales se miden por Toneladas Métricas al Día (TMD) de mineral procesado.

La Resolución Jefatural<sup>1</sup> N° 0011-85-H de fecha 24 de abril de 1985, autorizó el funcionamiento de la planta concentradora “Pachapaqui” con una capacidad de 300 TMD. El 23 de febrero de 1988, la Minera Pachapaqui Sociedad Anónima solicitó la ampliación para el funcionamiento definitivo de la planta concentradora “Pachapaqui” con la nueva capacidad de tratamiento de 450 TMD, siendo autorizada la ampliación por la Jefatura Regional. A partir de esa fecha, la empresa minera inició sus operaciones de exploración y explotación del asiento minero.

Desde el inicio de su operación, no se registraron trabajos de ampliación y/o modificación en la planta concentradora, es decir, la planta sigue en

---

<sup>1</sup> Informe N° 173 – MINEM, es el expediente de Concesión de Beneficio en el cual se otorgan los permisos para la construcción de una Planta de Concentración de minerales metálicos, depósito de relaves, oficinas, etc.

funcionamiento con los mismos equipos en las diversas etapas del procesamiento de minerales para la obtención de concentrados. Por este motivo, la empresa minera tuvo diversos inconvenientes para mantenerse en funcionamiento, ocasionando el cierre de la mina en varias ocasiones. En el año 2006, un grupo de inversionistas ingleses asumieron la dirección de la empresa minera denominada ICM Perú. La planta concentradora no se encontraba en óptimas condiciones de operación sobre todo para mantenerse dentro de un mercado competitivo donde el precio de los minerales estaba en descenso.

A finales de 2007, se reinician las operaciones de la planta minera obteniendo resultados no satisfactorios originados por los constantes problemas de operación que se presentaban en las diversas etapas, debido a que el tonelaje de mineral que se obtenía en la sección de chancado no era el suficiente para mantener al 100% la capacidad de producción de los equipos de las etapas posteriores.

La sección de chancado de 450 TMD contaba con sistemas de transporte de mineral, chancadoras y zarandas vibratorias (véase Anexos Flowsheet de la Sección de Chancado – 450 TMD). Esta distribución ocasionaba sobrecarga de mineral en la chancadora de mandíbula (interrupción de las operaciones), rotura de la faja transportadora N° 1 por transporte de mineral grueso mayores de 3” de diámetro, atoro en la zaranda vibratoria 4’x8’, sobrecarga de mineral grueso en la chancadora hydrocone 4 (desgaste y rotura de sus componentes), entre otros.

Si en la etapa de chancado ocurren fallas o contratiempos, no se logrará obtener la cantidad de concentrado requerido para mantener una economía rentable en la empresa. Ante esto, se optó por mejorar la producción de la sección de chancado.

Como resultado de la investigación realizada, se plantearon algunas alternativas de solución, tales como:

- 1) Cambio total de todo el circuito de chancado: debido a su antigüedad y desuso.
- 2) Cambio de los equipos de transporte de mineral (fajas transportadoras): debido a las continuas paradas por falla y deterioro de sus componentes.
- 3) Optimización<sup>2</sup> de la sección de chancado: redistribución de los equipos, cambio del sistema de transporte, construcción de una tolva de almacenamiento.
- 4) Implementación de un plan de mantenimiento preventivo: para mejorar la efectividad de la sección de chancado.

La proyección de la empresa, debido a las reservas encontradas dentro de la concesión minera, era de incrementar la capacidad de la planta concentradora en tres fases:

- a) Primera Fase: ampliación de la producción de 450 TMD a 700 TMD.

---

<sup>2</sup> Según la FUNDEU BBVA – RAE, la optimización de una planta busca adaptar los equipos para que realicen sus tareas de la forma más eficiente posible. De la FUNDEU BBVA, sobre *optimizar* y *optimizar*: **Aunque ambas formas son correctas predomina optimizar.** Los verbos *optimizar* y *optimizar* se refieren a 'conseguir el máximo rendimiento o provecho de un proceso o un sistema', en cuyo uso se ha impuesto la forma *optimizar*, de amplio uso en los países de América.

- b) Segunda Fase: ampliación de la producción de 700 TMD a 1500 TMD y construcción de una nueva subestación eléctrica para abastecer la segunda y tercera fase (se ingresaría al Sistema Interconectado Nacional).
- c) Tercera Fase: construcción de una nueva planta concentradora para 5000 TMD en otro lugar (cerca de la mina para disminuir el tiempo y costo de transporte del mineral).

Para llevar a cabo la primera fase, se debía lograr que el funcionamiento de la planta concentradora llegue a un punto óptimo. Para lograr esto, se requería modificar el proceso para mejorar su eficiencia, dicho en otras palabras, optimizar la sección de chancado ya que es el punto más crítico. A nivel general, la optimización puede realizarse en diversos ámbitos, pero siempre con el mismo objetivo: mejorar el funcionamiento de algo o el desarrollo de un proceso a través de una gestión perfeccionada de los recursos.

Se analizaron las alternativas (1, 2, 3 y 4), conjuntamente con las fases de proyección de la empresa y se decidió por la optimización de la sección de chancado y la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. La planta debía operar para obtener mejores resultados de producción y así obtener ingresos que le permita autofinanciar las fases 2 y 3.

Adicional al análisis de las alternativas, se efectuaron encuestas para identificar la problemática y se determinó que el sector de mayor atención es el de Operación y Producción de la sección de chancado, debido a las

constantes fallas en los equipos que perjudican la producción, también del estado y de la condición de los equipos, entre otros.

La optimización de esta etapa debe estar acorde para alcanzar la cantidad de tonelaje deseado al día. Esta alternativa debe resultar económicamente rentable y debe garantizar el cumplimiento de los requerimientos de producción según la capacidad de mineral solicitado.

## **1.2: Formulación del Problema**

En la investigación realizada se determinó que existen diversos puntos críticos en la construcción de esta etapa: la capacidad máxima era de 450 TMD (toneladas métricas al día), el diseño era muy antiguo y constantemente se tenían paradas por fallas en el sistema de transporte, trituración y clasificación del mineral.

Ante ello, se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo optimizar la sección de chancado que permita mejorar el proceso para el incremento de la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado?

## **1.3: Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1: Objetivo General**

- Optimizar la sección de chancado de minerales para incrementar la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado de la empresa ICM Perú.

### **1.3.2: Objetivos Especificos**

- Desarrollar la redistribución de los equipos para aumentar la producción diaria de mineral triturado la sección de chancado.
- Calcular y seleccionar los equipos mecánicos para aumentar la producción diaria.
- Dimensionar la tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD para cumplir con los requerimientos de producción solicitados.
- Proponer un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la efectividad global de la sección de chancado.

### **1.4: Justificación**

#### **1.4.1: Teórica**

- La redistribución resulta necesaria para optimizar toda la sección de chancado. Con esto se pretende eliminar tiempos perdidos, optimizar espacio y recursos en el proceso de carga, descarga de materia prima y producto terminado.
- Mediante la instalación de los equipos y desarrollo del mecanismo se podría incrementar la carga necesaria a transportar.

#### **1.4.2: Metodológica**

- La optimización de la sección de chancado mediante la instalación de nuevos equipos resulta necesaria debido a: la antigüedad de los mismos,

los tiempos de parada de operación traducidos en pérdidas de producción, la disminución de producción obtenida en los últimos años, etc. La investigación determina ésta alternativa como la solución más rápida y beneficiosa para los intereses de la empresa, con la finalidad de elevar el volumen de producción y obtener mejores resultados en el proceso de chancado de mineral.

- Garantizará la mínima demanda requerida por la empresa.

#### **1.4.3: Tecnológica**

- El propósito es obtener una mayor eficiencia y rentabilidad en la producción, minimizando esfuerzo y tiempo en la descarga y carga de la producción.
- Es indispensable obtener el máximo rendimiento, a través de equipos nuevos con cero averías, mínimos paros en la máquina y alta productividad.
- Facilitará la obtención de repuestos con mayor rapidez.

#### **1.5: Importancia**

La importancia radica en el beneficio que se obtendrá por la revisión, aprobación y ejecución de este trabajo de investigación, siendo estos principalmente:

1. Económico: se incrementará la producción diaria por lo cual se obtendrá mayor cantidad de concentrado que será vendido al mercado local o extranjero. También incrementará el canon minero para la región.
2. Social: se podrán implementar programas educativos, de salud, deportivos entre otros, en beneficio de la comunidad.
3. Seguridad: se establecerán sistemas de seguridad en el lugar de trabajo en base al DS 055 - MINEM para el trabajo seguro, con lo cual se disminuirán los riesgos de incidentes y/o accidentes protegiendo la integridad del trabajador.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1: Antecedentes del Estudio

La productividad de toda empresa minera depende de las ganancias obtenidas por la venta de concentrados. La sección de chancado constituye la primera etapa de todo proceso en una planta de concentrados en las empresas mineras. La interrupción de la producción en este proceso ocasiona una disminución en la obtención de concentrado diario, ocasionando pérdidas económicas.

En diversos estudios realizados se han verificado la problemática que ocasiona la interrupción de la producción de esta etapa:

1. A finales de 2009, se realizó un estudio técnico de reestructuración de la planta de chancado de la compañía minera Santa Luisa<sup>3</sup> – Mina Huanzála en la región Ancash. En esa época, debido a un proyecto de mejoramiento para la optimización de la planta de concentrados, se decidió modificar el sistema de transporte de minerales debido a la antigüedad de sus equipos para así optimizar su producción. Para esto, se modificó la faja transportadora N° 3 de 42"x20m a todo costo, se construyó la tolva de descarga, se modificaron y se instalaron

---

<sup>3</sup> Fuente: <http://www.bvl.com.pe/>. Bolsa de Valores de Lima - Memoria Anual Minera Santa Luisa 2009.

plataformas de acceso a toda la sección de chancado con la finalidad de proteger la integridad física de los trabajadores de operación y mantenimiento. La inversión ascendió los S/. 101,749.92.

2. En el año 2009, la empresa BBA Ingenieros fue seleccionada para la construcción del circuito de chancado en la empresa minera El Brocal SAA<sup>4</sup>. En ese año, se culminó la obra civil del circuito. El montaje electromecánico se culminó en febrero de 2010 para que el sistema esté preparado para alimentar la planta actual optimizada y el nuevo circuito 2,490 TMD. La inversión ejecutada al año 2009 es de \$ 2.8 millones. El objetivo de este proyecto era incrementar la capacidad de chancado de 2,490 TMD a 10,000 TMD, mejorando la eficiencia del sistema, permitiendo obtener un producto final de 9mm de diámetro, y de esta manera incrementar la capacidad de tratamiento.

Se señalan las siguientes investigaciones relacionadas con el tema:

1. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, titulado: **“Estudio Técnico Económico para la Ampliación de la Planta Concentradora de Minerales BERTHA”**. Autor: Juan Carlos Altamirano Oporto. Año 2011. Universidad Nacional del Callao – Facultad de Ingeniería Química.

---

<sup>4</sup> Fuente: <http://www.bvl.com.pe/>. Bolsa de Valores de Lima - Memoria Anual Minera El Brocal 2009.

En conclusión a este estudio de investigación, se cita:

- a) La ampliación responde a una necesidad técnica, social y económica para alcanzar el desarrollo sostenible para la región, ya que esta cuenta con importantes reservas que deben ser explotadas ante el crecimiento de las actividades mineras de la zona. Ante esto se realizó un estudio técnico económico para determinar la rentabilidad de la ampliación de la planta concentradora.
- b) La determinación de la importancia que tiene la etapa de chancado para la liberación del mineral valioso de la ganga y para acelerar la velocidad de reacción en los procesos de molienda y flotación, el cual permitirá incrementar la rentabilidad de la Empresa, por lo tanto tendrá un impacto económico favorable. Por lo general, las operaciones de trituración en las plantas de concentración de minerales se caracterizan por su elevado consumo de energía en comparación a otras operaciones, es por ello que urge la necesidad de aprovechar esta etapa para incrementar la rentabilidad.
- c) La mayor capacidad que se tiene es 282 Tm/día de la chancadora primaria, para poder aplicar dicha capacidad a la planta se debería cambiar o modificar las características de los demás equipos como son Chancadora Secundaria (en la etapa de chancado), Molino de Barras y de Bolas (en la etapa de molienda), lo cual generaría una mayor inversión.
- d) La sostenibilidad del proyecto hacia el compromiso social y responsabilidad ambiental. Finalmente, es favorable desde todo punto de

vista la de ampliación de la “Planta de Concentradora de Minerales Bertha”.

2. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, titulado: **“Ampliación de Producción de la Unidad Minera Chungar de 2000 TMD a 3000 TMD”**. Autor: Manuel Marcial Muñoz Bernardo. Año 2006. Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.

En conclusión a este estudio de investigación, se cita:

- a) El incremento escalonado de la producción de 2000 TMD a 3000 TMD reducirá el costo de minado de 33.09 US\$/ton a 22 US\$/ton, lo cual mantendrá los márgenes operativos que requiere la empresa frente a la caída de precios de los metales en el mercado internacional. Este incremento mejorará los procesos actuales desde la exploración hasta el producto final, a fin de obtener bajos costos y una producción eficiente.
- b) La ampliación de la Sección de Chancado comprende: el cambio del grizzly vibratorio Symons de 3’x5’; adquisición de un electroimán para su instalación en la faja transportadora; cambio de la faja transportadora de 24” por una de 30” e incremento de su velocidad debido al incremento del tonelaje; reubicación de la chancadora secundaria Pegson y de la zaranda 4’x10’ de su ubicación actual en el circuito antiguo a su nueva posición en el circuito nuevo de la descarga; modificación de la descarga

de finos ampliando su sección transversal; por último la construcción de una nueva tolva de finos para aumentar el volumen de mineral chancado cuya capacidad deberá ser de 1000 toneladas. Esta redistribución de los equipos incrementará la efectividad de la sección de chancado para así lograr los requerimientos solicitados de 3000 TMD.

- c) Es recomendable tener un sistema para poder evaluar los indicadores de Gestión de la Empresa el cual nos permita un mejor control, planeamiento y conducción.
- d) Hacer cumplir estrictamente los estándares y procedimientos de trabajo seguro para lograr mayor efectividad.

En el año 2008, el negocio de los concentrados polimetálicos pasó por una etapa muy difícil, debido a su bajo costo en el mercado internacional lo cual implica que se tiene que optimizar los procesos con el objetivo de poder sobrevivir y competir comercialmente, vía reducción de costos de procesamiento y gastos indirectos de operación.

La planta concentradora de ICM Perú inició sus operaciones en el año 1985 con una capacidad máxima de 450 TMD. La puesta en marcha de este asiento minero ha contribuido en el desarrollo del país, creando fuentes de trabajo e ingresos al fisco por concepto de pago de impuestos. Desde la fecha indicada, la infraestructura de la planta concentradora no ha sido modificada. Se instalaron equipos en muchos casos subdimensionados

ocasionando que la producción sea intermitente, es decir que no siempre se llega a procesar el tonelaje requerido.

Dicho sistema de chancado cuenta con: un alimentador de orugas (apron feeder COMESA 36"x3m), un sistema de chancado primario (chancadora de mandíbulas FUNCAL 15"x36"), fajas transportadoras de 20" de ancho, dos equipos de zarandeo o clasificadores primario y secundario (4'x8' y 5'x10' respectivamente) y un sistema de chancado secundario (chancadora Hydrocone 4"x36" Allis Chalmers) en circuito cerrado. El mineral triturado y zarandeado es transportado mediante las fajas hacia un silo, culminando ahí el proceso de chancado para seguidamente pasar al proceso de molienda.

El tamaño del mineral al ingreso es de aproximadamente 4 pulgadas, siendo el tamaño de salida de aproximadamente 3/4 y 1/2 pulgadas.

La distribución del sistema de transporte y zarandeo ocasionan constantes interrupciones en las operaciones. La capacidad del sistema de transporte está subdimensionado, el sistema de zarandeo o clasificación está obsoleto siendo reparado y/o acondicionado en muchas ocasiones debido a que no se encuentran los repuestos originales.

El equipo de chancado secundario es muy antiguo y no cuenta con muchos repuestos en el mercado local, tampoco en el mercado internacional.

## **2.2: Marco Conceptual**

### **2.2.1: Bases Teóricas de Minerales**

#### **a) Mineral**

Se llama mineral<sup>5</sup> a la sustancia natural, homogénea, inorgánica, de composición química definida (dentro de ciertos límites). Posee una disposición ordenada de átomos de los elementos de que está compuesto, y esto da como resultado el desarrollo de superficies planas, conocidas como caras. Si el mineral ha crecido sin interferencias, pueden generarse formas geométricas características, conocidas como cristales.

Es el producto de la explotación de la mina, tal como sale. Se conoce con el nombre de mineral, al producto de elementos de origen inorgánico al estado natural, que se encuentra en la superficie en el interior de la corteza terrestre y principalmente cuya explotación es útil. En minería, es el producto de la explotación de una mina, ya sea que este producto tenga o no valor comercial.

El mineral contiene dos partes, que son las siguientes:

- Parte valiosa o mena
- Parte no valiosa, parte estéril o ganga

---

<sup>5</sup> Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Procesamiento de Minerales.

- **Parte Valiosa (Mena)**

Es la parte del mineral que tiene valor industrial o comercial, de allí nace la posibilidad de aprovecharlos (hacer negocio con ellos). Son aquellos que representan un valor comercial determinado y cuyos valores metálicos o sus compuestos sean susceptibles de recuperar por un proceso de beneficio económico, dejando su utilidad.

En la mina la parte valiosa está formada por los siguientes elementos:

- a) Mineral de cobre: Calcopirita  $\text{CuFeS}_2$ ; Calcolcita  $\text{Cu}_2\text{S}$ ; Enargita  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ , bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )
- b) Mineral de plomo: Galena  $\text{PbS}$
- c) Mineral de zinc: Esfalerita  $\text{ZnS}$ ; Marmatita  $(\text{Zn,Fe})\text{S}$
- d) Mineral de Plata: Tetraedrita  $(\text{Cu,Fe,Ag})\text{Sb}_4\text{S}_3$ ; Argentita  $\text{Ag}_2\text{S}$ ; galena argentífera

- **Parte No Valiosa (ganga, parte estéril o inservible)**

Es la parte del mineral que no tiene valor comercial y que es necesario separarlo de la parte valiosa. Esta constituido casi siempre por especies minerales terrosas o pétreas, principalmente cuarzo y calizas.

La parte no valiosa está generalmente, formado por:

- a) Pirita:  $\text{FeS}$
- b) Calcita:  $\text{CaCO}_3$
- c) Cuarzo: (insoluble)  $\text{SiO}_2$
- d) Piedra, roca, etc.

- **Mineral Rico**

Se llama mineral rico al mineral de alta ley comercial, que proviene de la “veta madre” o sea aquel que contiene gran cantidad de parte valiosa y poca ganga.

- **Mineral Pobre**

Se llama mineral pobre (de baja ley) aquel que contiene pequeñas cantidades de parte valiosa y gran cantidad de ganga.

- **Cabeza**

Es el mineral bruto que se alimenta a la planta, en nuestro caso tiene las siguientes leyes de cabeza:

Zinc 3.5 %    Cobre 0,28 %    Fierro 6,25 %    PbOx 0,36 %

Plomo 1,2 %    Plata 4,5 onz./TM    ZnOx 0,18 %

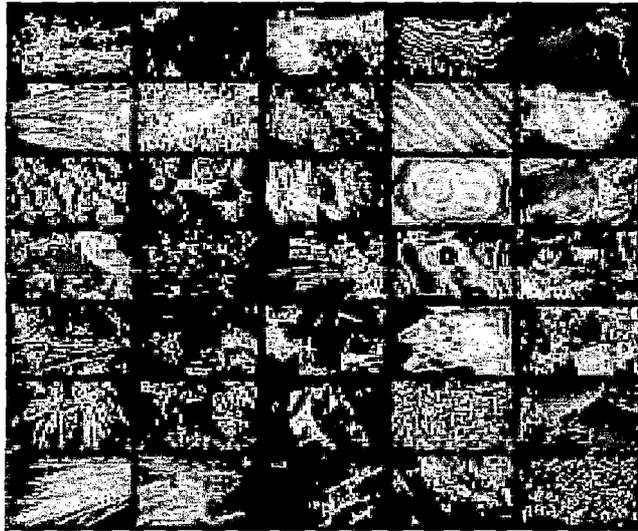
La ley de mineral es el porcentaje de parte valiosa que se encuentra en el mineral, este dato nos proporciona laboratorio analítico.

Se pueden estudiar los minerales a partir de las distintas propiedades que presentan, como la dureza, geometría (en cristales), composición química, densidad. La mayor parte de los objetos que usamos en nuestra vida cotidiana proceden de uno o varios minerales.

## b) Características de los Minerales

FIGURA N° 2. 1

### MINERALES DE LA CORTEZA TERRESTRE



Fuente: [www.astromia.com](http://www.astromia.com). Los Minerales y las rocas.

El cristal<sup>6</sup> de una ventana no es un cristal, aunque está hecho con minerales cristalinos. Del mismo modo, una roca no es un mineral, sino un material formado por minerales diversos.

Para comprender que es un mineral, podemos estudiar algunas de sus características:

- Se encuentra en la naturaleza, es decir, no está fabricado.
- Tiene una estructura geométrica fija, por tanto, es sólido.
- Es de naturaleza inorgánica, por eso, la concha de un molusco no es un mineral, aunque contenga minerales.

---

<sup>6</sup> Fuente: [www.astromia.com](http://www.astromia.com). Minerales de la Corteza Terrestre.

- Tiene una composición química fija, aunque, a veces, pueda contener una sustancia contaminante que modifique su color.

A menudo, los minerales se encuentran en la naturaleza formando masas dentro de las rocas. Entonces se habla de una **veta** o **filón** de un determinado mineral. Su descubrimiento y explotación determina la actividad de la minería. Desde la prehistoria los humanos hemos usado los minerales para fabricar utensilios, herramientas, máquinas y armas.

### **c) Propiedades de los Minerales**

Los minerales se diferencian unos de otros por sus propiedades químicas y físicas.

Las **propiedades físicas** se relacionan con cambios que afectan a la estructura del mineral sin que cambie su composición química. Estos cambios se ponen de manifiesto en el modo de romperse, dejar pasar la luz, conducir la electricidad, etc.

Las **propiedades químicas** se relacionan con cambios en su composición química. Son consecuencia del tipo de átomos que forman el mineral, ya que este hecho va a determinar su capacidad de reaccionar con otras sustancias y por tanto, cambiar su naturaleza.

Las propiedades físicas más importantes son las siguientes:

- **Propiedades mecánicas** relacionadas con su comportamiento frente a la aplicación de fuerzas en su superficie.
- **Propiedades eléctricas** relacionadas con su respuesta a la aplicación de campos eléctricos a los minerales.
- **Propiedades ópticas** relacionadas con su respuesta frente a la luz.
- **Propiedades magnéticas** relacionadas con su respuesta ante la aplicación de campos magnéticos.

#### **d) Principales Tipos de Minerales**

Los minerales se clasifican en dos grandes grupos:

- **No silicatos.**
- **Silicatos.** Son los minerales más abundantes en la corteza y están presentes en la mayor parte de las rocas.

#### **e) Utilidad de los Minerales**

Los minerales se usan y aplican en multitud de actividades, como la construcción, decoración, joyería, industria, etc. No todos los minerales que son útiles se encuentran disponibles en cualquier lugar y forma.

Los principales usos por parte del hombre están relacionados con:

- **Obtención de metales.** A partir de algunos minerales ricos en elementos metálicos se extraen sus menas mediante procesos metalúrgicos que dependen del tipo de mineral. Podemos extraer hierro

de la **magnetita**, cobre de la **calcopirita**, mercurio del **cinabrio** o estaño de la **casiterita**, por ejemplo.

- **Obtención de materiales para la construcción.** Se utiliza el **yeso** para enlucir o fabricar cementos.
- **Obtención de productos químicos.** De una gran cantidad de minerales se obtienen materiales que son utilizados por la industria química. Uno de ellos es la **pirita** que se utiliza para obtener ácido sulfúrico.
- **Obtención de productos alimentarios.** Se utilizan como conservantes. El mineral más importante utilizado de esta forma es la **halita**.
- **Joyería.**

### **2.2.2: Sección de Chancado**

La sección de chancado<sup>7</sup> constituye la primera etapa en todo proceso de extracción del mineral “valioso” en una planta concentradora. El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 m de diámetro, por lo que el objetivo de la sección de chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de 1/2 pulgada (1,27 cm).

---

<sup>7</sup> QUIROZ NUÑEZ I. Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1990.

## **a) Proceso de Chancado**

Para lograr el tamaño deseado de 1/2 o 3/8 pulgada, en el proceso del chancado se utiliza la combinación de dos o hasta tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

De acuerdo a la disposición de equipos, la granulometría de mineral extraído en mina y al tamaño de mineral triturado que se requiere obtener en el proceso de chancado, se determina(n) la etapa(s) necesarias para este fin.

- **En la etapa primaria**, la chancadora primaria reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.
- **En la etapa secundaria**, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.
- **En la etapa terciaria**, el material mineralizado logra llegar finalmente a 1/2 pulgada.

## **b) Componentes de la Sección de Chancado**

### **i. Tolva de Gruesos**

Las tolvas de gruesos<sup>8</sup> son depósitos que sirven para almacenar el mineral bruto que viene de la mina, y así alimentar a las chancadoras en forma regular

---

<sup>8</sup> Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Procesamiento de Minerales.

Generalmente estas tolvas de gruesos son de concreto armado, tienen la forma cuadrada que termina en un cono piramidal provista en la parte superior de una parrilla rustica construida de rieles, sirven para recibir mineral que nos entrega mina. El mineral viene a la(s) tolva(s) de gruesos por medio de carros metaleros o mineros, de este modo viene el mineral procedente de la mina

Por medio de volquetes se alimenta a la tolva de gruesos. La capacidad depende principalmente de las características del mineral (humedad y granulometría).

- **Rieles o Parrillas de las Tolvas de Gruesos**

Las parrillas sirven para impedir el paso de mineral grande dentro de la tolva, a fin de evitar problemas en el alimentador, faja transportadora y en la chancadora primaria. Los principales cuidados que se deben tener con los rieles de las parrillas son las siguientes:

- No deben estar flojas
- No deben estar rotas
- No deben estar demasiadas gastadas

## **ii. Alimentadores de Carga (Apron Feeder) y Chutes**

Los alimentadores<sup>9</sup> permiten mandar a las chancadoras carga medida y regulada, según las capacidades de ellas, a la vez que impiden la

---

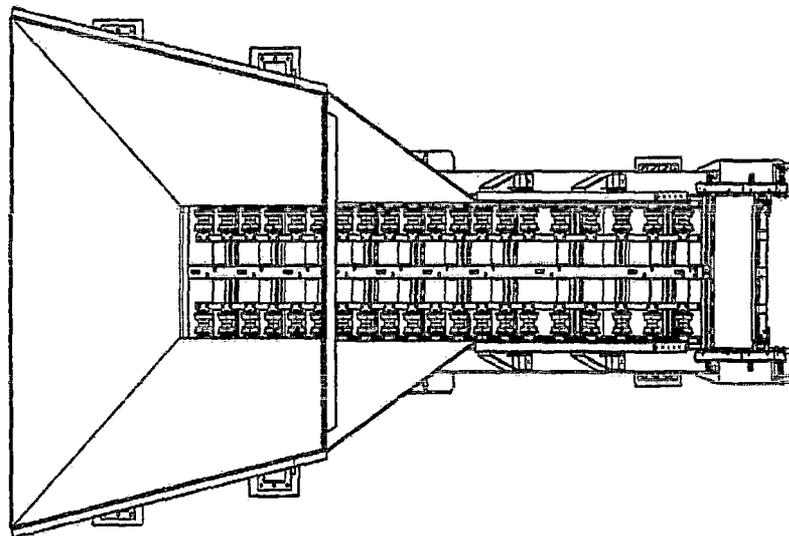
<sup>9</sup> Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Procesamiento de Minerales.

descarga violenta de las tolvas de gruesos. Demasiada carga atora a las chancadoras, grizzlys y cedazos; poca carga deteriora los mecanismos, porque los movimientos más fuertes se producen en vacío.

#### **a. Los Chutes**

Son cajones de lados inclinados que se encuentran uniendo el fondo de la tolva de gruesos con el alimentador correspondiente. Los chutes sirven para ayudar a salir y amortiguar la carga de mineral, en caso contrario sufriría el alimentador un exceso de peso.

**FIGURA N° 2. 2**  
**CHUTE DE CARGA DEL APRON FEEDER**



Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

## **b. Apron Feeder**

El apron feeder<sup>10</sup> o Alimentador de Placas son equipos diseñados para extraer reguladamente el material almacenado en pilas, tolva o depósitos de almacenamiento. Son equipos a los cuales se les pueden regular el flujo de mineral, al regular la velocidad del alimentador en función del volumen o el tonelaje de ambos. Consta de un transportador que se mueve continuamente unida a un par de cadenas de rodillos sin fin paralelas.

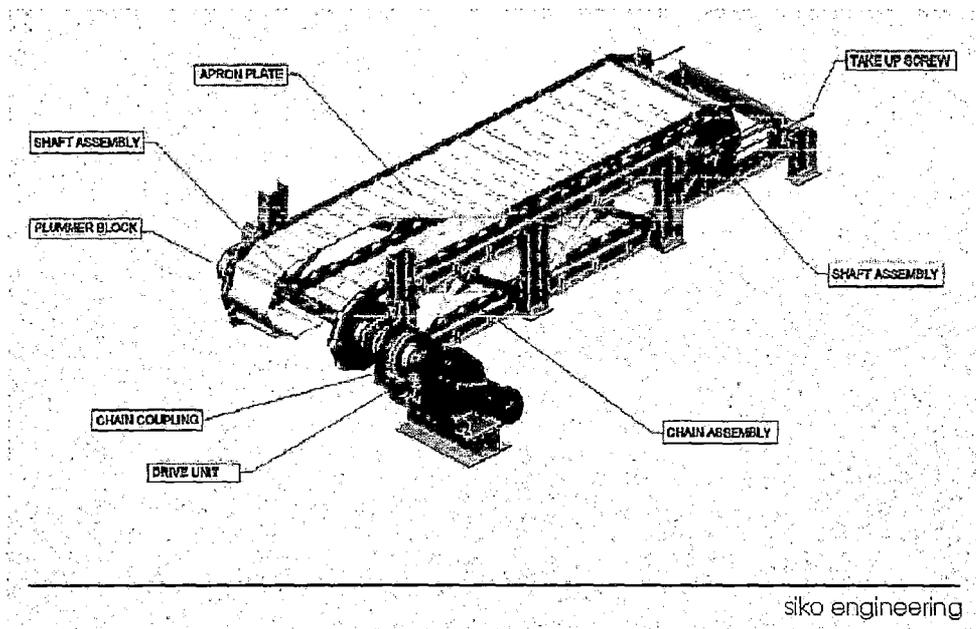
### **➤ Partes Principales del Alimentador**

- a) La oruga propiamente dicha, formada por la unión de placas
- b) Las poleas dentadas por donde se desplaza la oruga (de cabeza y cola)
- c) Las ruedas de soporte, sostienen a la oruga (rodillos)
- d) El templador de tornillo
- e) El sistema de movimiento, constituido por:
  - El motor
  - El reductor de velocidad
  - El piñón
  - La cadena
  - La catalina

---

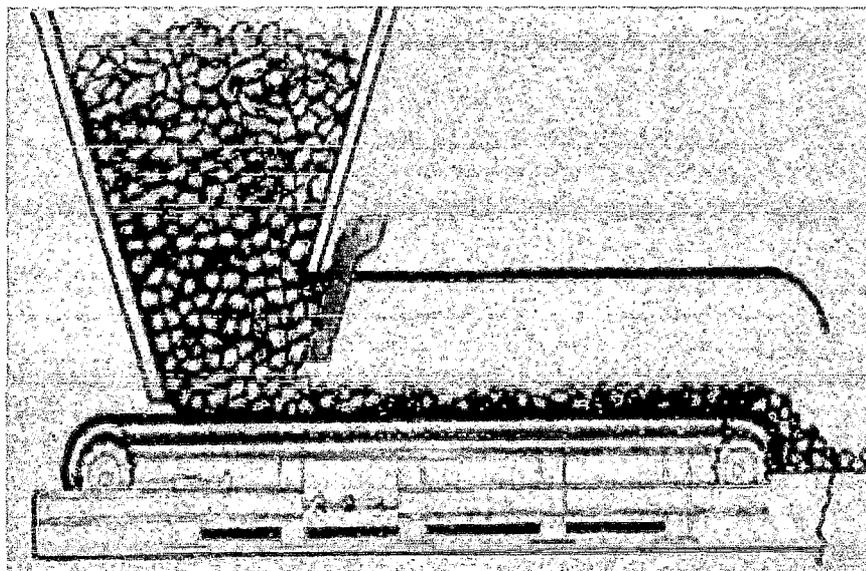
<sup>10</sup> Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Procesamiento de Minerales.

**FIGURA N° 2. 3**  
**APRON FEEDER**



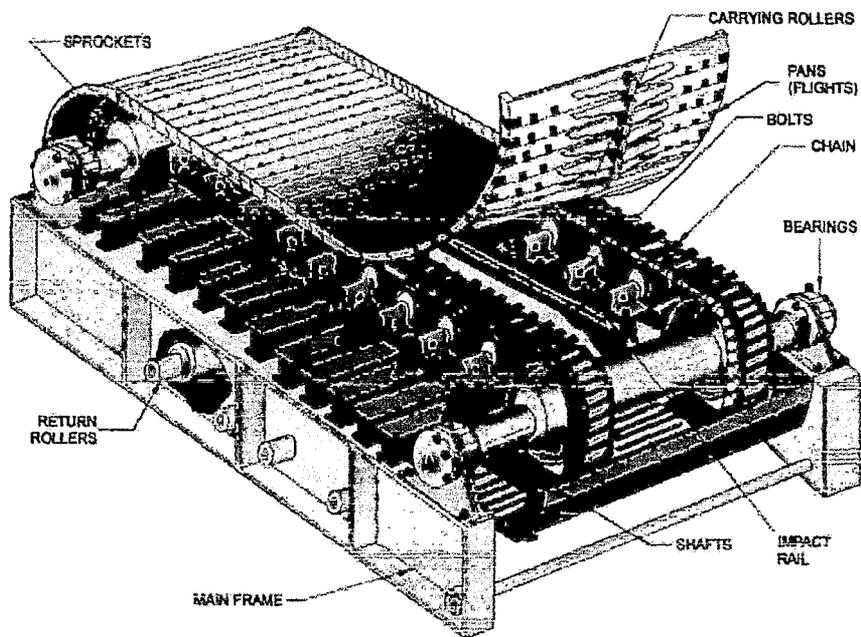
Fuente: Catálogo Siko Engineering.

**FIGURA N° 2. 4**  
**SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN MEDIANTE CHUTE**



Fuente: Catálogo Siko Engineering

**FIGURA N° 2. 5**  
**PARTES DEL APRON FEEDER**



Fuente: Catálogo Siko Engineering

➤ **Cálculo para la Selección del Apron Feeder**

La capacidad<sup>11</sup> es función del largo útil del alimentador, de la altura de la "cama" de material, de la velocidad de la oruga, del factor de llenado, del tipo y granulometría del material. La capacidad (Ec. 1) está dada por la siguiente fórmula:

$$C = 60 \times B \times D \times \rho \times V \times \varphi \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

B: ancho de la tolva (m)

<sup>11</sup> Fuente: Catálogo Siko Engineering.

D: altura de la capa de material que se transportará (m)

$\rho$ : densidad aparente del mineral ( $t/m^3$ )

V: velocidad de la oruga (m/min)

$\phi$ : factor de llenado.

### iii. Chancadoras

Las chancadoras<sup>12</sup> son equipos eléctricos de grandes dimensiones. En estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios están contruidos de una aleación especial de acero al manganeso de alta resistencia. Las chancadoras son alimentadas por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada de acuerdo al diámetro requerido. Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.

#### ➤ Procedimiento

En el procedimiento de chancar las piedras en más pequeñas, la primera chancada es generalmente la principal. En esencia, implica la transferencia de fuerza de aplastamiento, que se incrementa con la ventaja mecánica, y por lo tanto con la distribución de la fuerza a lo

---

<sup>12</sup> QUIROZ NUÑEZ I. Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1990.

largo del cuerpo del objeto. Esto por lo general, consiste en colocar el objeto entre dos superficies sólidas; una de las superficies actúa como una plataforma y proporciona un lugar para colocar el objeto; la segunda superficie normalmente se encuentra por encima del objeto y la plataforma, y baja lentamente para ejercer la fuerza sobre el objeto. Como la fuerza destruye el objeto, la superficie superior continúa descendiendo hasta que se ha producido un grado óptimo de reducción de tamaño.

#### ➤ **Maquinaria**

Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración<sup>13</sup>. Se clasifican de acuerdo a la etapa y al tamaño de material tratado.

a) **Trituradoras Primarias.** Fragmentan trozos grandes hasta un producto de 8" a 6". Se tienen dos tipos de máquinas.

- Trituradoras de Mandíbulas.

- Trituradoras Giratorias.

b) **Trituradoras Secundarias.** Fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3" a 2", entre estas máquinas tenemos.

- Trituradoras Giratorias.

---

<sup>13</sup> Fuente: [www.Insutec.mza](http://www.Insutec.mza). Trituración Primaria y Secundaria de Minerales.

- Trituradoras Cónicas.

- Trituradoras Hydrocónicas.

c) **Trituradoras Terciarias.** Fragmentan el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8", entre estas máquinas tenemos.

- Trituradoras Cónicas.

- Trituradoras de Rodillos.

#### a) **Maquinaria para la Trituración Primaria**

##### ✓ **Triturador de Mandíbulas**

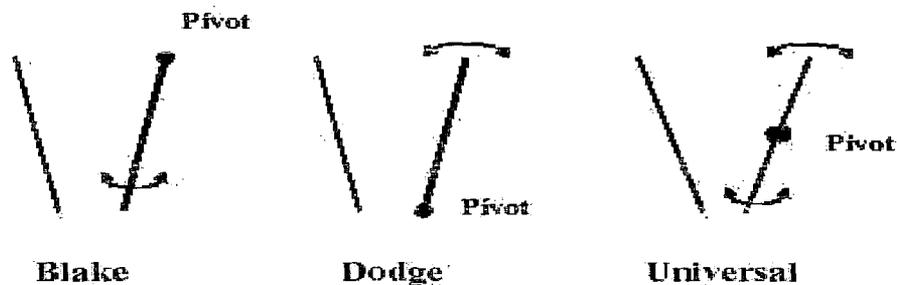
Esencialmente constan de dos placas de hierro instaladas de tal manera que una de ellas se mantiene fija y la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, durante el cual se logra fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos placas (cámara de trituración). El nombre de estas trituradoras viene del hecho de que la ubicación y el movimiento de las placas se asemejan a las mandíbulas de un animal, por eso, la placa fija suele llamarse mandíbula fija y la otra placa, mandíbula móvil.

Las trituradoras de mandíbulas se subdividen en tres tipos, en función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula

móvil, que son: Trituradoras de mandíbulas tipo Blake, Dodge y Universal.

En la práctica, el triturador más empleado es el de tipo Blake, que fue patentado en 1858 por E. W. Blake y desde entonces ha sufrido varias modificaciones.

**FIGURA N° 2. 6**  
**SEGÚN LA UBICACIÓN DE LA PLACA MÓVIL**



Fuente: QUIROZ NUÑEZ I. Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales

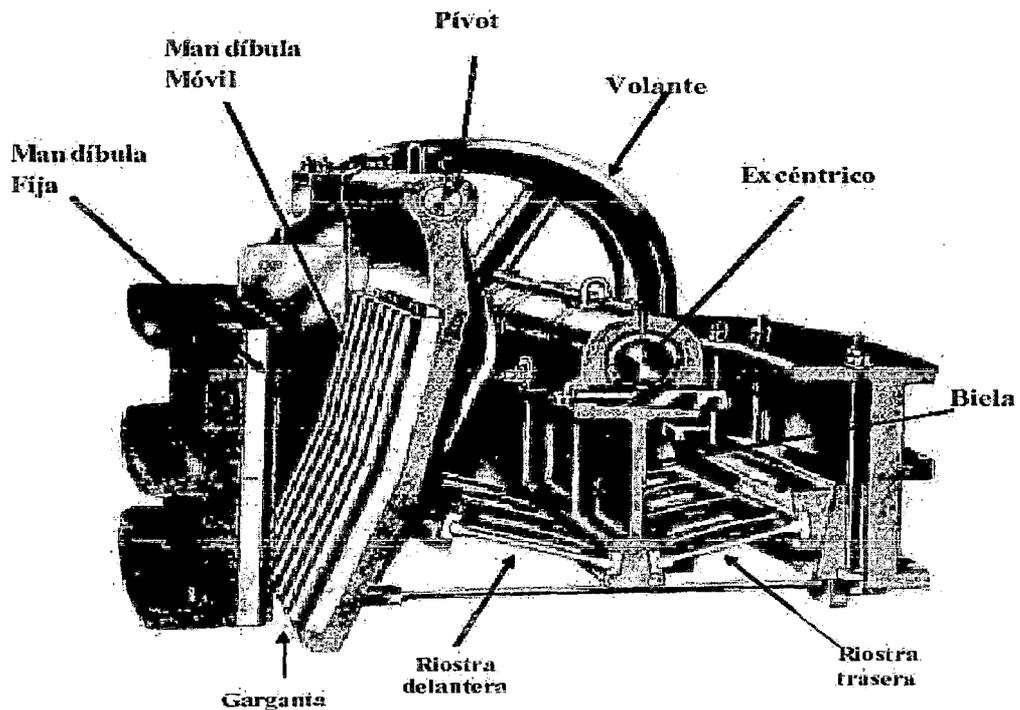
### • Tipos de Trituradoras de Mandíbulas

El tamaño de estas trituradoras se designa indicando las dimensiones de la abertura de alimentación y el ancho de la boca de alimentación medidas en pulgadas o milímetros.

El tamaño de estas máquinas puede variar desde 125x150 mm, a 1600x2100 mm. Pueden triturar partículas desde 1,2 m. de tamaño aproximadamente, a razón de 700 a 800 TPH. La velocidad de la máquina, varía inversamente con el tamaño y usualmente está en el rango de 100 a 400 rpm. El radio de reducción promedio es de 7:1, y

puede variar desde 4:1 hasta 9:1, la potencia consumida puede variar hasta 400 HP, para el caso de las máquinas grandes.

**FIGURA N° 2. 7**  
**TRITURADORA DE MANDÍBULAS**

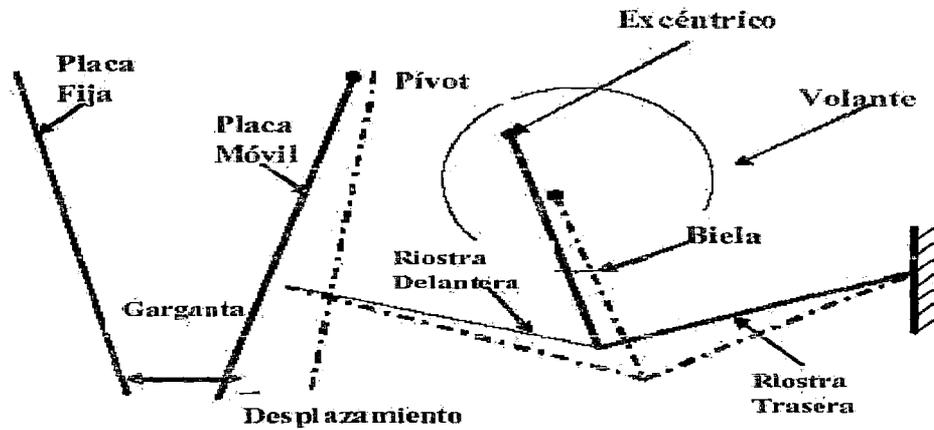


Fuente: QUIROZ NUÑEZ I. Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales

- **Capacidad de Producción**

La capacidad de producción de la trituradora depende de las características de las materias a triturar (intensidad, dureza, y composición de granulosis alimentada, etc.), las funciones de la trituradora y las condiciones de operación (casos de alimentación y dimensión de la salida de materias), etc.

**FIGURA N° 2. 8**  
**PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**



Fuente: QUIROZ NUÑEZ I. Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales

- **Cálculo para la Selección de la Chancadora de Mandíbulas (Primaria)**

Para dimensionar la Chancadora de Mandíbulas<sup>14</sup>, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

Calcular la Capacidad de Diseño, mediante la siguiente relación (Ec. 2):

$$C_d = \frac{C}{h} * \frac{100}{(100-30)} * FC \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

C: Capacidad de la planta (TMD)

h: Horas de operación de la chancadora

<sup>14</sup> RIVERA ZEBALLOS J. Compendio de Comminución. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2003.

FC: Factor de conversión

$$FC = \frac{\text{Tonelada métrica}}{\text{Tonelada corta}} = \frac{2204.6341}{2000} = 1.1023$$

La relación entre el tamaño más grande del mineral y la abertura mínima de alimentación de la chancadora es:

$$f = \frac{2}{3}$$

La abertura mínima de alimentación (Ec. 3) de la chancadora, sería de:

$$\alpha = f * T \quad (\text{Ec. 3})$$

El tamaño de la partícula de alimentación del 80% (Ec. 4) del pasante está dado por:

$$F_{80} = \frac{R}{R} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

T: Tamaño máximo de la partícula

R: Rango de reducción

#### • Cálculo del Índice de Trabajo (WI)

Para calcular el Índice de Trabajo<sup>15</sup> de las Chancadoras (WI), se deben realizar pruebas experimentales en un laboratorio especializado de acuerdo con las características específicas del mineral.

---

<sup>15</sup> PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores.

El WI se define como la entrega de potencia requerida para moler un material teóricamente infinito hasta un tamaño tal que pase el 80% de los micrones, permitiendo así hacer una buena estimación de la energía necesaria para la molienda. El WI está expresado en [KW-H / TCH].

**TABLA N° 2. 1**  
**VALORES TÍPICOS DEL WORK INDEX**

Material	[kWh/ton. corta]	Material	[kWh/ton. corta]
Todos los materiales	15,19	Vidrio	3,39
Barita	6,86	Mineral de oro	16,31
Basalto	22,45	Granito	15,83
Clinker de cemento	14,84	Mineral de hierro	16,98
Arcilla	7,81	Mineral de plomo	12,54
Carbón mineral	12,51	Caliza	12,77
Mineral de cobre	14,44	Mica	148,00
Dolomita	12,44	Lutita petrolífera	19,91
Esmeril	64,00	Roca fosfatada	11,14
Feldespató	12,84	Cuarzo	14,05
Galena	10,68	Taconita	16,36

Fuente: PIRELLI, William Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores

Para calcular la Energía Necesaria (Ec. 5), utilizaremos la relación desarrollada por el Método de Bond. Esto es:

$$W = WI * \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$P_{80}$ : Tamaño de la partícula del producto del 80% de pasante

Luego determinamos la Potencia necesaria (Ec. 6):

$$P = W * C_d * f_s \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

fs: factor de seguridad

Con los valores obtenidos de la Abertura Mínima de la Chancadora y la Potencia, seleccionamos del Catálogo un tipo de chancadora.

#### ✓ **Trituradoras Giratorias**

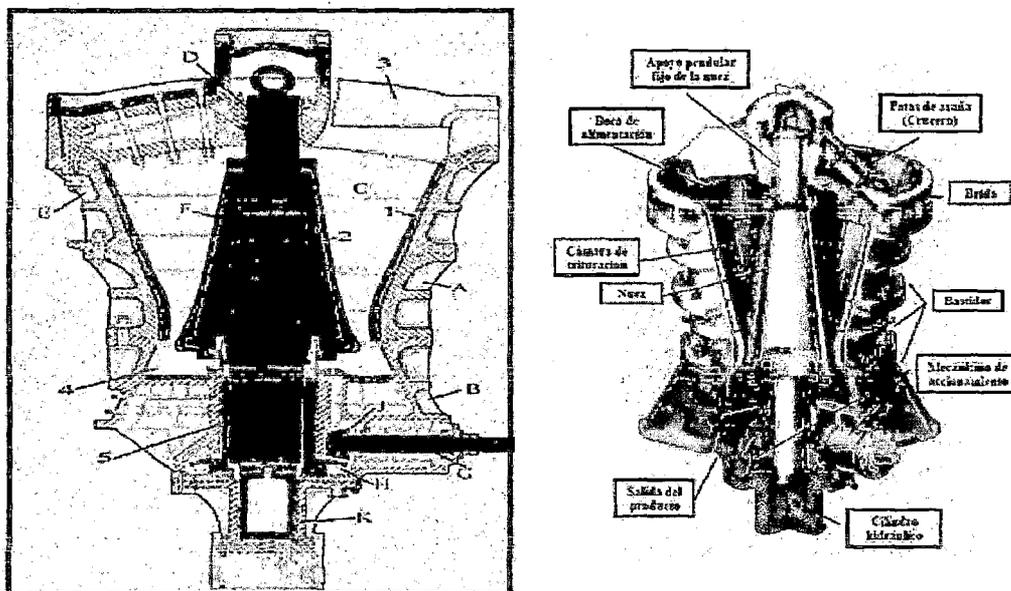
Las trituradoras giratorias<sup>16</sup> básicamente consisten en un eje vertical largo articulado por la parte superior a un punto (spider) y por la parte inferior a un excéntrico. Este eje lleva consigo un cono triturador. Todo este conjunto se halla ubicado dentro el cóncavo o cono fijo exterior. El conjunto, eje y cono triturador se halla suspendido del spider y puede girar libremente (85 – 150 rpm), de manera que en su movimiento rotatorio va aprisionado a las partículas que entran a la cámara de trituración (espacio comprendido entre el cono triturador y el cóncavo) fragmentándolas continuamente por compresión. El tamaño de estas máquinas se designa por las dimensiones de la abertura de alimentación (gape) y el diámetro de la cabeza (Head diameter). El tamaño de estas trituradoras puede variar desde 760 x 1400 mm a 21326 x 3300 mm, con capacidades de hasta 3000 TPH.

---

<sup>16</sup> Fuente: [www.insutec.mza](http://www.insutec.mza). Trituración Primaria y Secundaria de Minerales.

FIGURA N° 2. 9

SECCIÓN DE UNA TRITURADORA GIRATORIA



Fuente: QUIROZ NUÑEZ I. Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales

• **Comparación de Trituradoras Primarias**

Para decidir si se usará un triturador a mandíbula o uno giratorio en una determina planta, el principal factor es el tamaño máximo del material a triturarse y la capacidad requerida. Las trituradoras giratorias generalmente se usan donde se requiere elevada capacidad. Ya que ellas trituran en un ciclo completo, y son más eficientes que las chancadoras de mandíbula. En cambio, las trituradoras de mandíbulas se usan donde la abertura de la boca de alimentación es más importante que la capacidad para poder triturar partículas grandes. En general, a capacidades mayores de 545 TMPH, la ventaja económica de una trituradora de mandíbula frente a una

giratoria disminuye; y por encima de 725 TMPH, la trituradora de mandíbulas ya no puede competir con la giratoria.

## **b) Maquinaria para la Trituración Secundaria**

### **✓ Trituradoras Giratorias**

En este caso se usan las trituradoras giratorias similares a las utilizadas para la trituración primaria, pero de menor tamaño, a objeto de producir un tamaño adecuado de producto. Además, se caracterizan por ser menos robustas que las primarias.

### **✓ Trituradoras Cónicas**

Es una trituradora giratoria modificada. La diferencia principal es que el eje y cono triturador no están suspendidos del spider sino que están soportados por un descanso universal ubicado por debajo. Además, como ya no es necesaria una gran abertura de alimentación, el cono exterior ya no es abierto en la parte superior. El ángulo entre las superficies de trituración es el mismo para ambas trituradoras, esto proporciona a las trituradoras cónicas una mayor capacidad.

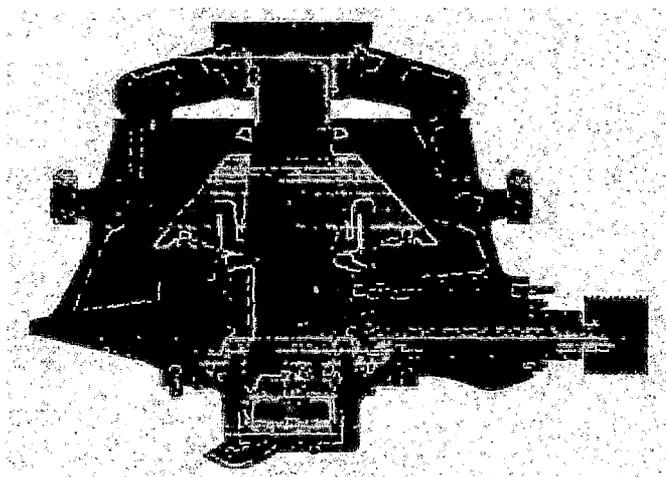
El tipo de trituradora cónica más utilizada es la Symons, la cual se fabrica en dos formas: Trituradora cónica Symons Standard (normalmente utilizada en la trituración secundaria) y Trituradora cónica Symons de cabeza corta (utilizada en la trituración fina o terciaria).

- **Trituradora Cónica Symons Estándar**

En la chancadora de cono Symons Standard se tiene un parte fija y otra parte móvil que gira. La parte fija no se mueve cuando trabaja la chancadora, en cambio la parte móvil (la campana) se bambolea de un lado para el otro lado, al mismo tiempo que gira contra la taza.

**FIGURA N° 2. 10**

**SECCIÓN DE UNA TRITURADORA CÓNICA**



Fuente: [www.insutec.mza](http://www.insutec.mza) Trituración Primaria y Secundaria de Minerales

Cuando el mineral es alimentado, éste es aplastado, fragmentándose en pedazos cada vez más pequeños. La medida de la trituradora secundaria de cono está dado por: diámetro de la campana.

La chancadora de cono estándar normalmente se usa en chancado secundario, tiene un revestimiento escalonado lo cual permite una alimentación más gruesa que la de cabeza corta. En estas máquinas el tamaño de admisión es relativamente grande, varia de 4 a 8 pulgadas en los modelos grandes de 7 pies hasta 2 1/2 a 4 pulgadas

en los modelos pequeños de 2 pies. En cuanto al tamaño del producto, éste varía de 4 a 3/4 pulgadas (100 mm a 19 mm) según el tamaño de la máquina. Las chancadoras de cono se pueden equipar con varios diseños de revestimiento para generar distintas cavidades de chancado, adaptándose a varios tipos de alimentación: fina, media gruesa y extra gruesa. Al seleccionar el tipo de cavidad debe cuidarse de obtener un diseño que permita que los tamaños mayores de la alimentación entren a la chancadora de manera eficiente.

- **Trituradora Cónica Symons de Cabeza Corta**

Normalmente se utiliza como chancador terciario o en una cuarta etapa de chancado. Sin embargo, es posible usarla en algunos casos como chancador secundario. La chancadora de cono cabeza corta tiene un ángulo de cabeza más agudo que la estándar, lo cual ayuda a prevenir atoramiento debido al material más fino que procesa. También tiene abertura de alimentación más pequeña (máximo alrededor de 4 pulgadas), una sección paralela mayor en la sección de descarga, y entrega un producto de 1/8 a 1 pulgadas (3 a 25 mm). La razón de reducción es este tipo de chancadora varía normalmente entre 1.5 y 2 a 1 y raramente más de 3:1.

• **Cálculo para la Selección de la Chancadora Cónica (Secundaria)**

El cálculo de la chancadora cónica<sup>17</sup> es similar al cálculo de la chancadora de mandíbulas, por lo tanto se utilizarán las mismas fórmulas enunciadas anteriormente. Para dimensionar la chancadora cónica, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

$C_d$ : Capacidad de diseño entrante a la chancadora cónica (TCH)

$P_{80}$ : Tamaño de la partícula del producto del 80% de pasante

$F_{80}$ : Tamaño de la partícula de alimentación del 80% de pasante

Tipo de circuito: cerrado con carga circulante, o abierto

W: Energía Necesaria

P: Potencia necesaria

fs: factor de seguridad

También se debe considerar el Tipo de Perfil de los forros de la chancadora (Bowl Liner y Manter Liner), esto para determinar el tamaño del producto final.

---

<sup>17</sup> RIVERA ZEBALLOS J. Compendio de Conminución. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2003.

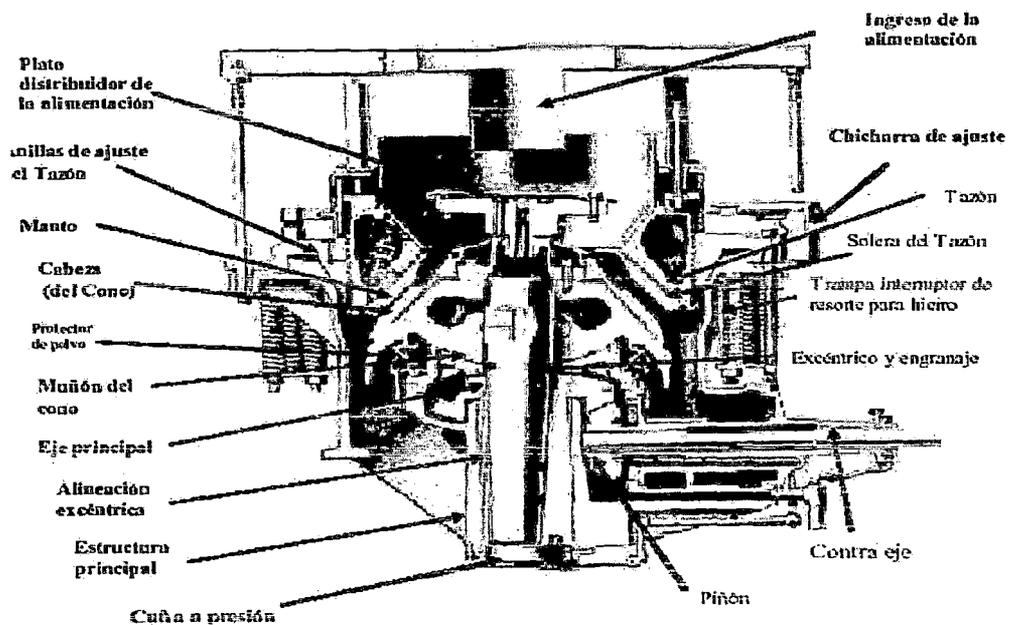
Con el tipo de perfil, la capacidad y el tamaño del producto final a la descarga, seleccionamos del catálogo el tipo de Chancadora Cónica correspondiente.

### ✓ Trituradora Hydrocónicas

Las chancadoras hydrocónicas son usadas principalmente para chancado primario, aunque se fabrican unidades para reducción más fina que pueden usarse para chancado secundario. La chancadora giratoria consiste de un largo eje vertical o árbol que tiene un elemento de molienda de acero de forma cónica, denominada cabeza el cual se asienta en un mango excéntrico.

FIGURA N° 2. 11

### SECCIÓN DE UNA TRITURADORA HYDROCÓNICA



Fuente: RIVERA ZEBALLOS J. Compendio de Conminución.

En cualquier sección cuadrada de la maquina hay en efecto dos sets de mandíbulas, abriéndose y cerrándose. Debido a que la chancadora giratoria chanca durante el ciclo completo, su capacidad es mayor que la de una chancadora de mandíbulas de la misma boca y generalmente se prefiere en aquellas plantas que tratan tonelajes grandes de material. En minas que tienen capacidades de chancado sobre 1000 tc/h, se seleccionan siempre chancadoras giratorias. La cabeza está protegida con un manto de acero al manganeso. El manto está respaldado con zinc, cemento plástico o más reciente, con resina epóxica. El perfil vertical con frecuencia tiene forma de campana para ayudar al chancado de material que tiene tendencia al atorado. El ángulo de mordida en este tipo de chancadora normalmente es mayor que al de mandíbulas, generalmente 25°.

### **c) Maquinarias para la Trituración Terciaria**

#### **✓ Trituradora Cónica**

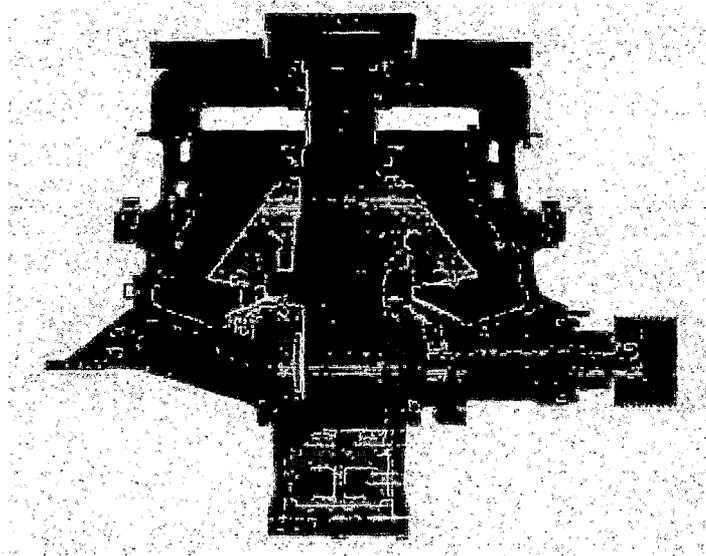
Para este trabajo se utiliza la trituradora cónica Symons de cabeza corta<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Fuente: [www.Insutec.mza](http://www.Insutec.mza). Trituración Primaria y Secundaria de Minerales.

**FIGURA N° 2. 12**

**TRITURADORA CÓNICA DE CABEZA CORTA**

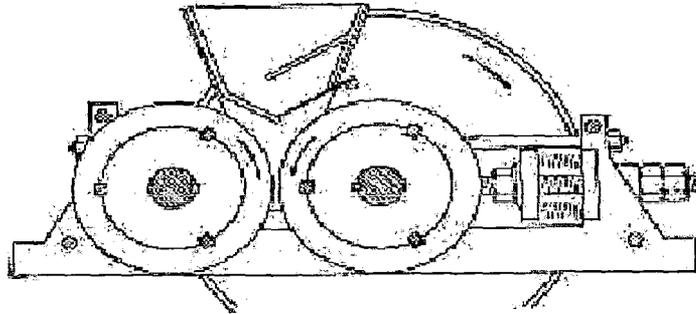


Fuente: [www.insutec.mza](http://www.insutec.mza) Trituración Primaria y Secundaria de Minerales.

✓ **Trituradora de Rodillos**

Estas trituradoras siguen siendo utilizadas en algunas plantas, aunque en otras han sido reemplazadas por las cónicas. El modo de operación consiste en dos rodillos horizontales los cuales giran en direcciones opuestas. El eje de una de ellas está sujeto a un sistema de resortes que permite la ampliación de la apertura de descarga en caso de ingreso de partículas duras. La superficie de ambos rodillos está cubierta por forros cilíndricos de acero al manganeso, para evitar el excesivo desgaste localizado. La superficie puede ser lisa para trituración fina y corrugada o dentada para trituración gruesa.

**FIGURA N° 2. 13**  
**TRITURADORA DE RODILLOS**



Fuente: [www.insutec.mza](http://www.insutec.mza) Trituración Primaria y Secundaria de Minerales.

#### **iv. Grizzlys o Zarandas Vibratorias**

El mineral que viene de la mina tiene gran cantidad de finos, de tamaños más pequeños de los que descargan las chancadoras.

Si esta carga fina entrara a las trituradoras le daríamos un trabajo innecesario a dichas máquinas, que podrían originar apelmazamientos en las chaquetas de las chancadoras y se tendría menos espacio disponible para triturar los trozos grandes, que son los que realmente necesitan ser chancados. También estos finos podrían causar atoros a las chancadoras. Para resolver estos problemas se usan las Zarandas Vibratorias<sup>19</sup>, los cedazos y grizzlys estacionarios o móviles.

El zarandeo consiste en la operación unitaria que permite separar un volumen de mineral en dos o más flujos en base a su tamaño, mediante la formación de un lecho de partículas de mineral que se

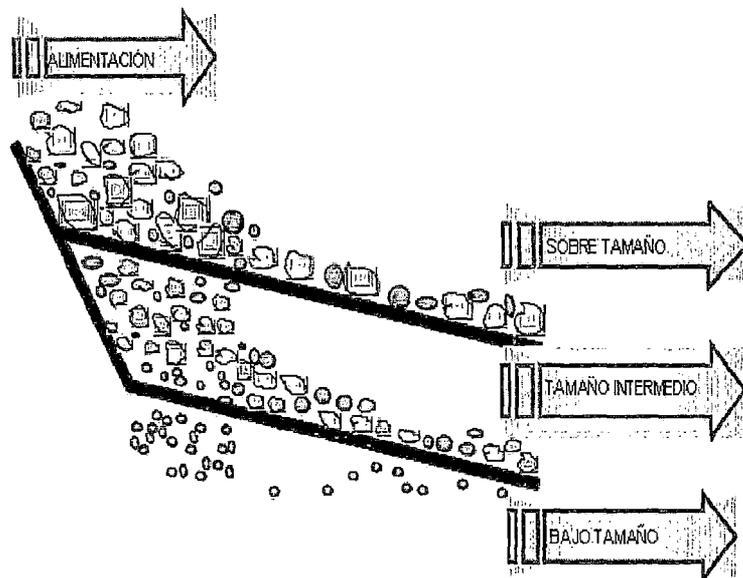
<sup>19</sup> Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Procesamiento de Minerales.

desplaza con movimiento vibratorio vertical sobre una superficie perforada. La luz de los cedazos ya sean de rieles o de mallas, siempre debe estar en relación con el tamaño de la descarga de la chancadora con la cual trabaja.

El material retenido en la malla se denomina **sobre tamaño** (oversize) mientras que el material que pasa a través de las aberturas se denomina **bajo tamaño** (undersize). En el caso que existan dos superficies separadoras, el tamaño que pasa la primera superficie y queda retenida en la segunda se denomina **tamaño intermedio**.

FIGURA N° 2. 14

#### CLASIFICACIÓN EN LA ZARANDA VIBRATORIA



Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) Procesamiento de Minerales.

#### ➤ Partes de la Zaranda Vibratoria

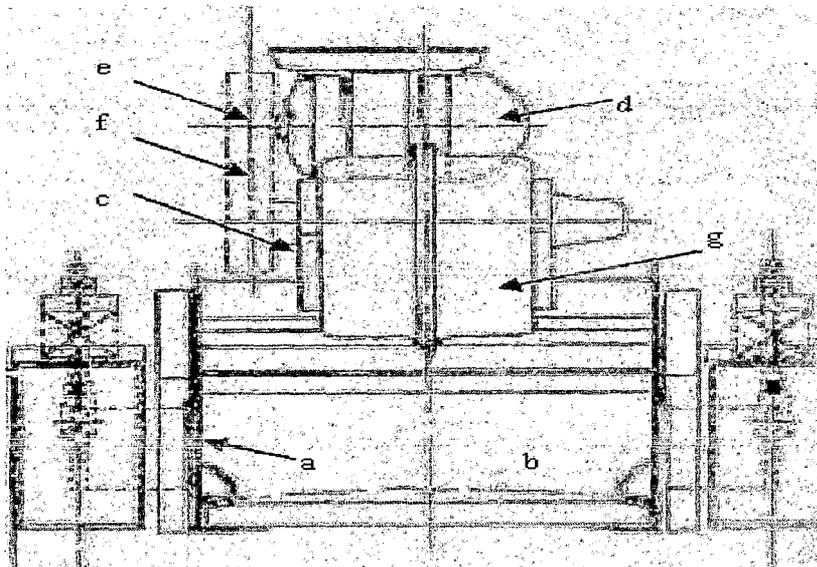
Las principales partes de una zaranda vibratoria son las siguientes

- a. El cuerpo de la zaranda

- b. La malla de la zaranda
- c. El eje excéntrico
- d. El chute de alimentación
- e. El chute de descarga de los finos
- f. El chute de descarga de los gruesos
- g. El sistema de movimiento, constituido por:
  - El motor, Polea del motor y Fajas “V”
  - Reductor de velocidad
  - Volantes

**FIGURA N° 2. 15**

**PARTES DE UNA ZARANDA VIBRATORIA**



Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) Procesamiento de Minerales.

### ➤ Cálculo para la Selección de la Zaranda Primaria

Para la selección de la zaranda<sup>20</sup>, existen 02 métodos:

1. Método 01: Asociación de Fabricantes de Tamices Vibratorios (AFTV)
2. Método 02: Allis Chalmers

Por la similitud en los resultados, utilizaremos el primer método.

Para determinar la Superficie del Tamizado (Ec. 7), tendremos en cuenta la siguiente fórmula:

$$S = \frac{C_d}{A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H \times J} \quad (\text{Ec. 7})$$

Los valores de A, B, C, D, E, F, G y J son factores que dependen de las condiciones de operación de la zaranda.

Se tiene que:  $S = L \times b$  (Ec. 8)

Donde:

L: longitud de la zaranda (pie)

b: ancho de la zaranda (pie)

---

<sup>20</sup> QUIROZ NUÑEZ I. Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1990.

Además, para fines de estandarización consideraremos:  $L = 2b$ .

Igualando las ecuaciones anteriores, obtenemos el ancho (Ec. 9)

mediante la siguiente relación:

$$b = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{C_d}{A x B x C x D x E x F x G x H x J} \right)} \quad (\text{Ec. 9})$$

Para determinar la Potencia de la Zaranda (Ec. 10), utilizaremos la siguiente fórmula:

$$P = \frac{C_d \times N^2 \times a^2}{4050000} * fs \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

N: vibración

a: amplitud

fs: factor de seguridad

La determinación de los factores A, B, C, D, E, F, G y J, lo obtendremos de la Figura E (ver anexos).

### ➤ Balance de Masa del Circuito de Chancado Primario

Para el balance de masa<sup>21</sup>, los resultados serán obtenidos a partir del

Análisis de Malla:

---

<sup>21</sup> QUIROZ NUÑEZ I. Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1990.

$$E = \frac{(f-r)*t}{(t-r)*f} * 100 \quad (\text{Ec. 11})$$

$$T = \frac{B*F*t}{t*100} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$R = F - T \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

E: Eficiencia de la zaranda vibratoria

F: Tonelaje de mineral fresco alimentario

T: Tonelaje de mineral tamizado

R: Tonelaje de mineral rechazado

f: Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en la alimentación

t: Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en el tamizado

r: Porcentaje de partículas finas inferiores que “d” en el rechazo

A, B, C, D, E: Puntos necesarios para la toma de muestras del análisis de maía

d: diámetro

#### ► Balance de Masa en el Circuito de Chancado Secundario

Para el balance de masa, se utilizarán las siguientes fórmulas para el circuito de chancado secundario con carga circulante.

$$F'' = T''$$

$$R'' = CC$$

Aplicando el balance de materia, se tiene que:

$$F'' + CC = R'' + T''$$

$$F'' * f'' + CC * cc = R'' * r'' + T'' * t''$$

$$F'' * f'' + R'' * cc = R'' * r'' + F'' * t''$$

Reemplazando:

$$F * (f'' - t'') = R'' * (r'' - cc) \quad (\text{Ec. 14})$$

Por definición:

$$\text{Relación de carga circulante} = CC = \frac{R''}{F''} = \frac{f'' - t''}{(r'' - cc)} \quad (\text{Ec. 15})$$

$$\%CC = \frac{R''}{F''} * 100 = \frac{f'' - t''}{(r'' - cc)} * 100 \quad (\text{Ec. 16})$$

$$\text{Tonelaje de carga circulante} = R'' = CC * F''$$

Luego:

$$R'' = \frac{f'' - t''}{(r'' - cc)} * F'' \quad (\text{Ec. 17})$$

## **v. Fajas Transportadoras**

### **➤ Introducción**

Las bandas y rodillos transportadores<sup>22</sup> son elementos auxiliares de las instalaciones cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y conducirlo a otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada. Se han inventado muchas formas para el transporte de materiales, materias primas, minerales y diversos productos, pero una de las más eficientes es el transporte por medio de bandas y rodillos transportadores, ya que estos elementos son de una gran sencillez de funcionamiento y una vez instalados en condiciones normales suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

### **➤ Características Generales**

Las bandas transportadoras son dispositivos para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son:

- Gran velocidad.
- Grandes distancias (10 km).

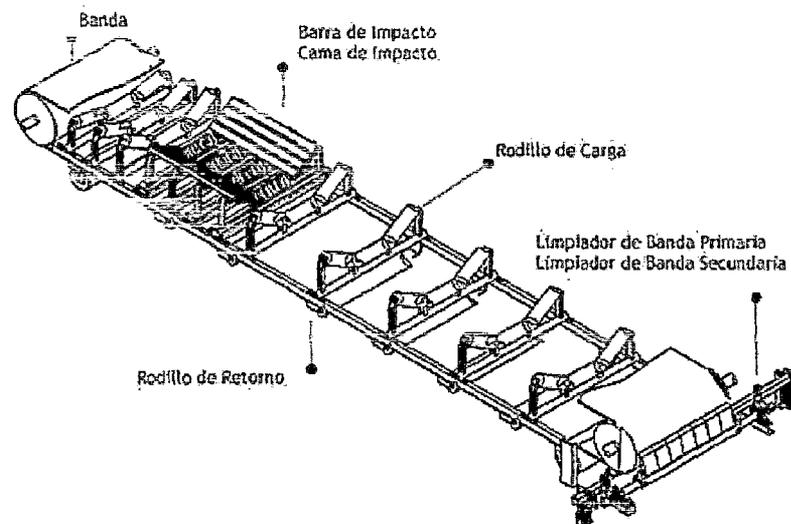
---

<sup>22</sup> PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores. Editorial Mac Graw Hill. Impreso en Madrid (España). 1992.

La Figura N° 2.16 muestra un esquema general de una cinta transportadora. En él se pueden ver los distintos elementos que componen una banda.

FIGURA N° 2. 16

### ELEMENTOS DE UNA BANDA TRANSPORTADORA



Fuente: PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores.

Los sistemas de fajas transportadoras son un mecanismo ampliamente utilizado en procesos industriales para el movimiento de materiales particulados tanto a cortas como a largas distancias, debido a que estas son de un mecanismo de movimiento continuo.

Las correas transportadoras, representan una gran inversión de capital, por lo tanto un correcto diseño de todo el equipo involucrado en este sistema de transporte es de vital importancia para las

empresas, además de realizar adecuados periodos y labores de  
mantención.

**FIGURA N° 2. 17**

**CORREA TRANSPORTADORA**



Fuente: PIRELLI, William Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores.

➤ **Tipos de Bandas**

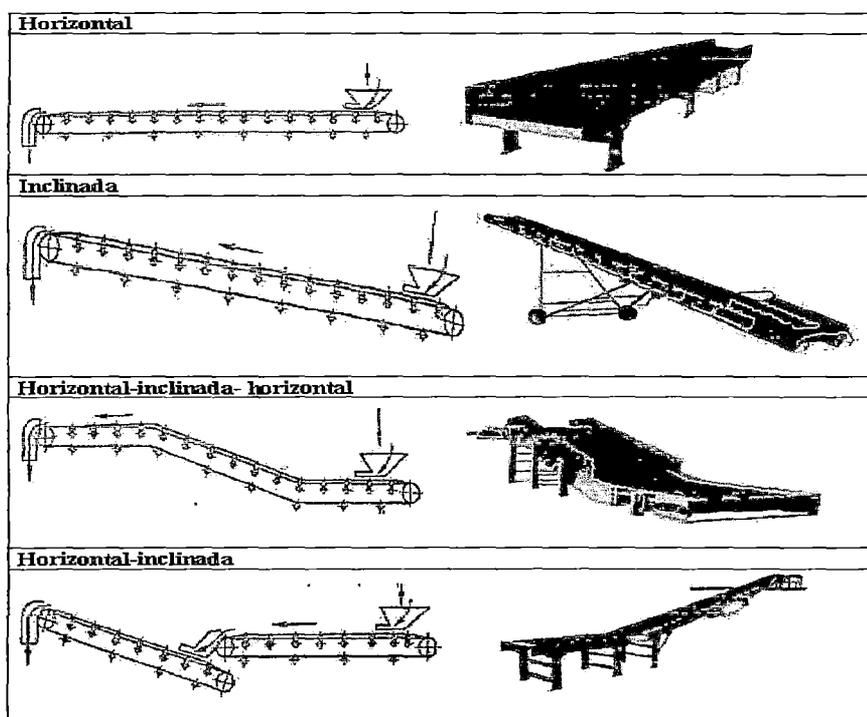
• **Dependiendo de la Movilidad**

Se denominan cintas fijas aquéllas cuyo emplazamiento no puede cambiarse. Por el contrario, las bandas móviles están provistas de ruedas u otros sistemas que permiten un cambio fácil de ubicación. Generalmente se construyen con altura regulable mediante un sistema que permite variar la inclinación de transporte.

- **Dependiendo de la Posición**

En función de la posición en la que se encuentre la banda o las posiciones que ocupen sus diferentes módulos o partes, las cintas transportadoras se clasifican según muestra la Figura N° 2.18.

**FIGURA N° 2. 18**  
**CLASIFICACIÓN DEPENDIENDO DE SU POSICIÓN**



Fuente: PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores

- **Dependiendo del Tipo de Banda y Material a Transportar**

- **Bandas de Caucho**

Este tipo de bandas se utilizan para el transporte, tanto exterior como interior, de productos y/o materiales a granel, en condiciones desde ligeras hasta muy duras. Las áreas típicas de trabajo para estas

bandas son: canteras y movimiento de tierras, minería, puertos de carga y descarga, cerámica y vidrio, cemento y hormigón, piensos y cereales, etc.

En función de la inclinación requerida y el material transportado se utiliza una de las bandas que se muestran en la Tabla N° 2.2.

**TABLA N° 2. 2**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS BANDAS DE CAUCHO**

INCLINACION	TIPO BANDA	MATERIAL TRANSPORTADO
20°	LISA	Paquetes, fardos y productos a granel.
30°	NERVADA	Productos a granel (secos).
40°	NERVADA	Fardos o productos a granel (húmedos).
40°	RUGOSA	Bultos y paquetería.
70°	CON PERFILES	Productos a granel.
90°	CON PERFILES	Ejecuciones especiales.

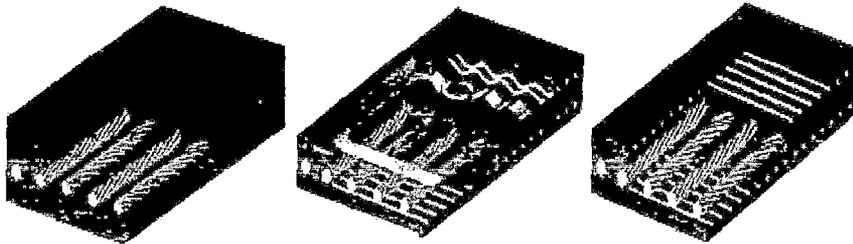
Fuente: PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores

**- Bandas Plásticas con Refuerzo Interior Metálico**

Este tipo de bandas están formadas por plásticos y gomas más o menos duros dependiendo de las condiciones del transporte, material a transportar, distancia, etc. y por unos refuerzos internos formados por cables retorcidos de acero

Son óptimas para el transporte de material pesado y dependiendo de las condiciones se utilizarán unas distribuciones de los cables u otras. En la Figura N° 2.19 se muestran algunos ejemplos.

**FIGURA N° 2. 19**  
**TIPOS DE REFUERZOS INTERIORES METÁLICOS**



Fuente: PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores

#### **- Bandas Tipo Tubo**

Cuando se requiere de un ambiente de trabajo impecablemente limpio, lo más conveniente es emplear un sistema de sellado para la banda transportadora.

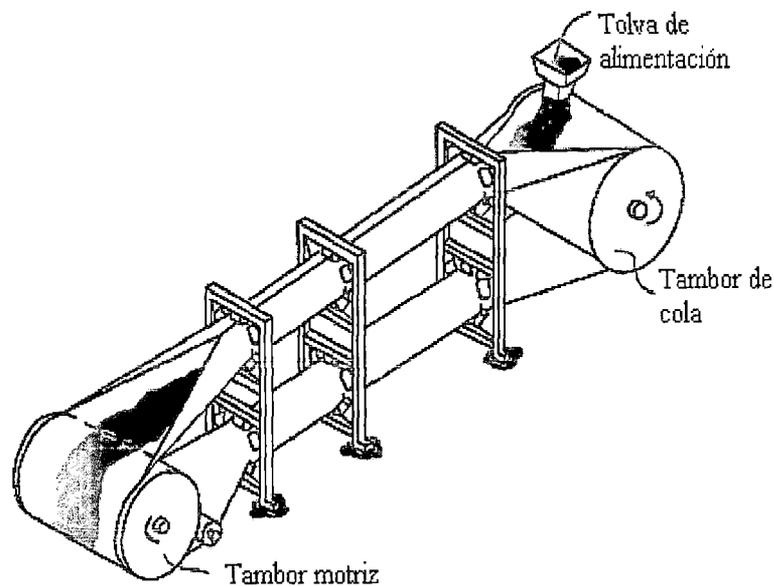
La banda tipo tubo permite transportar materiales sin derramamiento, incluso en el retorno de la banda. También permite sistemas inclinados y con curvas que ayudan a disminuir espacio en el equipo. Por otra parte, simplifica el transportador y asegura un ambiente libre de contaminación.

Las principales características de las bandas tipo tubo son:

- Evita derramamientos de material y que el producto transportado sea contaminado con sustancias que puedan caer sobre él.
- Permite curvas inclinadas simplificando el sistema y disminuyendo espacio.
- Se logra un nivel más bajo de ruido y vibración.

**FIGURA N° 2. 20**

**ESQUEMA GENERAL DE LA BANDA TIPO TUBO**



Fuente: PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores

**➤ Aplicaciones**

Las bandas transportadoras tienen varias características importantes que respaldan su aplicación en la industria y que se muestran a continuación:

- Son independientes de los trabajadores, es decir, se pueden colocar entre máquinas o edificios y el material colocado en un extremo llegará al otro sin necesidad de intervención humana.
- Proporcionan un método eficaz para el manejo de materiales mediante el cual los materiales no se extravían con facilidad.
- Se pueden utilizar para fijar el ritmo de trabajo siguiendo rutas fijas. Esto las hace adecuadas para la producción en masa o en procesos de flujo continuo.

Las principales aplicaciones de las bandas transportadoras se dan mayormente en la minería, construcción, industria alimenticia e industria motriz entre otros. A continuación se muestran algunos ejemplos.

#### ❖ **Minería**

El sistema de transporte con banda es muy eficiente en la minería ya que posee las siguientes características:

- Opera en su propia cama de rodillos, los cuales requieren un mínimo de atención y mantenimiento.
- Los transportadores pueden seguir la naturaleza ordinaria del terreno debido a la habilidad que poseen para atravesar pasos relativamente inclinados (pendientes y gradientes de hasta 18°, dependiendo del material transportado). Con el desarrollo de

tensiones elevadas, materiales sintéticos y/o miembros reforzados de acero, el sistema transportador puede extenderse a lo largo de kilómetros de terreno con curvas horizontales y verticales sin ningún problema.

- Tienen poco desgaste al trabajo agreste y duro de la minería.
- Las bandas transportadoras son importantes en la minería o en excavaciones, en donde dos o más operaciones de cavado pueden dirigirse a un mismo punto central de carga. En el final de la descarga, el material puede ser enviado en diversas direcciones desde la línea principal a la vez que puede ser descargado en cualquier punto a lo largo del transportador mediante la maquinaria complementaria para este efecto.

#### ❖ **Construcción**

Las bandas presentan grandes garantías en este proceso ya que poseen las siguientes propiedades:

- Facilidad y rapidez en el montaje ya la banda puede ser armada y desarmada con gran facilidad.
- Gran capacidad para el transporte de material a grandes distancias.
- Rapidez en la conducción del material al lugar de trabajo con seguridad y eficiencia.

### ❖ **Industria Alimentaria**

Las bandas transportadoras en la industria alimentaria es uno de los campos de aplicación donde este sistema, es más utilizado debido a las siguientes características:

- Agiliza la producción ya que posee una velocidad constante y sin interrupción.
- Es higiénico, lo cual hace que el producto no se contamine con bacterias, suciedades u otros factores que podrían alterarlo.
- Puede ser instalado en interiores para obtener una mayor protección del producto.

### ❖ **Industria Motriz**

En la industria motriz la banda transportadora resulta de gran utilidad ya que presenta las siguientes ventajas:

- Las líneas modulares de las cintas transportadoras pueden ser extendidas, acortadas o reubicadas con un mínimo de trabajo y tiempo.
- No tiene competencia en cuanto a capacidad de transporte. A una velocidad de 5 m/s puede descargar más de 100 toneladas métricas por minuto de materia prima.
- Su gran eficiencia reduce los costes de producción.

## ➤ **Cálculo de un Sistema de Transporte por Fajas Transportadoras**

### • **Capacidad Requerida y Capacidad Máxima**

La capacidad requerida<sup>23</sup> es expresada en toneladas por hora y es el valor máximo de capacidad requerida por el proceso (no el valor promedio). Esta capacidad se empleará en los cálculos de las tensiones en la banda y la potencia requerida para accionar la cinta transportadora.

Por otra parte, también deberá calcularse la capacidad máxima de transporte. Esta capacidad dependerá del ancho de cinta que se seleccione, de la velocidad de la banda, del ángulo de inclinación de los rodillos transportadores y de la densidad del material transportado. La capacidad máxima calculada deberá ser mayor que la capacidad requerida para que la banda opere sin problemas.

### • **Características Geométricas de la Banda Transportadora**

Para el cálculo y diseño de la banda transportadora es necesario definir la trayectoria de recorrido de la cinta desde el lugar de alimentación del material hasta el punto de descarga del mismo, el cual en la mayoría de los casos corresponde al cabezal motriz o de accionamiento. Para ello se deben definir los siguientes parámetros:

---

<sup>23</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

- **Proyección Horizontal de la Longitud Total de la Banda (L)**

La proyección horizontal total (Ec. 18) es la distancia en metros medida a lo largo de la cinta entre centros de los tambores terminales en su proyección horizontal.

Se define como el sumatorio de todos los tramos horizontales más el sumatorio de la proyección horizontal de todos los tramos inclinados.

$$L = \sum L_h + \sum L_p \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

$L_h$ : Longitud de los tramos horizontales (m).

$L_p$ : Longitud de la proyección horizontal de los tramos inclinados (m).

- **Altura (H)**

Con altura se hace referencia a la diferencia de elevaciones entre los puntos de carga del material sobre la banda y el de descarga. Esta longitud es requerida para calcular la tensión necesaria para bajar o levantar dicha carga. Para una banda transportadora con varios tramos de elevación se debe especificar la altura correspondiente a cada tramo a lo largo de la trayectoria de la banda, siendo este valor negativo en el caso de que el recorrido sea descendente.

- **Longitud de los Tramos Inclinados ( $L_i$ )**

La longitud de los tramos inclinados (Ec. 19) es la distancia en metros de todos los tramos inclinados de la banda medida a lo largo de la trayectoria de la banda y se calcula de la siguiente manera:

$$L_i = \sqrt{H^2 + L_p^2} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

H: Altura (m).

$L_p$ : Longitud de la proyección horizontal de los tramos inclinados (m).

- **Ángulo de Inclinación de la Banda ( $\varphi$ )**

El ángulo de inclinación (Ec. 20) de la banda viene determinado por el tipo de material a transportar y por el ángulo máximo de inclinación del material sin que se produzca deslizamiento del mismo sobre la banda. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$\varphi = \text{Arctg}^{-1}\left(\frac{H}{L_p}\right) \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

H: Altura (m).

$L_p$ : Longitud de la proyección horizontal de los tramos inclinados (m).

- **Longitud Total de la Trayectoria de la Banda ( $L_t$ )**

La longitud total de la trayectoria (Ec. 21) de la banda es la distancia total de la banda transportadora desde el punto de alimentación hasta el punto de descarga medida a lo largo de la trayectoria de la banda.

Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = \sum L_h + L_i \quad (\text{Ec. 21})$$

$L_h$ : Longitud de los tramos horizontales (m).

$L_i$ : Longitud de los tramos inclinados (m).

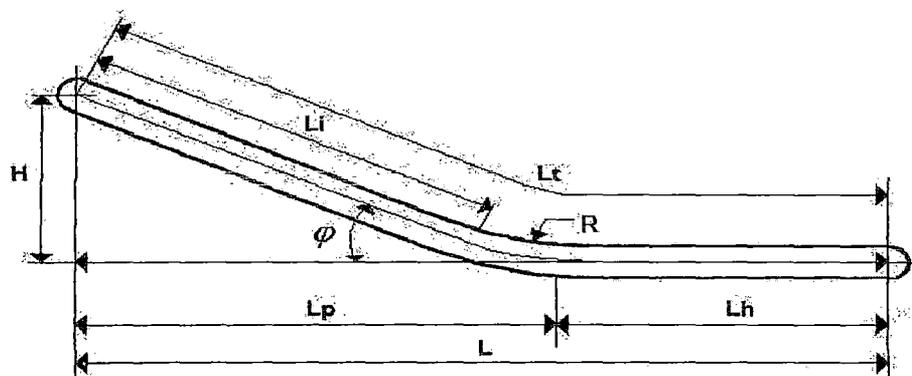
- **Radio de Curvatura (R)**

El radio de curvatura es aquel formado entre el tramo horizontal y el tramo inclinado de la banda. Este radio de curvatura puede ser cóncavo o convexo.

A continuación, en la Figura N° 2.21 se muestra un esquema con todos los conceptos geométricos anteriormente descritos.

**FIGURA N° 2. 21**

**ESQUEMA GEOMÉTRICO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

L: Longitud de la proyección horizontal de la longitud total de la banda (m).

$L_h$ : Longitud del tramo horizontal (m).

$L_p$ : Longitud de la proyección horizontal de los tramos inclinados (m).

H: Altura de elevación del material (m).

$\phi$ : Ángulo de inclinación de la banda ( $^\circ$ ).

R: Radio de curvatura vertical (m).

$L_i$ : Longitud del tramo inclinado (magnitud real) (m).

$L_t$ : Longitud total de la trayectoria de la banda (m).

#### • Ancho de Banda

Conocidos el tonelaje horario a transportar y las características del material, el primer paso será determinar el ancho de la banda. En la selección del ancho de banda<sup>24</sup> tiene una gran importancia el tamaño de material a transportar. Para un mismo tonelaje horario a transportar, un material de granulometría reducida requerirá una banda más estrecha que otro que esté constituido por granos de mayor tamaño. Como regla general, al ancho de banda no debe ser menor de tres veces la dimensión más grande del mayor grano de material a transportar.

---

<sup>24</sup> LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras. Madrid. Editorial Dossat 2000. 2002.

Por lo tanto, para decidir un valor orientativo del ancho mínimo de banda se debe considerar el tipo de material y el tamaño de grano del mismo.

- **Velocidad de la Banda Transportadora**

La velocidad se ve afectada por la degradación de materiales friables, pérdidas de material muy liviano o pulverizado, impacto de los terrones en los rodillos de carga, etc. Otros factores que influyen en la selección de la velocidad son la capacidad requerida, la tensión resultante en la banda y la potencia requerida. Es deseable seleccionar una velocidad de banda de forma que la cinta se encuentre lo más ocupada posible, produciendo de esta forma un mejor patrón de desgaste de la cubierta de la banda. Tomando en consideración la densidad del material, el tamaño de terrón y ancho de banda, la Tabla N° 2.3 muestra los valores normalizados s/DIN 22101 de máxima velocidad de la banda y las velocidades recomendadas en función del tamaño de grano y el ancho de banda.

**TABLA N° 2.3**

**VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

VELOCIDADES DE BANDA NORMALIZADAS (m/s) DIN. 22101									
0,66	0,84	1,05	1,31	1,68	2,09	2,62	3,35	4,19	5,24
VELOCIDAD DE BANDA MAX. RECOMENDADA (m/s)									
Ancho de banda (mm)	Tamaño de grano (mm)								
	< 30	30-300	> 300						
400	2.09	1.68	1.31						
500	3.35	2.09	1.68						
650	3.35	2.09	1.68						
800	3.35	2.62	2.09						
1000	4.19	2.62	2.09						
1200	4.19	2.62	2.09						
1400	4.19	3.35	2.09						
1600	4.19	3.35	2.62						
1800	4.19	3.35	2.62						
2000	5.24	3.35	2.62						
2200	5.24	3.35	2.62						

Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras.

• **Capacidad Máxima de Transporte**

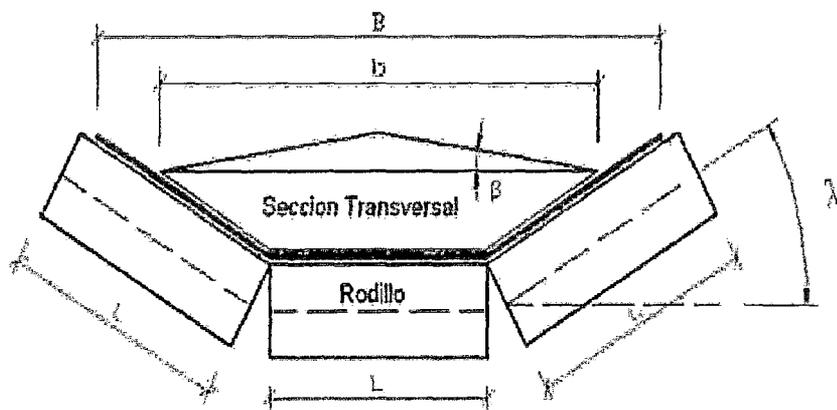
La capacidad volumétrica<sup>25</sup> de una banda transportadora está determinada por el área de la sección transversal de la carga que puede ser apilada encima de la cinta sin ocasionar derrame del material y pequeñas ondulaciones de la banda a su paso sobre los rodillos. Esta área de la sección transversal se ve afectada por las características del material comentadas anteriormente y es un factor determinante en el ángulo de sobrecarga.

<sup>25</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

El área de la sección transversal de la carga sobre la banda en función de la forma de los rodillos portantes y viene determinada por las siguientes ecuaciones (ver Figura N° 2.22).

- **Rodillos en Terna**

**FIGURA N° 2. 22**  
**RODILLOS EN TERNA**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

$$A = \frac{1}{4} b^2 (\tan \beta + 0.75 \tan \lambda) \quad (\text{Ec. 22})$$

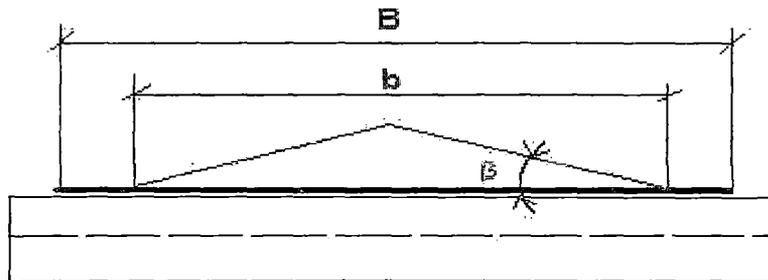
Donde:

$$b = 0.9B - 0.05, \text{ si } B < 2 \text{ m.}$$

$$b = B - 0.2, \text{ si } B > 2 \text{ m.}$$

- **Rodillo Plano**

**FIGURA N° 2. 23**  
**RODILLO PLANO**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

$$A = \frac{1}{4} b^2 (\tan \beta) \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

$$b = 0.9B - 0.05, \text{ si } B < 2 \text{ m.}$$

$$b = B - 0.2, \text{ si } B > 2 \text{ m.}$$

De esta forma, la capacidad volumétrica de carga (Ec. 24) de la banda transportadora, conocida el área de la sección transversal del material y la velocidad de transporte de la banda, puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$Q_v = 3600Av \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

$Q_v$ : Capacidad volumétrica de la banda ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$A$ : Área de la sección transversal del material ( $\text{m}^2$ ).

$v$ : Velocidad de la banda ( $\text{m/s}$ ).

Si la banda transportadora tiene inclinación, ya sea ascendente o descendente, el área efectiva de la sección transversal del material se reduce de acuerdo a un factor de inclinación (Ec. 25) en función del ángulo de pendiente de la banda. Este factor por inclinación de banda  $k$  puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$k = 1 - 1.64\left(\frac{\varphi\pi}{180}\right)^2 \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

$k$  : factor de inclinación de la banda.

$\varphi$ : ángulo de inclinación de la banda ( $^\circ$ ).

Para una mayor comodidad, la Tabla N° 2.4 muestra los valores del factor  $k$  para unas pendientes de inclinación determinadas.

**TABLA N° 2. 4**  
**FACTOR (K) DEBIDO A LA INCLINACIÓN DE LA BANDA**

Inclinación ( $^\circ$ )	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
K	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85	0,81

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

Por lo tanto, la capacidad volumétrica efectiva (Ec. 26) para bandas con inclinación ascendente o descendente viene dada por la ecuación:

$$Q_v = 3600Avk \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$Q_v$ : Capacidad volumétrica de la banda ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

A: Área de la sección transversal del material ( $m^2$ ).

v: Velocidad de la banda (m/s).

k: Factor de inclinación de la banda.

La capacidad de transporte (Ec. 27) en toneladas por hora, se obtiene multiplicando la capacidad volumétrica por el peso específico del material transportado:

$$Q_t = \gamma Q_v \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

$Q_t$ : Capacidad de la banda (t/h).

$Q_v$ : Capacidad de la banda ( $m^3/h$ ).

$\gamma$ : Peso específico del material transportado ( $t/m^3$ )

• **Peso por Unidad de Largo del Material Transportado ( $W_m$ )**

Está en función de la velocidad y el flujo del material (flujo de diseño). El peso por unidad de largo (Ec. 28) que soporta la faja, utilizando el método de cálculo que presenta CEMA, se tiene que:

$$W_m = \frac{33.33 \times Q_d}{v} \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

$Q_d$  es el flujo másico de diseño a transportar en tph.

V es la velocidad de la faja.

- **Peso por Unidad de Largo de la Faja sin Carga ( $W_b$ )**

Se obtiene según el tipo de material transportado y el ancho de la faja, CEMA relaciona estos factores.

➤ **Componentes de las Fajas Transportadoras**

- **Polines y Soporte**

Los polines<sup>26</sup> corresponden a dispositivos mecánicos que tienen como función el guiar la carrera que siguen las correas transportadoras. De esta forma los polines son piezas rotatorias de geometría cilíndrica que giran en función del movimiento de la correa. Para la elección del polín se utiliza la norma internacional CEMA.

- **Polines de Carga**

Las cintas acanaladas cargan mayor tonelaje que las planas, para un mismo ancho y velocidad de cinta. Los polines con rodillos levantados a 35° y 45° mientras proporcionan mayor capacidad de carga para un ancho dado, mayor flexibilidad demandará la cinta. A estas inclinaciones los polines tienen una historia más corta de aplicación que los que trabajan con rodillos a 20°.

---

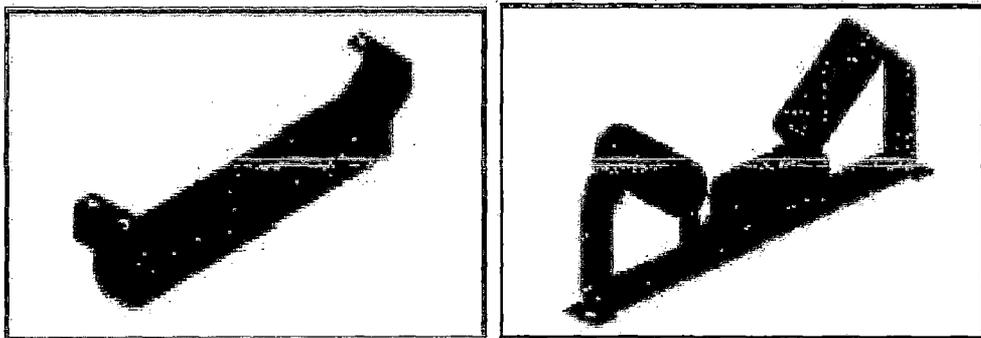
<sup>26</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

- **Polines de Retorno**

Estos polines son usados para soportar la cinta en el camino de retorno. Usualmente están suspendidos debajo de la misma estructura que soporta los polines de carga. Siempre se prefiere que los polines sean montados de tal forma que el camino de retorno de la cinta quede visible bajo la armazón del transportador.

**FIGURA N° 2. 24**

**POLINES DE CARGA Y DE RETORNO**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

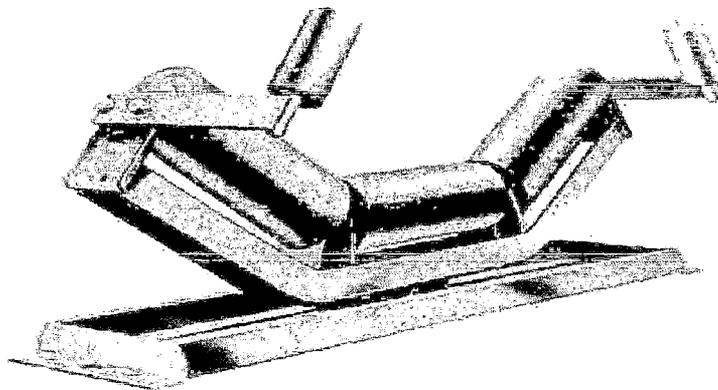
- **Polines Guía**

Un buen diseño acompañado de una cuidadosa construcción, y posteriormente un buen mantenimiento, haría que la cinta con una correcta alineación no necesitase ningún polín guía especial. No obstante, existen situaciones transitorias que pueden causar desalineación en la cinta, a pesar de todo el esfuerzo que se haya hecho en una apropiada instalación y en un buen mantenimiento. Los polines guía usuales tienen un armado con rodillos de carga montado sobre un pivote central aproximadamente perpendicular a la cinta

transportadora. Estos rodillos, por el pivoteo tratan de que la cinta se asiente bien durante el sesgo, y posteriormente la misma sea estimulada a regresar a la línea central por medio de los pequeños rodillos laterales de sesgo.

**FIGURA N° 2. 25**

**POLINES GUÍA**

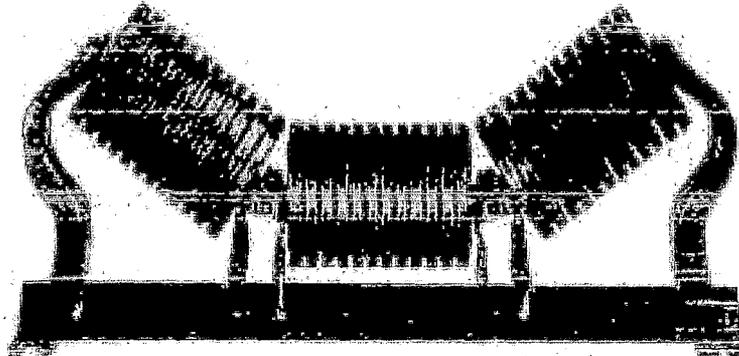


Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

• **Polines de Impacto**

Conocidos algunas veces como “polines de amortiguamiento” están formados por rodillos hechos de un material resiliente, y son usados en los puntos de carga donde, por el impacto de material pesado y con terrón de cierto tamaño, la cinta pudiera sufrir serios daños, sobre todo si se usasen rodillos rígidos. Los polines de impacto más frecuentemente usados, tienen rodillos formados por resilientes discos espaciados. Los discos resilientes usualmente son consumidos en favor de la protección de la correa.

**FIGURA N° 2. 26**  
**POLINES DE IMPACTO**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

• **Espaciamiento de los Polines de Carga**

Los factores a considerar para la selección del espaciamiento de los polines son: el peso de la correa, el peso del material, la clasificación del bastidor, la flecha, la vida del polín, capacidad de la correa, y la tensión de la correa. Si demasiada flecha se permite el material puede derramarse por los bordes de la correa. La lista de los espaciamientos normales sugeridos (véase Anexos Tabla A-5), para polines acanalados de uso general en la práctica ingenieril, cuando la cantidad de flecha no está específicamente limitada.

• **Espaciamiento en los Polines de Retorno**

El espaciamiento normal sugerido en los polines de retorno (véase Anexos Tabla A-5) para el trabajo de los transportadores en general están normados.

- **Espaciamiento de los Polines de Carga en los Puntos de Carga**

En los puntos de carga, los polines deberían espaciarse para mantener la correa fija y en contacto con el bordeado de goma de los delantales a lo largo de su longitud entera. Normalmente los polines de carga, en la zona de cargado, son espaciados a la mitad (o menos) del espaciamiento normal sugerido (véase Anexos Tabla A-5). Por precaución, si han de usarse polines de impacto en las zonas de cargado; debe recordarse que la capacidad de los polines de impacto no es más alta que la de los polines estándar.

La buena práctica dicta que el espaciamiento de los polines en las áreas de carga, debe ser tal que la mayor porción de carga quede entre los polines.

- **Espaciamiento de Polines Adyacentes a Poleas Terminales**

En el paso desde el último polín a la polea terminal, los bordes de la cinta se estiran incrementándose la tensión de la cinta hacia fuera de los bordes. Si el esfuerzo en el borde de la cinta llegase a exceder el límite elástico del tejido, dicho borde se alargaría de manera permanente y causaría dificultades en el guiado de la cinta. Así pues, si los polines acanalados son ubicados demasiado lejos de la polea terminal, es muy probable que ocurra el derramamiento de la carga.

Las distancias de transición recomendadas (véase Anexos Tabla A-6) para varios ángulos de canal, tensión de cinta, y tipos de correaje están normadas. En ningún caso debería excederse la capacidad del polín.

- **Selección de los Polines**

Después de haber sido determinado el ancho de la correa y la velocidad, toca seleccionar el polín clasificado apropiado. La selección está sujeta a tres condiciones: el tipo de servicio, las características del material a ser manejado, y la velocidad de la cinta.

- **Tipo de Servicio**

Es muy importante conocer bien la condición sobre la cual va a ser usado el polín. Esto incluye horas de operación por día, la expectativa de vida del sistema transportador y el ambiente en el cual estará inmerso el polín.

- **Tipo de Material Manejado**

Las características del material tienen que ver directamente con la selección del polín. El peso del material gobierna la carga y el espaciamiento del polín, y el tamaño del terrón modifica el efecto del peso introduciendo un factor de impacto. La combinación el peso unitario y el tamaño del terrón (véase Anexos Tabla A-12) en un

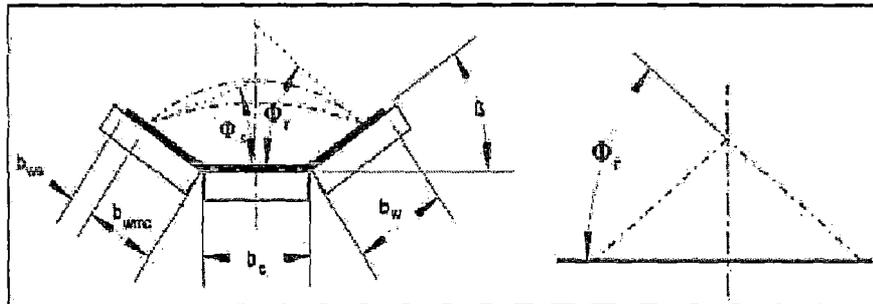
grupo de factores empíricos; note que en la tabla el “Lump Size” se refiere al mayor terrón que puede ocasionalmente ser cargado, en vez de tomar el terrón “promedio”.

- **Cálculo del Espaciamiento entre Polines**

- ❖ **Sección Transversal**

FIGURA N° 2. 27

**ÁREA DE CARGA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

Está en función de:

- Determinación del ángulo de reposo ( $\phi_r$ ),
- Determinación del ángulo de sobrecarga ( $\phi_s$ ) del material y
- Determinación del ángulo de artesa ( $\beta$ )
- Ancho de la faja ( $b$ )

- ❖ **Determinación del Ancho de Faja ( $b$ )**

Se debe considerar:

1. Tamaño máximo del material transportado.

2. Granulometría del material.

3. Ángulo de sobrecarga,  $\theta_s$

Luego, determinamos el ancho de la faja (véase la Tabla A-1, en la página 238) de acuerdo a estas premisas.

El espaciamiento entre rodillos de carga y retorno (véase Anexos Tabla A-5), lo determinamos con el ancho de banda.

El espaciamiento entre rodillos de impacto, normalmente es la mitad (o menos) del espacio entre rodillos de carga.

Determinamos el espaciamiento entre rodillos adyacentes a las poleas terminales (véase Anexos Tabla A-6) de cola y motriz.

#### ➤ **Tensión de la Faja, Potencia de Accionamiento**

La ingeniería en transportadores de cinta, su análisis, información y fórmulas presentadas en este trabajo, representan el mejoramiento reciente en conceptos y datos que han sido desarrollados por años, combinando la observación real de operación del transportador de cinta con la más apropiada teoría matemática. Las fórmulas de potencia y tensión incorporan sucesivamente todos los factores que afectan la fuerza total necesaria para mover la cinta y su carga. Estas fórmulas tienen el consenso de todas las compañías agrupadas en la CEMA.

### • Cálculo de la Tensión Efectiva

Para determinar la tensión efectiva<sup>27</sup> de la cinta,  $T_e$ , es necesario identificar y evaluar cada una de las fuerzas individuales que actúan sobre la cinta para el manejo de ésta desde la polea de accionamiento.  $T_e$  es la sumatoria final de las tensiones producidas por fuerzas tales como:

- La carga gravitacional para levantar o bajar el material que ha de ser transportado.
- La resistencia a la fricción de los componentes del transportador, accionamiento, y todos los accesorios, mientras la cinta opera a la capacidad de diseño.
- La resistencia por fricción del material desde el momento en que está siendo transportado.

La fuerza requerida para acelerar el material continuamente desde el momento en que es alimentado la cinta desde un chute o un alimentador. La fórmula básica para el cálculo de la tensión efectiva (Ec. 29) está dada por la siguiente expresión:

$$T_e = LxK_t(K_x + K_yW_b + 0.015W_b) + W_m(LxK_y \pm H) + T_p + T_{am} + T_{ac} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

---

<sup>27</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

L: largo de la faja

$K_t$ : factor de corrección por temperatura

$K_x$ : factor de resistencia a la fricción y el deslizamiento de los polines con la faja. Está dada por:

$$K_x = 0.00068 x (W_b + W_m) + \frac{A_i}{S_i} \quad (\text{Ec. 30})$$

De donde,  $A_i$  lo obtenemos de la norma CEMA

$K_y$ : factor de carga que representa la resistencia a la flexión de la faja y el material al pasar sobre los polines. Está dada por:

$$K_y = (W_m + W_b) x A x 10^{-4} + B x 10^{-2} \quad (\text{Ec. 31})$$

Este factor también lo podemos obtener de tablas.

$$K_y = 0.017$$

$T_p$ : tensión resultante que representa la resistencia a la flexión de la faja al pasar por cada uno de los polines (véase Anexos Tabla A-10).

Depende del número de polines.

$T_{am}$ : tensión necesaria para acelerar el material continuamente en la dirección de la faja. Está dada por:

$$T_{am} = 2.8755 x 10^{-4} x Q_d (V - V_0) \quad (\text{Ec. 32})$$

También podemos obtener este valor, mediante el método gráfico.

$T_{ac}$ : tensión total de los accesorios de la faja. Está dada por:

$$T_{ac} = T_{sb} + T_{pl} + T_{tr} + T_{bc} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

$T_{sb}$ : tensión de la fricción de los faldones. La fórmula a utilizar es:

$$T_{sb} = L_b (C_s x h_s^2 + 6) \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

$L_b$ : longitud de los faldones (pies) de un faldón

$h_s$ : profundidad del material en contacto (pulgadas).

$$h_s = 0.1L \quad (\text{Ec. 35})$$

$C_s$ : factor de fricción con el faldón (véase Anexos Tabla A-8).

$T_{pl}$ : tensión de la fuerza de fricción de los desviadores (véase Anexos Tabla A-9).

$T_{tr}$ : tensión de los volteadores y apiladores (véase Anexos Tabla A-10).

$T_{bc}$ : tensión de los dispositivos de limpieza de la faja. Se considera 5 lb por pulgada de ancho de contacto de la hoja del raspador para cada raspador instalado y que está en contacto con la faja (recomendación CEMA).

### • Cálculo de las Tensiones Resultantes

Para continuar con el diseño y selección de componentes es necesario determinar el estado de tensiones al cual está sometida la correa transporte. Las tensiones resultantes<sup>28</sup> que caracterizan el sistema son principalmente por:

$T_1$ : tensión de la faja en el lado de carga (lado apretado).

$T_2$ : tensión de la faja en el lado de retorno de la faja (lado suelto).

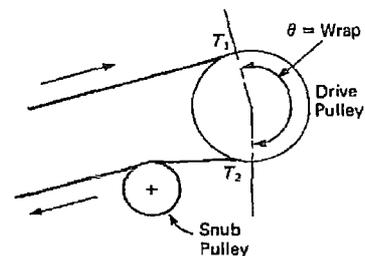
$T_e$ : tensión efectiva de la faja que la diferencia de las tensiones anteriores.

FIGURA N° 2. 28

### ARREGLOS TÍPICOS DE LAS POLEAS MOTRICES

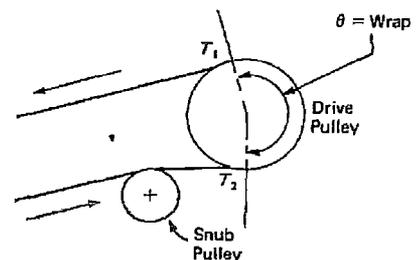
**Transportador Inclinado u Horizontal.**

**La polea acciona la faja.**



**Transportador Declinado. Menos cargado con regeneración.**

**La faja acciona la polea.**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

Donde:

$\theta$ : ángulo de envoltura (arrollamiento) de la faja en la polea motriz.

<sup>28</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

Snub Pulley es la polea que determina el ángulo de apriete de la faja sobre la polea motriz.

Se define factor de apriete o arrollamiento,  $C_w$  como un valor matemático usado en la determinación de la tensión efectiva de la faja,  $T_e$ , que puede desarrollar la polea motriz de forma confiable. El valor de  $T_e$  que puede desarrollarse está determinado por el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) que existe entre la polea y la faja, el ángulo de arrollamiento y los valores de  $T_1$  y  $T_2$ . Este factor (Ec. 36) está dado por la siguiente ecuación:

$$C_w = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \quad (\text{Ec. 36})$$

Además: 
$$T_e = T_1 - T_2 \quad (\text{Ec. 37})$$

La Tabla N° 2.5 muestra los valores del coeficiente de fricción  $\mu$  entre el tambor y la banda, y en la Figura N° 2.29 se muestran los valores del ángulo de contacto dependiendo de la disposición del tambor motriz y el de los posibles tambores adicionales intermedios.

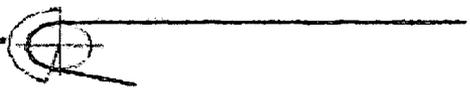
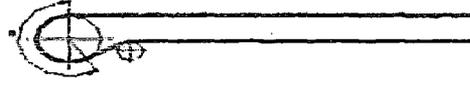
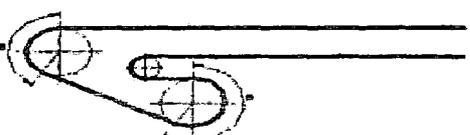
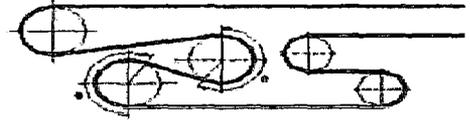
**TABLA N° 2. 5**  
**COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE TAMBOR Y BANDA**

Tambor motriz					
		Revestido		Desnudo	
		seco	húmedo	seco	húmedo
Coeficiente $\mu$		0.40	0.35	0.35	0.2

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

FIGURA N° 2. 29

ÁNGULO DE CONTACTO ENTRE LA POLEA Y LA FAJA

Cabezal motriz	Angulo de contacto (°)
	120
	150
	180
	210
	220
	230
	240
	360
	380
	400
	420
	440
	450

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

• Cálculo de la Potencia del Motor para la Faja Transportadora

La potencia requerida<sup>29</sup> para el accionamiento de un transportador de cinta, se deriva de las libras de tensión efectiva,  $T_e$ , que se requieren en la polea de accionamiento para propulsar ó contener el transportador cargado a la velocidad de diseño de la cinta,  $V$  (en pie/min). La potencia requerida (Ec. 38) está definida por la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{T_e x V}{33000} \quad (\text{Ec. 38})$$

<sup>29</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

➤ **Cálculo para la Selección de los Polines de Carga, Retorno e Impacto**

• **Selección de los Polines de Carga**

Para seleccionar los polines<sup>30</sup> apropiados, primero es necesario determinar la carga a la cual se encuentra sometido. En esta parte, utilizaremos los criterios de selección dados en los manuales RODIBELT (compañía agrupada a CEMA).

• **Fuerza debido a la Desviación de Altura de los Rodillos (IML)**

Cuando un rodillo es más alto que los adyacentes, una componente de la tensión de la faja se agregará a la carga de los rodillos. La acumulación de las desviaciones de altura puede variar con la instalación y el tipo de rodillo. Estas fuerzas adicionales deben ser consideradas en la selección de los rodillos. La exactitud en la instalación determinará la magnitud de estas fuerzas. Esta fuerza se le conoce como Carga de Desalineamiento del Rodillo debido a las Tensiones de la Faja (Ec. 38) y está dado por:

$$IML = \frac{dxT}{S_i} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

d: desalineamiento (pulg)

T: tensión de la faja (lb)

S<sub>i</sub>: espaciamiento de los rodillos (pies)

---

<sup>30</sup> Manuales Rodibelt para Selección de Polines.

- **Cálculo de la Carga del Rodillo ( $C_{IL}$ )**

Está dado por la ecuación:

$$C_{IL} = (W_b + (W_m \times K_1)) \times S_i + IML \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

$K_1$ : factor de ajuste de los terrones (véase Anexos Tabla A-12)

$W_b$ : peso de la faja (lb/pies) real o estimado.

$W_m$ : peso del material (lb/pies).

- **Selección de los Polines de Retorno**

Para determinar la carga y selección de los polines de retorno<sup>31</sup>, debemos seguir el procedimiento anterior.

- **Cálculo de la Carga del Rodillo ( $C_{IR}$ )**

Está dado por la ecuación:

$$C_{IR} = W_b \times S_i + IML \quad (\text{Ec. 41})$$

- **Cálculo para la Selección de los Polines de Impacto**

Son los ubicados bajo el chute de descarga, por lo cual están expuestos a cargas muy críticas y deben ser de un tipo especial. En particular estos polines son recubiertos con caucho y poseen la misma configuración de soporte que los polines de carga normal.

Para su diseño se calcula la energía de carga WH que sale de:

---

<sup>31</sup> Manuales Rodibelt para Selección de Polines.

$$F = W + \sqrt{2KWH} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde:

W: peso del terrón (lb).

H: altura de la caída desde la zaranda a la faja (pies).

K: constante de salto para un tipo específico de rodillo (lb/pie).

Nota: las series de rodillos de impacto elegidas (véase Anexos Tabla A-16) deben satisfacer tanto la menor cantidad de energía y el máximo tamaño de los terrones.

Si consideramos que el material es homogéneo sin terrones, debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$F = (0.1389)Q\sqrt{H} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

Q: flujo de diseño (tph).

- **Unidad de Fuerza de Impacto (Fu)**

La fuerza de impacto (Ec. 43) está definida por:

$$Fu = fxF \quad (\text{Ec. 44})$$

Finalmente, de las tablas de clasificación de cargas y capacidades (véase Anexos Tabla A-17), elegimos los polines de Carga, Retorno e Impacto correspondientes.

### ➤ Cálculo para la Selección del Tipo de Faja Transportadora

El parámetro que determina la selección de fajas<sup>32</sup> es la tensión del lado de carga ( $T_1$ ) que es la tensión máxima a la cual está sometida la faja, también es necesario considerar un factor de seguridad ( $f_s$ ). El factor de seguridad depende del tiempo en que la faja completa su recorrido (distancia, número de flexiones en los tambores y de los impactos de la carga)

Estos parámetros definen la Tensión por Unidad de Ancho de la faja PIW (pound per inches width).

Por definición, se tiene que:

$$PIW = \frac{T_1 \times f_s}{b} \quad (\text{Ec. 45})$$

Con este valor, verificamos en un Catálogo para seleccionar el Tipo de Faja a utilizar.

### ➤ Cálculo del Sistema de Transmisión de Potencia por Cadena

El sistema de transmisión<sup>33</sup> según el Catálogo Renold será:

$$n = \frac{Z_c}{Z_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{Ec. 46})$$

Para calcular la Longitud de la Cadena o Número de Eslabones (L), utilizamos la ecuación:

---

<sup>32</sup> Catálogo Goodyear. Bandas Transportadoras.

<sup>33</sup> Catálogo Renold Chain Designer Guide.

$$L = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2 \pi C}{P} + \frac{\left(\frac{Z_2 - Z_1}{2 \pi}\right)^2 \pi P}{C} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

C: distancia entre centros considerada (mm)

P: paso de la cadena (mm)

Según recomendación Renold, la distancia entre centros considerada (C) debería estar entre [30 – 50] veces el paso. Asumiendo:  $C = 40P$

La Distancia entre Centros Real para la Longitud de la Cadena L, calculada por el método anterior, puede ser superior o inferior a la contemplada originalmente. La nueva distancia entre centros se obtendrá mediante la siguiente ecuación:

$$C_R = \frac{P}{8} [2 \pi L - Z_2 - Z_1 + \sqrt{(2 \pi L - Z_2 - Z_1)^2 - \frac{\pi}{3.88} \pi (Z_2 - Z_1)^2}] \quad (\text{Ec. 48})$$

Con los valores obtenidos, nos vamos a los Catálogos Renold, seleccionamos el tipo de cadena.

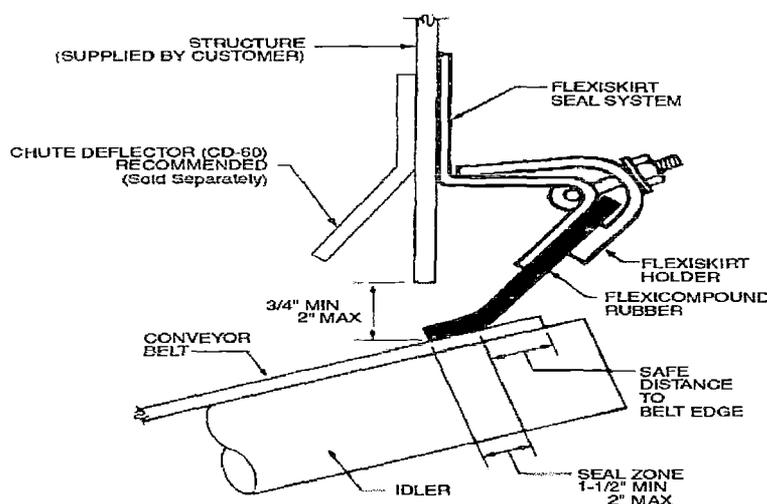
### ➤ Cálculo para el Dimensionamiento de los Faldones

Según la recomendación del catálogo CEMA, el largo de los faldones<sup>34</sup> ( $L_s$ ) o skirtboard es de 2 pies por cada 100 pies/min de la velocidad de la faja, entonces el largo del faldón es:

$$L_s = \frac{2 \text{ pies}}{100 \text{ pies/min}} V_d \quad (\text{Ec. 49})$$

FIGURA N° 2. 30

### TIPO DEL FALDÓN



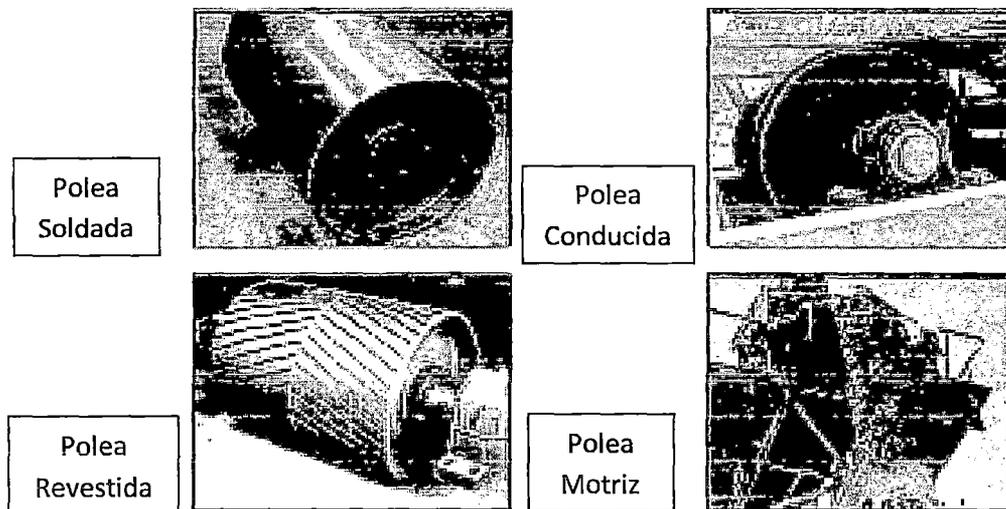
Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

### ➤ Tambores o Poleas

Las poleas son un importante componente de los sistemas de correas transportadoras, estas se clasifican según su geometría y tipos de recubrimientos. Los diámetros de las poleas dependen del diseño, tensión y tipo de empalme de la correa. Generalmente se establecen tres grupos de poleas.

<sup>34</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

**FIGURA N° 2. 31**  
**TIPOS DE POLEAS**



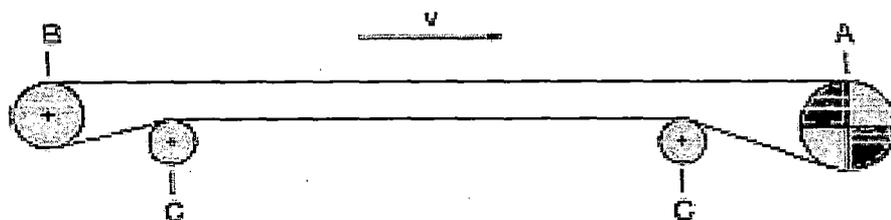
Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras

Grupo A: Poleas motrices y otras poleas en el rango de tensiones altas.

Grupo B: poleas deflectoras en el rango de tensiones bajas.

Grupo C: poleas deflectoras que cambian la dirección de la correa en menos de 30°.

**FIGURA N° 2. 32**  
**REPRESENTACIÓN DE UNA FAJA TRANSPORTADORA**



Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras

Los tipos de recubrimiento van desde poleas con carcasa de acero desnudo, hasta carcasa con recubrimiento de caucho de diversos espesores y grabados.

- **Cálculo para la Selección del Tipo de Tambor**

Para seleccionar el tipo de tambor<sup>35</sup>, es necesario determinar el diámetro mínimo de la polea motriz y de cola. Para ello, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$D_m \approx \frac{5.98 \times P_e \times 10^6}{V \times b \times \varphi} \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

$P_e$ : potencia efectiva (KW)

$V$ : velocidad de la faja (m/s)

$\varphi$ : ángulo de abrazamiento o arrollamiento (rad)

$b$ : ancho de la faja (mm)

➤ **Motorreductor**

La elección del motor<sup>36</sup> se realiza en función de la potencia necesaria para mover la carga, la polea, además de las pérdidas adicionales que aparecen sobre el sistema. Según los requerimientos se escoge un motor y reductor que más se adapte a los necesarios y luego se itera

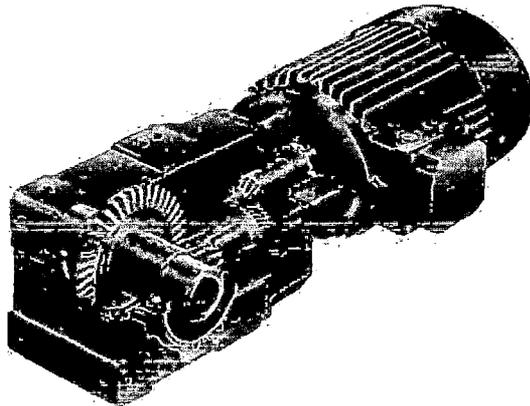
---

<sup>35</sup> Manual Siegling Belting. Selección de Cintas Transportadoras.

<sup>36</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

para ver cómo queda estructurado el sistema con los parámetros finales.

**FIGURA N° 2. 33**  
**MOTORREDUCTOR**

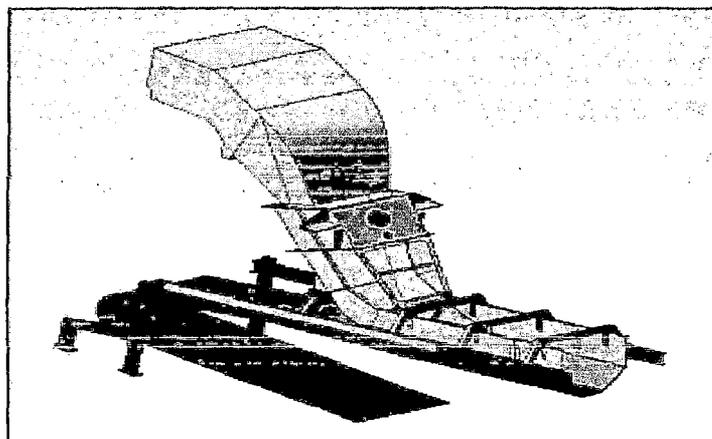


Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras

#### ➤ Chutes

Los chutes son un elemento crítico del sistema pues están permanentemente expuestos a cargas de impacto y condiciones de trabajo adversas, por lo cual su buen diseño es vital.

**FIGURA N° 2. 34**  
**CHUTE DE CARGA**



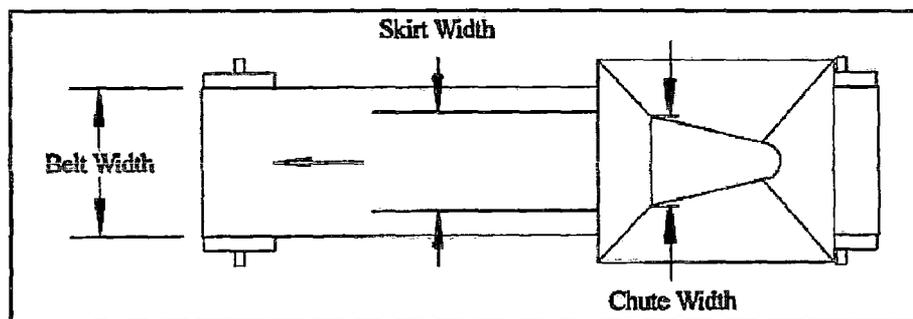
Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras

- **Cálculo para el Dimensionamiento del Chute de Carga**

Dada la recomendación CEMA, el ancho del chute de carga<sup>37</sup> máximo debe ser no mayor que  $2/3$  del ancho de la faja receptora. Además, el ancho interior del chute debe ser por lo menos de 2,5 a 3 veces la mayor dimensión de los trozos uniformemente clasificados según tamaño (granulometría) cuando ellos representan un porcentaje considerable del flujo del material. La Figura N° 2.35 del sistema se muestra a continuación:

**FIGURA N° 2. 35**

**ESQUEMA DEL SISTEMA CHUTE - FAJA**



Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials.

$$A_{max} = \frac{2}{3}b \quad (\text{Ec. 51})$$

El volumen (Ec. 52) se calcula de la siguiente manera:

$$V_{chute} = 0.6 xh + (2 - 0.6)xh + \left(\frac{2-0.6}{2}\right)^2 xh \quad (\text{Ec. 52})$$

Este resultado nos asegura que con las dimensiones asumidas, el chute tiene una capacidad que impide que el mineral se aglomere en el interior.

<sup>37</sup> Belt Conveyors for Bulk Materials. Sexta edición.

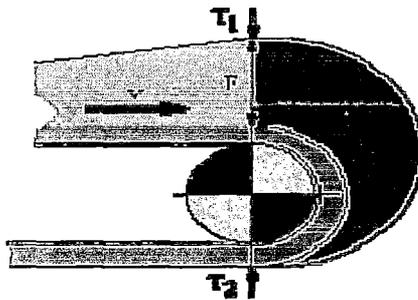
### ➤ Cálculo de las Tensiones de las Fajas Transportadoras

Utilizaremos los Diagramas de Tensiones<sup>38</sup> del método Kauman Rubber Technologies para una mejor visualización de las mismas.

#### • Diagrama de Tensiones

La potencia de accionamiento calculada anteriormente, ha de traducirse en una fuerza de accionamiento sobre el tambor motriz. Esta fuerza de accionamiento se produce por la diferencia entre las tensiones de entrada y salida de la banda en el tambor motriz, que dependen a su vez del coeficiente de rozamiento entre la banda y el tambor.

**FIGURA N° 2. 36**  
**DIAGRAMA DE TENSIONES EN LA POLEA MOTRIZ**



Fuente: Manual Kauman Rubber Technologies.

Donde:

$$F = T_s = T_1 - T_2$$

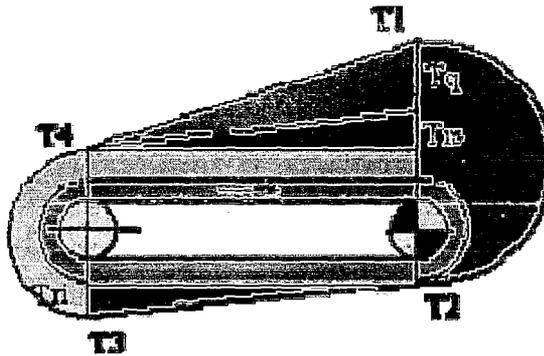
<sup>38</sup> Manual Kauman Rubber Technologies para Correas Transportadoras.

Para fajas horizontales, tenemos el siguiente diagrama de tensiones

(Figura N° 2.37):

FIGURA N° 2. 37

DIAGRAMA DE TENSIONES PARA FAJAS HORIZONTALES



Fuente: Manual Kauman Rubber Technologies.

$$F = T_q + T_{rs} + T_{ri} \quad (\text{Ec. 53})$$

$$T_2 = F \times \left( \frac{1}{\sin \theta - 1} \right) \quad (\text{Ec. 54})$$

$$T_1 = F \times \left( 1 + \frac{1}{\sin \theta - 1} \right) \quad (\text{Ec. 55})$$

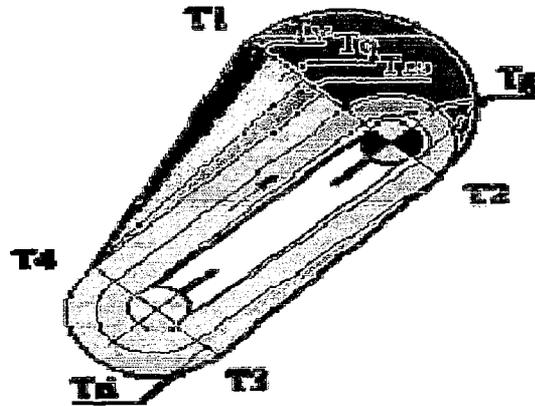
$$T_3 = T_2 + T_{ri} \quad (\text{Ec. 56})$$

$$T_4 = T_3 \quad (\text{Ec. 57})$$

Para fajas inclinadas, tenemos el siguiente diagrama de tensiones, cuando  $T_2 > T_g$  (Figura N° 2.38):

FIGURA N° 2. 38

DIAGRAMA DE TENSIONES PARA FAJAS INCLINADAS – CASO 1



Fuente: Manual Kauman Rubber Technologies.

$$T_2 = F x \left( \frac{1}{e^{f\theta} - 1} \right) \quad (\text{Ec. 58})$$

$$T_1 = F x \left( 1 + \frac{1}{e^{f\theta} - 1} \right) \quad (\text{Ec. 59})$$

$$T_3 = T_2 + T_{ri} - T_g \quad (\text{Ec. 60})$$

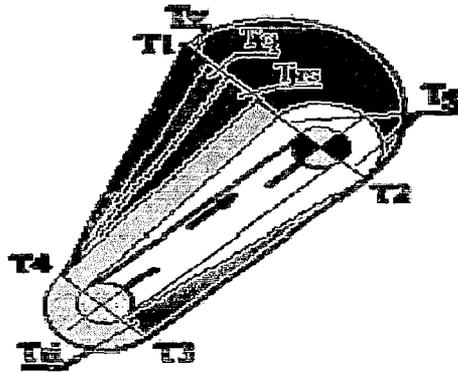
$$T_4 = T_3 \quad (\text{Ec. 61})$$

$$F = T_q + T_{ri} + T_{rs} + T_r \quad (\text{Ec. 62})$$

Para fajas inclinadas, tenemos el siguiente diagrama de tensiones, cuando  $T_2 \leq T_g$  (Figura N° 2.39):

FIGURA N° 2. 39

DIAGRAMA DE TENSIONES PARA FAJAS INCLINADAS – CASO 2



Fuente: Manual Kauman Rubber Technologies.

$$T_1 = T_2 + F \quad (\text{Ec. 63})$$

$$T_2 = T_g \quad (\text{Ec. 64})$$

$$T_3 = T_{rs} \quad (\text{Ec. 65})$$

$$T_4 = T_3 \quad (\text{Ec. 66})$$

$$F = T_q + T_{ri} + T_{rs} + T_v \quad (\text{Ec. 67})$$

Donde:

$T_q$ : tensión para vencer el rozamiento al movimiento de carga

$T_{rs}$ : tensión en el ramal superior

$T_{ri}$ : tensión en el ramal inferior

$T_g$ : tensión para soportar el peso propio de la faja

$T_v$ : tensión para elevar la carga

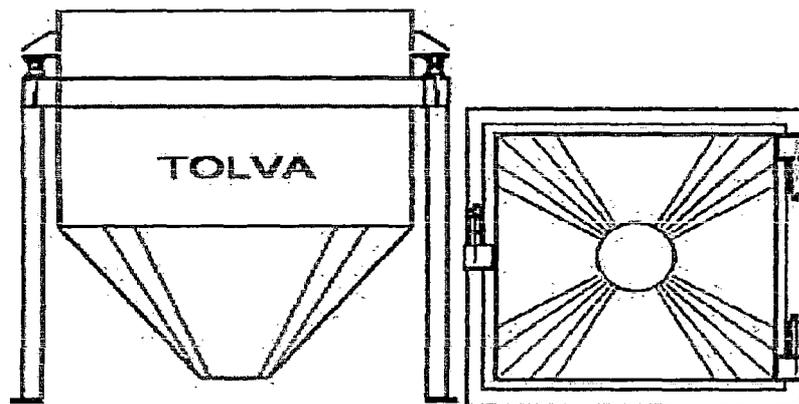
#### **vi. Tolva de Finos**

Las tolvas de finos son depósitos que sirven para almacenar el mineral fino, ya chancado y abastecer a los molinos en una forma regular. Las tolvas de finos son importantes por los siguientes motivos:

- i. Aseguran una alimentación constante a los molinos
- ii. Nos permite hacer reparaciones en la sección molienda sin necesidad de parar la sección chancado
- iii. Nos permiten parar la sección chancado, para realizar reparaciones, limpieza, etc. sin necesidad de parar la sección molienda.

**FIGURA N° 2. 40**

**TOLVA DE FINOS**



Fuente: LÓPEZ ROA A. Cintas Transportadoras.

### ➤ Dimensionamiento de la Tolva de Almacenamientos de Finos

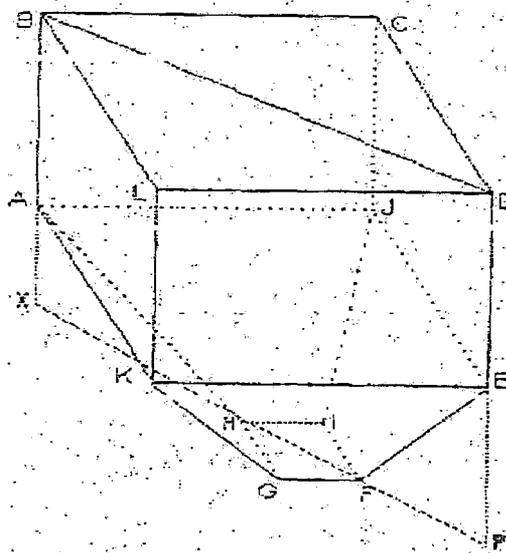
Existen diferentes formas de representar una tolva de finos. Las formas más representativas son:

- Sección superior: paralelepípedo, cúbico, cilíndrico.
- Sección Inferior: tronco de pirámide, tronco de cono.

En esta parte realizaremos los cálculos para dimensionar la tolva de finos cuya sección superior tiene la forma de un paralelepípedo y sección inferior tiene la forma de un tronco de pirámide.

**FIGURA N° 2. 41**

**MODELO TÍPICO DE UNA TOLVA DE FINOS**



Fuente: Elaboración propia

El volumen de la tolva está representado por la fórmula:

$$V_F = \frac{C_d}{n} (m^3 \text{ o } pie^3) \quad (\text{Ec. 68})$$

Donde:

D: Densidad Aparente del mineral fresco

C<sub>d</sub>: Capacidad de diseño

El volumen de la tolva está dado por:

$$V_f = V_{\text{paralelepípedo}} + V_{\text{tronco}} \quad (\text{Ec. 69})$$

$$V_{\text{paralelepípedo}} = BL(LD)(AB) = \frac{5BL^3}{10}$$

$$V_{\text{tronco}} = \frac{1}{3} AX[BL(BC) + HG(GF) + \sqrt{BL(BC)(HG)(GF)}]$$

### 2.2.3: Mantenimiento

Duffuaa y otros (2008, p. 29) define el Mantenimiento como el servicio a la operación que tiene por objeto lograr una adecuada disponibilidad de los equipos al menor costo posible. Este atiende a dos tipos, según el concepto universal de mantenimiento: El programado, en el cual se prevén las intervenciones, los recursos y los trabajos a ejecutar y el no programado, donde las intervenciones se realizan de emergencia, por lo general ocasionan paradas de las instalaciones. La función principal del mantenimiento es conservar la disponibilidad operativa de los equipos de modo que pueda garantizar el cumplimiento del objetivo para el cual se requieren los mismos.

El mantenimiento es exclusivamente una acción humana, en relación con ello, Ollarves (1995) señala: “El mantenimiento es un servicio a la operación que tiene por objeto lograr una adecuada disponibilidad de los equipos al menor costo posible”.

De acuerdo al planteamiento anterior el mantenimiento tiene objetivos fundamentales basados en la disponibilidad de los equipos, en tal sentido, Newbrough (1997) señala: “El mantenimiento consiste en maximizar la disponibilidad de máquinas y equipos para la producción. Preservar el valor de las instalaciones, minimizando el uso y el deterioro. Conseguir estas es la forma más económica posible y a largo plazo”.

#### **a) Tipos de Mantenimiento**

Dependiendo de la forma, el objetivo y la oportunidad en que se realizan las acciones, se pueden resaltar diferentes tipos de mantenimientos. Preventivo, Correctivo y Predictivo.

##### **➤ Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que

esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores.

Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

#### ➤ **Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares (horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas). El objetivo de este tipo de mantenimiento es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación tratando de planificar unas

intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido.

El origen de este tipo de mantenimiento surgió analizando estadísticamente la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos y efectuando su mantenimiento basándose en la sustitución periódica de elementos independientemente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos. Este tipo de mantenimiento presenta las siguientes características:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.

- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

➤ **Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo permite detectar anomalías con el equipo en funcionamiento, mediante la interpretación de datos previamente obtenidos con instrumentos portátiles colocados en diferentes partes del equipo, cuyos resultados son analizados conjuntamente con información estadística definida como. Análisis vibratorios. Análisis de aceites, revisión de temperaturas y presiones.

Para cada empresa de producción existirá una combinación de acciones correctivas y predictivas que harán que el costo de mantenimiento sea el más bajo.

• **Características del Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo presenta las siguientes características:

- Predice el fallo, interviene como consecuencia del cambio en la condición monitoreada.
- Practica una diagnosis fundamentada en síntomas, medidos por los monitores con instrumentos a veces muy complejos.
- Las acciones se efectúan antes de que ocurran las fallas.

- La identificación de tendencias y el diagnóstico mediante la detección de la falla con la máquina en operación permite planificar la intervención.

➤ **Estimación del Tiempo de Mantenimiento**

Estas normas serán más cálculos aproximados que estimaciones, pero medida que se adquieren datos históricos reales y los trabajos se comparan con las estimaciones, es posible afinar estos valores hasta un punto en que las estimaciones de los trabajos más completos puedan realizarse con exactitud.

La filosofía básica de la estimación, es reducir cada tarea a sus elementos de trabajos básicos y establecer valores de tiempo para cada elemento. La suma de los valores de tiempo de cada elemento de una tarea pertenecientes a una unidad de trabajo de la estimación de los tiempos totales de ejecución de la tarea y por lo tanto si sumamos, los totales de las tareas, se conseguirá la estimación de la unidad de trabajo.

➤ **Asignación de Prioridad de los Trabajos de Mantenimiento**

Para que la función de la planificación<sup>39</sup> de trabajo esté segura de que sólo se realiza el trabajo necesario; es entonces imprescindible establecer un sistema de prioridades. Esta actividad da inicio a la fase

---

<sup>39</sup> Fuente: [www.clubdemantenimiento.com](http://www.clubdemantenimiento.com). Gestión de Mantenimiento.

de programación, la cual consiste en determinar la prioridad para cada trabajo a ejecutar, prioridad se define como el grado de importancia que se asigna a cada trabajo y permite la ubicación de estos trabajos en la programación ordinaria de mantenimiento. En este caso es necesario fijar la importancia relativa de los trabajos de mantenimiento día a día con el fin de que los de mayor importancia sean programados y terminados antes; también se logra con esto, asignar fondos correctamente para solventar los gastos de mantenimiento.

➤ **Definiciones Conceptuales y Operacionales**

• **Definición Conceptual. Variable Fallas**

Las fallas son defectos y/o deficiencias en los equipos por los cuales quedan fuera de funcionamiento y pueden constituirse en factor de riesgo. (Nava, 1992).

• **Definición Operacional. Variable Falla**

Desde el punto de vista operacional la variable falla será entendida para efectos de este estudio como toda **pérdida de la condición operativa** de un equipo producida **de manera imprevista**.

• **Definición Conceptual. Variable Inspección**

Es la revisión física que se realiza para constatar el buen funcionamiento de un equipo. Puede ser periódica o eventual.

- **Definición Operacional. Variable Inspección**

Desde el punto de vista operacional, la variable inspección será entendida para efectos de este estudio como toda acción de mantenimiento para determinar si los equipos están funcionando y cuáles son sus condiciones de funcionamiento.

- **Definición Conceptual. Variable Tiempo Promedio entre Fallas**

El tiempo promedio entre fallas es el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. (Nava 1992).

- **Definición Operacional. Variable Tiempo Promedio entre Fallas**

Desde el punto de vista operacional, la variable tiempo promedio entre fallas será entendida para efectos de este estudio como la razón del tiempo disponible o sumatoria de las diferentes fallas producidas por el equipo durante el periodo de estudio.

- **Definición Conceptual. Variable Disponibilidad**

La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo esté operando o sea disponible para su uso, durante un periodo de tiempo determinado. (Nava, 1992).

- **Definición Operacional. Variable Disponibilidad**

Desde el punto de vista operacional la variable disponibilidad será entendida como la probabilidad de que un equipo esté en condición de ser operado en un instante de tiempo.

- **Falla**

Desde el punto de vista de diagnóstico, la falla se define como la finalización de la capacidad de la máquina, sistema o elemento para realizar la función requerida, definida según criterios de diseño, seguridad, mantenimiento, sin que éste deje de funcionar o lo haga en condiciones críticas.

Las condiciones críticas de funcionamiento que determinan la presencia de fallas son diferentes en cada caso y dependen de los siguientes aspectos:

- Las características del equipo y sus elementos.
- Las condiciones y lugar de funcionamiento.
- La disponibilidad de síntomas que permita evaluar el estado del equipo.
- La disponibilidad de medir y evaluar dichos síntomas.
- La presencia de sistemas de control y protección.

- **Origen de las Fallas**

El inicio u origen de las fallas comienza bajo las siguientes condiciones:

- a) Cuando los (esfuerzos) a que son sometidos los elementos superan la resistencia del mismo.
- b) La existencia en la máquina de un elemento débil.
- c) Por diseño y construcción la resistencia sea mayor a los esfuerzos, por diferentes causas, o caso contrario, cuando el esfuerzos, supere la resistencia.

De acuerdo a su origen, las fallas pueden clasificarse en:

- Fallas por envejecimiento.
- Fallas por mal uso.
- Fallas por debilidad propia.

#### ❖ **Fallas por Envejecimiento**

Son las fallas atribuibles al proceso de degradación con el tiempo del elemento, debido a una reducción de su resistencia. El envejecimiento puede darse inmediatamente a la puesta en marcha del equipo, después de un cierto tiempo de funcionamiento o incluso antes del elemento ser usado. De esta manera el proceso de envejecimiento puede ser prevenido con facilidad, ya que solo es necesario conocer el desplazamiento o disminución de la resistencia en función del tiempo.

En el proceso de envejecimiento se distinguen dos etapas. En la primera, la velocidad de deterioro de la resistencia se encuentra dentro de rangos aceptables y prácticamente no afecta las prestaciones del

elemento. La segunda, se refiere a la situación en la cual la velocidad de deterioro ha alcanzado un valor elevado que conduce inevitablemente a la falla.

❖ **Fallas por Mal Uso**

Son las fallas atribuibles a la aplicación de esfuerzos superiores a la capacidad o resistencia de los elementos.

❖ **Fallas por Debilidad Propia**

Son fallas atribuibles al mal diseño o defecto en la fabricación de los componentes y equipos. Estas fallas ocurren generalmente durante la puesta en servicio del elemento y son conocidas como fallas infantiles.

• **Clasificación de las Fallas**

- **Según la frecuencia de aparición:** Fallas intermitentes y fallas permanentes.
- **Según intensidad del efecto producido:** Fallas totales y fallas parciales.
- **Según rapidez de aparición de la falla:** Fallas graduales y fallas súbitas.
- **Según la intensidad y la rapidez de aparición:** Fallas catastróficas y fallas de degradación.
- **Según el riesgo sobre el personal o de los equipos:** Fallas peligrosas y fallas no peligrosas.

- **Según el momento de aparición**

- **Fallas Infantiles:** Ocurren en la etapa inicial de operación de los equipos, responsabilidad que se puede cubrir con la garantía.
- **Fallas fortuitas o aleatorias:** Ocurren en el periodo de vida útil o madurez de los equipos, tienen aparición aleatoria, son propias de elementos eléctricos o electrónicos.
- **Fallas dependientes del tiempo:** Son fallas generalmente visibles que dan lugar a una degradación. Se producen por reducción de la resistencia o degradación de los componentes.

- **Definición de Síntomas**

Los síntomas se definen como las manifestaciones externas del estado de la máquina o del funcionamiento de sus componentes, varían dependiendo de las condiciones de la máquina. Estas no necesariamente son manifestaciones de la máquina.

Los síntomas pueden ser variables físicas elementales (temperatura, presión, velocidad, y otros) o combinaciones de las anteriores (potencia, rendimiento).

- **Diagnóstico de Fallas**

El diagnóstico de fallas no es más que una investigación cuidadosa de los síntomas y hechos que llevan a la detección y aislamiento de la falla causante de una anomalía en el equipo. El proceso de diagnóstico requiere en primer lugar la detección e identificación de los síntomas

originados por las fallas y en segundo lugar, la identificación de la falla mediante una evaluación de dicho síntoma.

## **b) Indicadores de Mantenimiento**

### **➤ Introducción**

Mather (2005, p. 215) considera que en la gestión de mantenimiento es necesario registrar datos y controlar la tendencia de algunos indicadores que nos permitan tomar decisiones en el momento oportuno y también guiar nuestra actividad con el objetivo de incrementar la rentabilidad de la empresa al menor costo posible. Estos indicadores son elementales para toda gestión de mantenimiento, pero de su análisis veremos la profundidad de su contenido a la hora de lograr mejoras en mantenimiento.

### **➤ Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF - MTBF)**

Este indicador nos permite detectar necesidades de actuar con mantenimiento proactivo. Actuar mejorando el MTBF mejora la confiabilidad y disponibilidad de equipos.

El MTBF nos da una idea clara el tiempo promedio que un equipo o grupo de equipos puede funcionar sin detenerse, lo que es lo mismo funcionar sin fallas. Los datos de la siguiente ecuación se toman dentro del período seleccionado para obtener el indicador, puede ser

un año, un semestre, trimestre o varios años, tal como la antigüedad de la instalación. Esto depende del objetivo de nuestro análisis.

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{horas de marcha de los equipos en el período}}{\text{Cantidad de fallas de ese grupo de equipos}} \quad (\text{Ec. 70})$$

Si estamos siguiendo el comportamiento de todos los equipos de nuestra planta durante el último año, haremos la sumatoria para cada equipo de sus horas de funcionamiento en ese período y lo dividimos por la cantidad de fallas que hemos registrado en ese tiempo, de todos los equipos analizados.

No deben contabilizarse las paradas preventivas pues el mantenimiento preventivo no es por falla, es para evitar la ocurrencia de la falla. Todo mantenimiento correctivo que surgida de una recomendación de mantenimiento Predictivo debe contemplarse como falla.

Por el solo hecho de generar órdenes de trabajo para las actividades de mantenimiento es fácil generar este indicador.

$$MTBF = \frac{\text{Horas de marcha}}{\text{Cantidad de correctivos}} \quad (\text{Ec. 71})$$

- Horas de marcha: lo leemos del hodómetro.
- Cantidad de correctivos: contabilizamos las OT Correctivas.

Es de apreciar en la ecuación de arriba, que para obtener este indicador solo debemos llevar el registro de dos datos, horas de marcha, que es suficiente tomarlas una vez por mes, y contar la cantidad de OT correctivas. Estos dos datos son de muy fácil obtención, por lo que este indicador no nos puede faltar.

➤ **Tiempo Medio Para Reparar (TMPR - MTTR)**

Este indicador nos da una idea aproximada del tiempo promedio que se demora en ejecutar el mantenimiento del equipo tras una falla (mantenimiento correctivo). Analizando este indicador podemos actuar para reducir los tiempos de equipo detenido por mantenimientos correctivos. Indudablemente estas mejoras del MTTR incrementan la disponibilidad de las instalaciones.

$$MTTR = \frac{\sum \text{horas detenido por correctivos}}{\text{Cantidad de OT correctivas}} \quad (\text{Ec. 72})$$

Los permisos de trabajo es un ítem que normalmente genera grandes demoras. Es indudable que el tiempo de demora para conseguir los repuestos, ya sea por su ubicación o por la necesidad de realizar una compra, deben estar contemplados en el MTTR. Esto nos dará una indicación de los costos perdidos por desabastecimiento, lo que nos permitirá justificar mejoras en los almacenes.

Un estudio del registro de estos tiempos permite tomar acciones que reducen el MTTR.

- **Acciones Recomendadas para Disminuir el TMR - MTTR**

Contar con un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (CMMS), y utilizarlo en todos los sectores intervinientes en el mantenimiento, Operaciones, Almacenes de repuestos, Pañol de herramientas y Mantenimiento, permite que al emitirse una OT (preferentemente programada) todos se enteren que en un determinado momento se iniciará el mantenimiento del equipo. Con esto, Almacenes preparará los repuestos necesarios listados en la OT, el Pañol dispondrá de las herramientas necesarias, Operaciones sabrá en que momento comenzar a preparar el equipos y sacarlo de servicio, para que cuando llegue el personal de mantenimiento lo encuentre lista para intervenirlo.

Este trabajo en conjunto, ordenado y programado reduce los tiempos de equipo detenido.

- **Obtención del TMR - MTTR con el Uso de un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (CMMS)**

Si contamos con un Sistema Computarizado de gestión de Mantenimiento (CMMS), solo es necesario generar un reporte, que, entre las fechas requeridas, cuente las OT correctivas y realice la

sumatoria de los tiempos de equipo detenido de cada una de esas OT, tal como se muestra.

$$MTTR = \frac{\sum \text{horas de reparación}}{\text{Cantidad de correctivos}} \quad (\text{Ec. 73})$$

- Horas de reparación: sumamos las horas de parada en las OT correctivas.
- Cantidad de correctivos: contabilizamos las OT correctivas.

El MTTR se mejora con tres puntos característicos:

1. Procedimientos claros
2. Herramientas adecuadas
3. Capacitación del personal

Si analizamos una línea de producción, con gran variedad de equipos diferentes, y para cada uno registramos los MTTR, es posible determinar cuál de la cadena en el que baja los tiempos productivos y actuar en consecuencia para reducir este indicador.

El tiempo promedio que se distancian los mantenimientos preventivos (TBPM), para un equipo o grupo de equipos, es una herramienta importante para el planificador de mantenimiento, con la cual puede medir la posibilidad de distanciar las intervenciones preventivas.

$$TBPM = \frac{\sum \text{equipo} \times \text{horas de servicio}}{\text{Cantidad de mantenimientos preventivos}} \quad (\text{Ec. 74})$$

Observe la similitud de este indicador con respecto al MTTR, la única diferencia consiste en que seleccionamos las OT de Mantenimientos Preventivos en lugar de las OT de Mantenimientos Correctivos.

$$TBPM = \frac{\text{Horas en servicio}}{N^{\circ} \text{ mantenimientos preventivos}} \quad (\text{Ec. 75})$$

- Horas en servicio: lo leemos del hodómetro.
- N° de mantenimientos preventivos: contabilizamos las OT preventivas.

El objetivo de este indicador es distanciar lo más posible la frecuencia de paradas por preventivos, asegurando que no exista inconvenientes y por lo tanto no se generen mayor cantidad de mantenimientos correctivos.

- **Medios para Incrementar el TPMT - TBPM**

En la actualidad, el desarrollo tecnológico ofrece nuevas técnicas y equipos que incrementan la vida útil de partes de equipos; por ejemplo un caso que tuvo un impacto importante fue el desarrollo de los lubricantes sintéticos, que permite incrementar el tiempo entre cambios de aceite.

El tiempo promedio que se demora en cada intervención preventiva, sobre un equipo o grupo de equipos, es:

$$TBPM = \frac{\sum \text{horas F/S por Mantto Preventivo}}{N^{\circ} \text{ mantenimientos preventivos}} \quad (\text{Ec. 76})$$

- Horas F/S por mantenimientos preventivos: sumamos las horas de parada (fuera de servicio) en todas las OT preventivas.
- N° Mantenimientos preventivos: contabilizamos las OT preventivas.

Los medios para reducir este valor del indicador es puede ser:

- Disponer de equipos o partes de recambio.
- Incrementar el tiempo de trabajo sobre el equipo, utilizando horas hombre extras o trabajando en horario nocturno, e incrementar la cantidad de mano de obra sobre el equipo (estos dos últimos puntos incrementan los costos de mano de obra pero disminuyen el tiempo fuera de servicio del equipo).
- Planificar bien las actividades para disminuir los tiempos improductivos.
- Agilizar el alistamiento del equipo para la intervención.
- Contar con herramientas adecuadas y en cantidad suficiente.
- Capacitar al personal.
- Evitar de realizar tareas innecesarias.

Es importante contar con los repuestos necesarios para la intervención, dado que los tiempos de demora en espera de repuestos deben imputarse a este indicador.

➤ **Efectividad Global del Equipo (Overall Equipment Effectiveness - OEE)**

El Overall Equipment Effectiveness<sup>40</sup> (OEE) o Eficiencia Global de los Equipos, es un indicador que permite medir la eficiencia con la que trabaja un equipo o un proceso. También se puede entender como la relación que existe entre el tiempo que teóricamente debería haber costado fabricar las unidades obtenidas (sin paradas, a la máxima velocidad y sin unidades defectuosas) y el tiempo que realmente ha costado. Mide el porcentaje del tiempo en que una máquina produce realmente las piezas (con la calidad requerida), comparadas con el tiempo ideal que fue planeado para hacerlos.

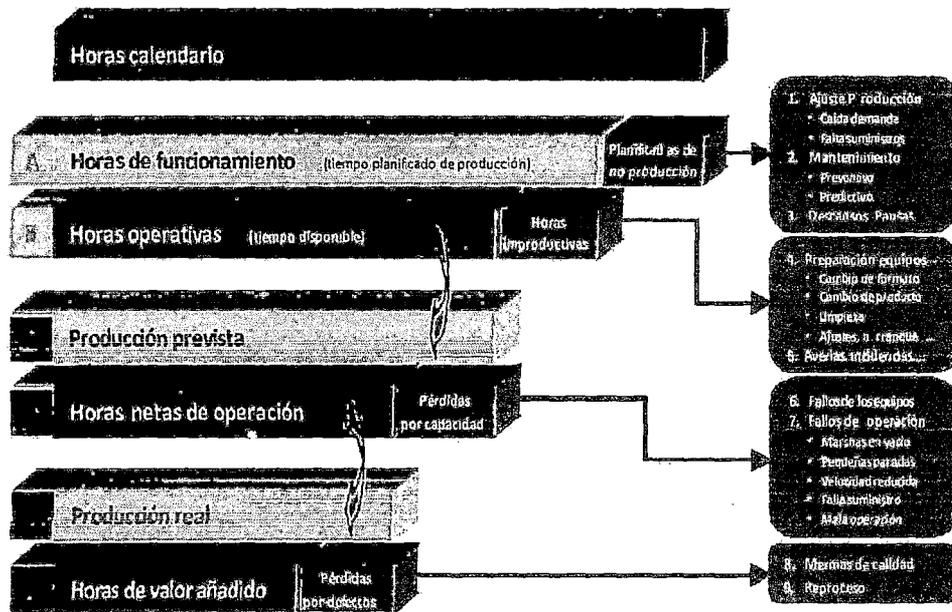
Es posible saber si lo que falta hasta el 100% se ha perdido por disponibilidad (no se produjo durante todo el tiempo que se podría haber producido), rendimiento (no se produjo a la velocidad que se podría haber producido) o calidad (no se produjo con la calidad que se podría haber producido).

---

<sup>40</sup> Fuente: [www.cdiconsultoria.es](http://www.cdiconsultoria.es). Mejora de la Eficiencia (OEE).

FIGURA N° 2. 42

TIEMPOS EN MANTENIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL OEE



Fuente: [www.cdiconsultoria.es](http://www.cdiconsultoria.es). Mejora de la Eficiencia (OEE).

Se consideran 6 grandes pérdidas para el cálculo del OEE:

1. Averías
2. Cambios de configuración o ajustes
3. Microparos
4. Reducción de velocidad
5. Defectos
6. Mermas

Las dos primeras grandes pérdidas afectan a la **Disponibilidad**, las dos siguientes disminuyen el **Rendimiento** y las últimas a la **Calidad**.

- **Cálculo del Índice OEE**

El cálculo del índice OEE<sup>41</sup> se da en base a tres indicadores del siguiente modo:

$$\text{OEE} = (\text{Disponibilidad}) \times (\text{Rendimiento}) \times (\text{Tasa de Calidad}) \quad (\text{Ec. 77})$$

Los 3 ratios son valores entre 0 y 1, por lo que se expresan en forma de porcentajes.

- ❖ **Disponibilidad**

Mide las pérdidas de los equipos debido a paros no programados. Incluye pérdidas de tiempo productivo por paradas debidas a averías y a esperas. La Disponibilidad resulta de dividir el tiempo que la máquina ha estado produciendo (**Tiempo de operación bruto**) por el tiempo que la máquina podría haber estado produciendo (**Tiempo de carga**). El Tiempo de Carga es el tiempo total de operación menos los periodos en los que no estaba planificado producir por razones legales, días festivos, almuerzos, mantenimientos programados, etc., lo que se denominan paradas planificadas.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de operación bruto}}{\text{Tiempo de carga}} \quad (\text{Ec. 78})$$

- ❖ **Rendimiento**

---

<sup>41</sup> Fuente: [www.clubdemantenimiento.com](http://www.clubdemantenimiento.com). Gestión de Mantenimiento.

Mide las pérdidas causadas por el mal funcionamiento del equipo o las causadas por el no funcionamiento a la velocidad requerida y al rendimiento determinado por el fabricante. Incluye pérdidas de velocidad por pequeñas paradas y pérdidas de velocidad por velocidad reducida. El Rendimiento resulta de dividir el **Tiempo de operación neto** entre el **Tiempo de operación bruto**. También puede decirse que este tiempo es el tiempo de operación bruto a que le hemos descontado los tiempos de paradas debidas a microparos y reducción de velocidad.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de operación neto}}{\text{Tiempo de operación bruto}} \quad (\text{Ec. 79})$$

#### ❖ Tasa de Calidad

Es el porcentaje de la producción total que se produce sin defectos. El tiempo empleado para fabricar productos defectuosos deberá ser estimado y sumado al tiempo de paradas ya que durante ese tiempo no se han fabricado productos conformes. Este ratio incluye las pérdidas por tiempo de reproceso y pérdidas de tiempo productivo (tiempo empleado en fabricar piezas defectuosas). La tasa de calidad resulta de dividir el **Tiempo de operación efectivo** entre el **Tiempo de operación neto**. El tiempo de operación efectivo es el tiempo que la máquina realmente se encuentra produciendo piezas buenas, es decir

el tiempo neto al que le descontamos las paradas por defectos o mermas.

$$Tasa\ de\ Calidad = \frac{Tiempo\ de\ operación\ efectivo}{Tiempo\ de\ operación\ neto} \quad (Ec. 80)$$

Las unidades producidas pueden ser Conformes o No Conformes. A veces, las unidades No Conformes pueden ser reprocesadas y pasar a ser unidades Conformes. El OEE sólo considera buenas las que se salen conformes la primera vez, no las reprocesadas.

- **Clasificación del OEE**

El valor del OEE permite clasificar una o más líneas o toda una planta según los valores de OEE:

**1. OEE < 65% INACEPTABLE:** Se producen importantes pérdidas económicas y la competitividad es muy baja.

**2. 65% < OEE < 75% REGULAR:** Solo puede considerarse aceptable si se está en proceso de mejora.

**3. 75% < OEE < 85% ACEPTABLE:** Es un valor que puede aceptarse siempre que se continúe hacia la mejora continua.

**4. 85% < OEE < 95% BUENA:** Buena competitividad.

**5. OEE > 95% EXCELENCIA.**

➤ **Utilización (U)**

Mather (2005, p. 245) define la utilización como el grado en que el equipo, el espacio o la mano de obra se emplean actualmente. Se expresa como un porcentaje de la siguiente manera:

$$U (\%) = \frac{\text{Tiempo Operación}}{\text{Tiempo Disponible}} \times 100\% \quad (\text{Ec. 81})$$

➤ **Tasa de Producción**

Se entiende por Tasa de Producción la relación existente entre la cantidad de productos generados de un determinado proceso de transformación, y el tiempo empleado para obtener esa cantidad de productos.

$$\text{Tasa de Producción} = \frac{\text{Producción}}{\text{Tiempo empleado}} \quad (\text{Ec. 82})$$

➤ **Capacidad de Producción del Equipo**

La capacidad de producción del equipo debe reflejar la utilización y la efectividad global de dicho equipo. Se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Capacidad Productiva} = OEE * Utilización * 100\% \quad (\text{Ec. 83})$$

La Capacidad Adicional del Equipo se define como:

$$\text{Capacidad Adicional} = 1 - (OEE * Utilización) \quad (\text{Ec. 84})$$

Esta capacidad adicional puede alcanzarse administrando un programa de producción de planta, administrando las demoras, su velocidad y la calidad del producto.

### 2.3: Normatividad

- a) Norma ANSI CEMA: Standard N° 502-2004, Bulk Correa Transportadora Material y Devolución de Rodillos - Selección y dimensiones. Estándares dimensionales y directrices de selección de los 20°, 35° y 45°.
- b) Norma DIN: Estándares DIN 22101. Equipos mecánicos para transporte continuo de material; correas transportadoras para transporte de material: base para el cálculo y diseño.
- c) Norma OHSAS: Estándar OHSAS 18001:2007. Sistemas de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Anexo A (informativo). Correspondencia entre el estándar OHSAS 18001:2007 y las normas ISO 14001:2004 e ISO 9001:2000.
- d) Norma ISO 14224: Estándar ISO/DIS 14224 – 2004. Industria de Petróleo y Gas: Recolección de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. Contiene criterios para extenderse a otras actividades e industrias.
- e) DS 055 – MINEM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería que consta de 392 artículos, 32 anexos y 3 guías. Título Cuarto: Gestión de las Operaciones Mineras, Capítulo I – Estándares de las Operaciones Mineras, Subcapítulo I – Ingeniería de la Masa Rocosa en Minería Subterránea (artículos 209 al 219). Capítulo VIII – Subcapítulo II – Plantas Concentradoras (artículos 296 al 299), Subcapítulo III – Transporte por Mineraducto y Fajas Transportadoras (artículos 300 al 301), entre otros.

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1: Variables de la Investigación

Variable Independiente:

- Sección de chancado de minerales.

Variables Dependientes:

- Incremento de la producción diaria de mineral triturado.

#### 3.2: Operacionalización de Variables

TABLA N° 3. 1

**CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>  Sección de Chancado de Minerales	La redistribución de los equipos	Efectividad
	Cálculo y selección de los equipos mecánicos	Disponibilidad
	Dimensionamiento de la tolva	Tasa de Producción
	Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo	Efectividad Global de la sección de chancado
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>  Incremento de la Producción Diaria de Mineral Triturado	Aumentará la producción diaria	Efectividad Global de la sección de chancado
	Aumento de producción diaria	Tasa de Rendimiento
	Cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados	Capacidad Productiva
	Incremento de la efectividad	Efectividad Global de la sección de chancado

Fuente: Elaboración propia

### **3.3: Hipótesis General y Específicas**

#### **3.3.1: Hipótesis General**

- Si se optimiza la sección de chancado de minerales, entonces se logra el incremento de la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado.

#### **3.3.2: Hipótesis Específicas**

- Si se desarrolla la redistribución de los equipos, entonces aumentará la producción diaria de mineral triturado de la sección de chancado.
- Si el cálculo y selección de los equipos mecánicos son correctos, influye en el aumento de la producción diaria.
- El dimensionamiento de una tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD influye en el cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados.
- Si se propone de un plan de mantenimiento preventivo, entonces se incrementará la efectividad global de la sección de chancado.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1: Tipo de Investigación**

De acuerdo al tipo de investigación, naturaleza del problema y objetivos formulados en este trabajo, el presente estudio de investigación reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación Tecnológica del tipo Aplicada porque para su desarrollo, en la parte teórica conceptual, se apoyará en conocimientos de ingeniería a fin de ser aplicados en el área de operación correspondiente.

#### **4.2: Diseño de la Investigación**

La investigación corresponde a un diseño Aplicado.

##### **4.2.1: Parámetros Básicos de Investigación**

Se consideraron los siguientes parámetros de acuerdo a normas técnicas de los fabricantes, de libros especializados en procesamientos de minerales, compendios de conminución, informes de investigación, etc. los cuales se detallan a continuación:

**TABLA N° 4. 1**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS**

ITEM	FAJAS TRANSPORTADORAS	CARACTERÍSTICAS
1	Tipos de faja	Inclinada Ascendente / Horizontal
2	Material a transportar.	Mineral de Plomo
3	Tamaño	D - En trozos: de más de 1/2"
4	Fluidez	3 - Fluidez Promedio
5	Abrasividad.	7 - Muy abrasivo
6	Características variadas	M - Muy polvoriento
7	Designación	D37M
8	Peso específico del material a transportar.	200 Lb/pie <sup>3</sup>
9	Ángulo de reposo del material.	30°
10	Ángulo de sobrecarga.	20°
11	Ángulo de máxima inclinación.	15°

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 4. 2**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DEL APRON FEEDER**

ITEM	APRON FEEDER	CANTIDAD	UNIDAD
1	Ancho de la Tolva	0.9	m
2	Velocidad de la Oruga	39.6	m/min

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 4. 3**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA CHANCADORA DE MANDÍBULAS**

ITEM	CHANCADORA DE MANDÍBULAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Capacidad.	700	TMD
2	Horas de trabajo.	16	h
3	Tamaño máximo del mineral.	10	pulgadas

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 4. 4**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA CHANCADORA CÓNICA**

ITEM	CHANCADORA CÓNICA	CANTIDAD	UNIDAD
1	Capacidad.	91.86	TPH
2	Tamaño del mineral en la descarga.	1/2	pulgada

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 4. 5**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA ZARANDA PRIMARIA Y SECUNDARIA**

ITEM	ZARANDAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Densidad del mineral.	160	Lb/pie3
2	Amplitud.	0.0254	m

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 4. 6**

**PARÁMETROS DE ENTRADA DE LA TOLVA DE FINOS**

ITEM	TOLVA DE ALMACENAMIENTO DE FINOS	CANTIDAD	UNIDAD
1	Densidad Aparente del mineral fresco.	160	Lb/pie3
2	Capacidad de la Planta.	700	TMD
3	Ángulo de la Tolva.	45°	

Fuente: Elaboración propia

**4.2.2: Etapas de la Investigación**

La investigación la subdividiremos en 4 etapas:

- a) Desarrollo de la redistribución de la nueva Sección de Chancado.
- b) Cálculo y selección de los equipos mecánicos de la Sección de Chancado.

- c) Dimensionamiento de la tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD.
- d) Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo.

#### **4.2.3: Detalles de la Investigación**

##### **a) Desarrollo de la Redistribución de la Nueva Sección de Chancado**

Previamente se realiza un balance de masa para determinar la cantidad de carga que transportará el alimentador de orugas (Apron Feeder), la cantidad de carga de cada faja transportadora (según la propuesta planteada), la cantidad de carga que triturará cada chancadora (primaria y secundaria), la cantidad de carga que clasificará cada zaranda (primaria y secundaria).

Considerando una carga de 700 TMD, se procede a realizar el balance de masa según la distribución de los equipos de la sección de chancado representada en el diagrama propuesto.

Procedemos a calcular: el tonelaje de mineral alimentado, tamizado y rechazado en cada zaranda.

Reemplazando en las ecuaciones correspondientes (ver Ec. 11 – 17, págs. 57 - 58), calcularemos:

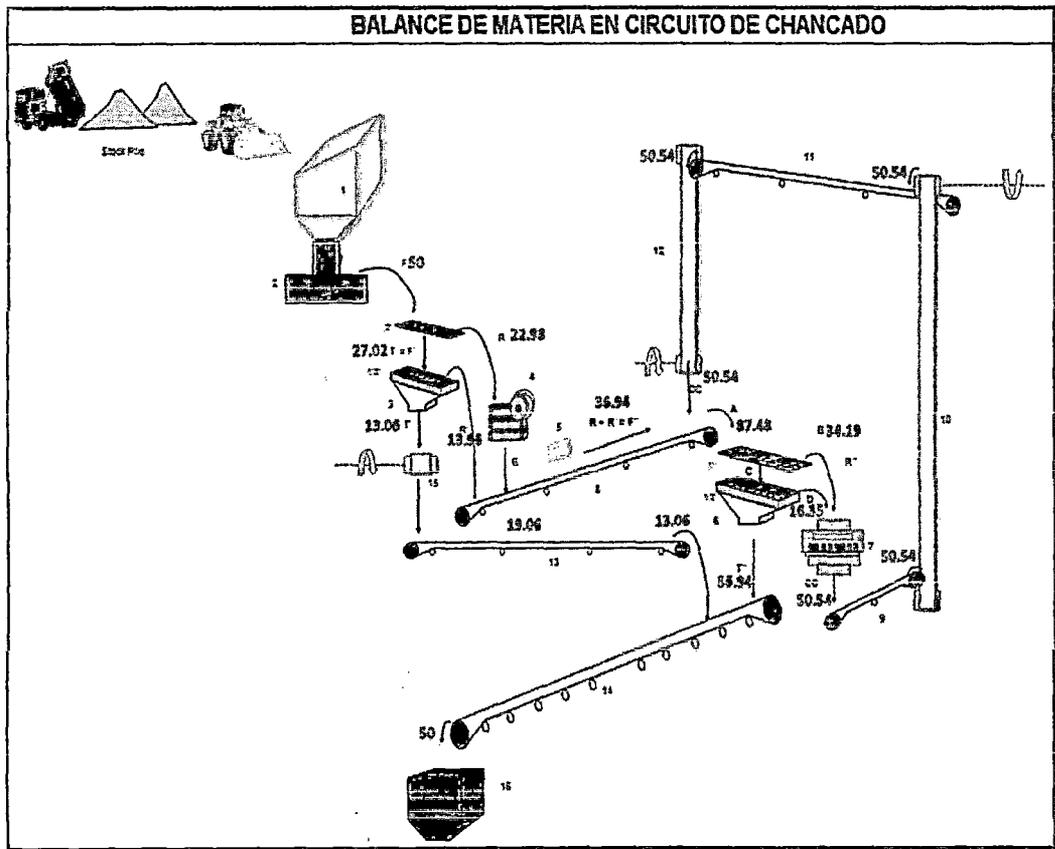
- La eficiencia de cada zaranda.

- El tonelaje de mineral fresco, el tonelaje de mineral tamizado (zarandeado), el tonelaje de mineral rechazado. Todos estos tonelajes con sus respectivas partículas de mineral fino.

En la Figura N° 4.1, se muestra el diagrama de flujo con la redistribución de los equipos de la sección de chancado, donde se indica cada componente mecánico con su respectiva carga de trabajo. Se obtiene el siguiente resultado (para los circuitos primario y secundario) según se muestra en el diagrama.

**FIGURA N° 4. 1**

**BALANCE DE MASA EN LA SECCIÓN DE CHANCADO**



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 4.7, se muestra el balance de carga obtenido en cada componente de la sección de chancado.

**TABLA N° 4. 7**  
**BALANCE DE CARGA EN LA SECCIÓN DE CHANCADO**

ITEM	DESIGNACIÓN	CAPACIDAD (TPH)
1	Apron Feeder	50.00
2	Zaranda N° 1	50.00
3	Chancadora de Mandíbulas	22.98
4	Faja Transportadora N° 1	87.48
5	Zaranda N° 2	87.48
6	Chancadora Cónica	50.54
7	Faja Transportadora N° 2	50.54
8	Faja Transportadora N° 3	50.54
9	Faja Transportadora N° 4	50.54
10	Faja Transportadora N° 5	50.54
11	Faja Transportadora N° 6	13.06
12	Faja Transportadora N° 7	13.06
13	Faja Transportadora N° 8	50.00

Fuente: Elaboración propia.

#### **b) Cálculo de los Componentes Mecánicos de la Sección de Chancado**

A continuación detallaremos los cálculos necesarios de los componentes mecánicos requeridos para la sección de chancado.

##### **➤ Cálculo de las Fajas Transportadoras**

Para el dimensionamiento, consideramos como características principales, las recomendadas para el mineral de Pb.

En este caso, para el cálculo elegiremos la Faja Transportadora N° 1 ya que esta faja transportará la carga máxima debido a la alimentación de la chancadora de mandíbulas y del circuito cerrado (con carga circulante) de

la chancadora cónica. Esta faja es del Tipo Ascendente con un ángulo máximo de inclinación de faja de 15° (véase Anexos Tabla A-2).

Como paso previo se realizó el Análisis de Malla correspondiente y el Balance de Masa de la Sección de Chancado para obtener el flujo que deberá transportar cada faja de acuerdo al tipo de chancado que se desea utilizar, en este caso se tiene un Circuito de Chancado Primario del Tipo Abierto y un Circuito de Chancado Secundario del Tipo Cerrado con carga circulante (véase Anexos Resultados del balance de masa en el circuito primario y secundario).

Para realizar el diseño del sistema de la faja transportadora, se utilizará un factor de diseño de  $f = 1.25$ .

**TABLA N° 4. 8**

**DATOS DE ENTRADA PARA LAS FAJAS TRANSPORTADORAS**

<b>DATOS DE ENTRADA</b>			
<b>Denominación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Flujo máximo de material	$Q_{max}$	87.48	tph
Factor de diseño	$f$	1.25	—
Flujo de diseño	$Q_d$	109.35	tph
Densidad de material	$\rho$	200	lb/pies <sup>3</sup>
Distancia entre centros	$C$	13.743	m

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del ángulo de reposo ( $\phi_r$ ), de sobrecarga ( $\phi_s$ ) del material y el ángulo de artesa ( $\beta$ ) de los polines.

Ángulo de reposo ( $\phi_r$ ): (véase Anexos Tabla A-2): [30°-34°]

Ángulo de sobrecarga ( $\theta_s$ ): (véase Anexos Tabla A-1)

$$\theta_s = 20^\circ$$

El ángulo de artesa utilizado será de  $\beta = 20^\circ$ . La geometría de la faja además está definida por su longitud (L), ancho (b), la altura de elevación de la faja (H) y el ángulo de elevación de la faja ( $\alpha$ ) es  $15^\circ$  (para el mineral de Pb).

Determinación del Ancho de Faja (b):

1. Tamaño máximo del material transportado [2" – 4"].
2. Granulometría del material: 20 % de finos y un 80 % de gruesos.
3. Ángulo de sobrecarga,  $\theta_s = 20^\circ$

Como no se tiene la línea de granulometría correspondiente (véase Anexos Figura A-1), se estima como si todo el material transportado es grueso (\*), obteniendo:  $b = 20''$

Seleccionamos el ancho de faja estándar inmediatamente superior:

$$b = 24''$$

(\*) Esta consideración también involucra la aparición de piedras lajas que no son posibles de triturar por la chancadora primaria.

La velocidad de operación (véase Anexos Tabla A-7) está entre [50 – 100] pies/min, para lo cual elegimos la velocidad de operación promedio de 75 pies/min.

También es de vital importancia determinar el peso por unidad de largo tanto del material transportado ( $W_m$ ), como de la faja ( $W_b$ , sin carga).

Reemplazando en la ecuación, se tiene que:

$$W_m = 48.6 \text{ lb/pie}$$

Estos datos tabulados (véase Anexos Tabla A-3) están basados en una faja reforzada por fibras no metálicas. Según CEMA se debe considerar un aumento de un 50 % del valor resultante (en este caso 6 lb/pies) si se desea utilizar fajas reforzadas con cables de acero.

La mejor elección del tipo de reforzamiento para esta aplicación es el refuerzo con cables de acero debido a las características del material, que a menudo es en forma de piedra laja la cual puede rajarse la faja de forma parcial o completa provocando problemas tanto de mantención como de seguridad operacional. Por lo tanto el peso final de la faja obtenido es:

$$W_b = 9 \text{ lb/pies.}$$

Determinamos el espaciamiento entre rodillos de carga y retorno (véase Anexos Tabla A-5).

Con  $b = 24''$  y peso del material = 200 lb/pies<sup>3</sup>

Entonces el espaciamiento para los rodillos es:

$$\text{Rodillos de carga} = 4' = 1.22 \text{ m}$$

$$\text{Rodillos de retorno} = 10' = 3.05 \text{ m}$$

El espaciamiento entre rodillos de impacto, normalmente es la mitad (o menos) del espacio entre rodillos de carga. Entonces el espaciamiento:

$$\text{Rodillos de impacto} = 1' = 0.305 \text{ m}$$

El espaciamiento entre rodillos adyacentes a las poleas terminales (véase Anexos Tabla A-6) de cola y motriz, los determinamos con  $\beta = 20^\circ$  y el % del valor de la tensión mayor a 90%.

Entonces el espaciamiento: Rodillos adyacentes =  $2b = 1.22 \text{ m}$

Por lo tanto las características geométricas de la faja son:

**TABLA N° 4. 9**

**RESUMEN DE RESULTADOS PARA LAS FAJAS TRANSPORTADORAS**

Denominación	Símbolo	Cantidad	Unidad
Ángulo de sobrecarga	$\phi_s$	20	°
Ángulo de reposo	$\phi_r$	30 - 34	°
Ángulo de artesa	$\beta$	20	°
Ángulo de inclinación	$\alpha$	15	°
Longitud de la faja	L	28.29	m
Ancho de la faja	b	24	pulg
Velocidad de diseño	V	75	pie/min
Peso del material	$W_m$	48.6	lb/pies
Peso de la faja	$W_b$	9	lb/pies
Espaciamiento de rodillos de carga	$S_c$	4 (1.22)	pulg (m)
Espaciamiento de rodillos de retorno	$S_r$	10 (3.05)	pulg (m)
Espaciamiento de rodillos de impacto	$S_i$	1 (0.305)	pulg (m)
Espaciamiento de rodillos adyacentes	$S_a$	4 (1.22)	pulg (m)

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Cálculo de la Tensión Efectiva**

Consideramos polines de 5" de diámetro CEMA A5, B5, C5, D5, obtenemos (con  $S_i = 4''$ ), según recomendación CEMA:

$$A_i = 1.8$$

Reemplazando en la Ecuación 30, obtenemos el factor de resistencia a la fricción y el deslizamiento de los polines con la faja:

$$K_x = 0.489 \text{ lb/in}$$

Obtenemos el factor de carga que representa la resistencia a la flexión de la faja y el material al pasar sobre los polines.

$$K_y = 0.017$$

Obtenemos la tensión resultante (véase Anexos Tabla A-10) que representa la resistencia a la flexión de la faja al pasar por cada uno de los polines.

$$T_p = 200 \text{ lb/polea}$$

Para determinar la  $T_{am}$  utilizaremos el método gráfico, obteniendo.

$$T_{am} = 131.2 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación 35, obtenemos la profundidad del material en contacto:

$$h_s = 0.1b = 2.4''$$

El factor de fricción con el faldón (véase Anexos Tabla A-8), está tabulado.

$$C_s = 0.276$$

La tensión de la fuerza de fricción de los desviadores (véase Anexos Tabla A-9), sería:

$$T_{pl} = 3 \text{ lb/in}$$

La tensión de los volteadores y apiladores (véase Anexos Tabla A-5), sería:

$$T_{vr} = 200 \text{ lb}$$

La tensión de los dispositivos de limpieza de la faja, se considera 5 lb por pulgada de ancho de contacto de la hoja del raspador para cada raspador instalado y que está en contacto con la faja (recomendación CEMA).

$$T_{bc} = 5 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ecuación 34, obtenemos la tensión de la fricción de los faldones:

$$T_{sb} = 1484.784 \text{ lb}$$

Luego, reemplazando en la Ecuación 33, obtenemos la tensión total de los accesorios de la faja:

$$T_{ac} = 1592.784 \text{ lb}$$

Finalmente, reemplazando en la Ecuación 29, obtenemos la Tensión Efectiva.

$$T_e = 2598.609 \text{ lb}$$

En la Tabla N° 4.10 se aprecian los valores de los factores y tensiones calculadas y obtenidas siguiendo el procedimiento establecido en el catálogo de CEMA.

**TABLA N° 4. 10**  
**RESUMEN DE RESULTADOS DE LA TENSIÓN EFECTIVA**

RESULTADOS			
Denominación	Símbolo	Cantidad	Unidad
Flujo máximo	$Q_{max}$	87.48	tph
Factor de diseño (CEMA)	f	1.25	---
Flujo de diseño	$Q_d$	109.35	tph
Velocidad de la faja	V	75	pies/mi n
Ancho de la faja	b	24	pulg
Espaciamiento de los polines de carga	$S_i$	4	pies
Temperatura ambiente	$T_a$	32	°F
Diámetro recomendado de polín	$D_p$	5	pulg
Tensión para vencer roce y rotación de polines	$A_i$	1.8	---
Factor corrección de temperatura	$K_t$	1	—
Factor resistencia a la fricción de los polines y desliz faja-polin	$K_x$	0.489	lb/pulg
Factor combinado de resistencia de la faja y de la carga	$K_y$	0.017	—
Tensión ejercida por los accesorios de la faja	$T_{ac}$	1592.78	lb
Tensión ejercida por el faldón del chute	$T_{sb}$	14784.8	lb
Tensión ejercida por los desviadores	$T_{pl}$	200	lb
Tensión ejercida por los limpiadores	$T_{bc}$	5	lb
Tensión necesaria para acelerar el material	$T_{am}$	131.2	lb

Fuente: Elaboración propia.

### ➤ Cálculo de las Tensiones Resultantes

Debido a que en el diseño de las fajas transportadoras no se consideraron elementos deflectores (Snub Pulley), entonces el ángulo de apriete utilizado es de  $\theta = 180^\circ$ .

También se determinó utilizar poleas con recubrimiento de caucho ya que también contribuyen a la disminución de tensiones en la faja, como también a disminuir las pérdidas por deslizamiento de la faja sobre la polea.

Para una faja recubierta con caucho accionada por polea de acero con revestimiento, forrada de caucho, (véase la Tabla N° 2.5, en la página 92), el coeficiente de fricción entre la superficie y la faja es:

$$\mu = 0.35$$

Reemplazando en la Ecuación 36, determinamos el factor de apriete:

$$C_w = 0.8$$

Con este valor y reemplazando en la Ecuación 36, podremos determinar el valor de la tensión en el lado de retorno de la faja.

$$T_2 = 2078.887 \text{ lb}$$

Luego, reemplazando en la Ecuación 37, determinamos la tensión en el lado de carga de la faja.

$$T_1 = 4677.497 \text{ lb}$$

➤ **Cálculo de la Potencia del Motor para la faja transportadora**

Determinada la tensión efectiva, podremos determinar la potencia requerida para el motor de accionamiento de la faja transportadora. En este caso consideraremos una eficiencia de 90%. Reemplazando en la Ecuación 38:

$$P_e = 6.56 \text{ HP}$$

A continuación, en la Tabla N° 4.11 se resumen las tensiones resultantes del sistema.

**TABLA N° 4. 11**

**RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS TENSIONES RESULTANTES**

<b>TENSIONES RESULTANTES</b>			
<b>Denominación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Factor de arrollamiento	$C_w$	0.8	---
Tensión efectiva	$T_e$	2598.609	lb
Tensión en el lado apretado	$T_1$	4677.497	lb
Tensión en el lado suelto	$T_2$	2078.887	lb
Potencia efectiva	$P_e$	6.56	HP

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Cálculo para la Selección de los Polines de Carga**

Para los polines de carga, consideramos un desalineamiento de:

$$d = 0.5 \text{ pulg}$$

Reemplazando en la Ecuación 39, la fuerza por la desviación de altura resulta:

$$IML = 54.138 \text{ lb}$$

Obtenemos el factor de ajuste del trozo (véase Anexos Tabla A-12):

$$K_1 = 1.1$$

Entonces si reemplazamos en la Ecuación 40, la Carga del Rodillo es:

$$C_{IL} = 434.11 \text{ lb}$$

De esta manera se obtiene una carga sobre los polines de  $C_{IL} = 434.11 \text{ lb}$ .

Con este resultado, se puede ver cuáles son los tipos de polines que se pueden utilizar. De esta manera, bastará con elegir polines de carga (véase Anexos Tabla A-14) tipo **CEMA C** que soportan una carga de 900 lb.

Nota: Esta clasificación está basada en Min  $L_{10}$  de 30,000 horas a 500 RPM.

#### ➤ **Cálculo para la Selección de los Polines de Retorno**

De manera similar y reemplazando en la Ecuación 41, calculamos la Carga del Rodillo:

$$C_{JR} = 66.665 \text{ lb}$$

Procediendo análogamente al caso anterior, (véase Anexos Tabla A-13), notamos que es necesario utilizar polines de retorno **CEMA B** (de un solo rodillo) que soportan una carga de 190 lb.

Nota: Esta clasificación está basada en Min  $L_{10}$  de 30,000 horas a 500 RPM.

➤ **Cálculo para la Selección de los Polines de Impacto**

Como la carga contiene terrones grandes (mayores a 2") ya que en descarga de la zaranda 1 y de la chancadora de mandíbulas obtenemos terrones entre 2 1/2" y 4", debemos calcular la Energía de Impacto sobre el rodillo (WH). La medición de la energía de impacto sobre el rodillo (WH), puede convertirse en un factor.

La clasificación mínima de energía y el tamaño máximo del terrón (véase Anexos Tabla A-16) para cada serie CEMA de impacto sobre el rodillo. En este caso sólo necesitamos comprobar la energía de impacto sobre el rodillo (WH) y compararla.

Teniendo en cuenta que el peso del terrón es:

$$W = 9 \text{ lb}$$

Además, considerando una altura de la caída desde la zaranda a la faja de:

$$H = 10 \text{ pies}$$

Entonces, reemplazando en la ecuación obtenemos:

$$WH = 90 \text{ lb} - \text{pie}$$

Elegimos rodillos (véase Anexos Tabla A-16) de la serie **CEMA C o D** (impacto en rodillos de 3 rodillos de goma de igual longitud).

Nota: las series de rodillos de impacto elegidas deben satisfacer tanto la menor cantidad de energía y el máximo tamaño de los terrones.

Consideramos que el material es homogéneo sin terrones, reemplazando en la Ecuación 43:

$$F = 48.03 \text{ lb}$$

Como el espaciamiento entre rodillos de impacto es  $l' = 0.3$  metros (véase Anexos Tabla A-15), obtenemos:

$$f = 0.5$$

Calculamos la Unidad de Fuerza de Impacto ( $F_u$ ), reemplazando en la Ecuación 44, obteniendo:

$$F_u = 24.02 \text{ lb}$$

Según las tablas de clasificación de cargas y capacidades (véase Anexos Tabla A-17), podemos elegir rodillos **CEMA B** o **C**.

Comparando ambos casos, entonces elegimos rodillos **CEMA SERIE C**.

Nota: Esta clasificación está basada en Min  $L_{10}$  de 30,000 horas a 500 RPM.

#### ➤ **Cálculo para la Selección del Tipo de Faja Transportadora**

Para poder determinar el tipo de faja a utilizar en esta aplicación se utilizaron de manera conjunta los catálogos de selección tanto de Goodyear, como Jorvex, con el objetivo de obtener la mayor cantidad de parámetros para poder realizar la selección de manera más precisa, el cruce de información entre los dos catálogos fue posible debido a que ambos trabajan bajos normas de CEMA.

Considerar un factor de seguridad ( $f_s$ ), que en este caso se consideró  $f_s = 3.5$ .

Con la Tensión Efectiva de la faja, procedemos al cálculo de la Tensión por Unidad de Ancho de la faja PIW (pound per inches width. Entonces, reemplazando en la Ecuación 45 tenemos que:

$$PIW = 682.13 \text{ lb/in}$$

Podemos apreciar (véase Anexos Tabla A-18) que la faja seleccionada es la Goodyear Flexsteel ST800, ya que esta faja presenta una tensión de operación ( $PIW_{\text{nominal}} = 685 \text{ lb/in}$ ) mayor al obtenido por las condiciones de trabajo ( $PIW = 682.13 \text{ lb/in}$ ).

**TABLA N° 4. 12**  
**SELECCIÓN DEL TIPO DE FAJA TRANSPORTADORA**

	Tensión Última		Tensión de Operación		Espesor (dGk)	Es	Ei	Dc
	PIW	N/mm	PIW	N/mm	mm	mm	mm	mm
<b>ST800</b>	4568	800	685	120	13.5	5.9	4	3.6

Fuente: Bandas Flexsteel

La Tabla N° 4.12 muestra las características de la faja seleccionada, donde:

$E_s$ : espesor de la cubierta superior de la faja.

$E_i$ : espesor de la cubierta inferior de la faja.

$D_c$ : espesor del cable de refuerzo.

➤ **Cálculo para la Selección del Motor**

De la parte anterior se obtuvo que la potencia efectiva expresada en HP es:

$$P_e = 6.562 \text{ HP}$$

Luego se recurre al catálogo de motores DELCROSA, teniendo en cuenta la potencia necesaria para mover el sistema completo y elegir un motor con la mayor cantidad de polos posible para no tener que encontrar una reducción tan grande. De esta manera se selecciona un motor DELCROSA cuyas características se muestran en el siguiente cuadro.

**TABLA N° 4. 13**  
**SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR**

<b>DATOS TÉCNICOS DEL MOTORREDUCTOR DELCROSA</b>						
<b>Potencia</b>	<b>Tipo</b>	<b>Serie</b>	<b>RPM</b>	<b>Ratio</b>	<b>Ø<sub>eje red</sub></b>	<b>Chavetero</b>
6.6 HP	130121M4	130121M4	1150	10.75	60 mm	11/16"

Fuente: Motorreductores Delcrosa

➤ **Cálculo para la Selección del Tipo de Tambor**

Determinamos el diámetro mínimo de la polea motriz y de cola.

Reemplazando en la Ecuación 50, obtenemos:

$$D_m \approx 351.67 \text{ mm} = 13.85 \text{ in}$$

Además se tiene que:

$$D_c \approx 0.85D_m = 298.92 \text{ mm} = 11.77 \text{ in}$$

Seleccionamos el diámetro inmediatamente superior, con lo cual se tendría:

$$D_m = 351.6 \text{ mm} = 14 \text{ in}$$

$$D_c = 298.9 \text{ mm} = 12 \text{ in}$$

Para fines prácticos, seleccionamos ambas poleas con el mismo diámetro.

Por lo tanto:

$$D_m = D_c = 14 \text{ in}$$

Reemplazando en la Ecuación 46, determinamos las RPMs de las poleas.

$$RPM_c = RPM_m = 20.463 \text{ RPM}$$

### ➤ **Cálculo del Sistema de Transmisión de Potencia por Cadena**

El moto-reductor tiene una velocidad de: 107 RPM

Calculamos el sistema de transmisión según el (Catálogo de Renold), mediante la ecuación:

$$n \approx 5.22$$

Para el piñón se recomienda una cantidad mínima de 15 dientes para un giro más suave de la corona. Entonces, de la Ecuación 46 tenemos:

$$Z_c = 78 \text{ dientes}$$

Debido a que la potencia seleccionada es de 6.6 HP (5 KW), determinamos (véase Anexos Figura A-2) del Catálogo Renold, el paso de la cadena.

Luego, elegimos una cadena Simple con un paso aproximado de 1" con una Lubricación por Goteo Tipo 2.

Según recomendación Renold, la distancia entre centros considerada (C) debería estar entre [30 – 50] veces el paso. Asumiendo:  $C = 40P = 40"$  (1016 mm).

Reemplazamos en la Ecuación 47 para calcular la Longitud de la Cadena o Número de Eslabones (L):

$$L = 126.54 \text{ eslabones} \approx 3.214 \text{ m}$$

De la Ecuación 48, determinamos la Distancia entre Centros Real para la Longitud de la Cadena L, que calculada por el método anterior, puede ser superior o inferior a la contemplada originalmente.

$$C_R = 983.57 \text{ mm}$$

De los Catálogos Renold, seleccionamos la Cadena Renold Synergy Roller Chain Simplex de 1" de paso. Para un paso  $P = 1"$  y  $Z_p = 15$ , se tiene que el diámetro máximo del eje será de 75 mm.

#### ➤ Cálculo para el Dimensionamiento del Chute de Carga

De la Figura N° 2.44 (véase capítulo II), el ancho del chute de carga máximo, lo obtenemos al reemplazar en la Ecuación 51:

$$A_{max} = 16 \text{ in}$$

El ancho mínimo lo obtenemos de la recomendación CEMA:

$$A_{min} = 2.5(4) = 10 \text{ in}$$

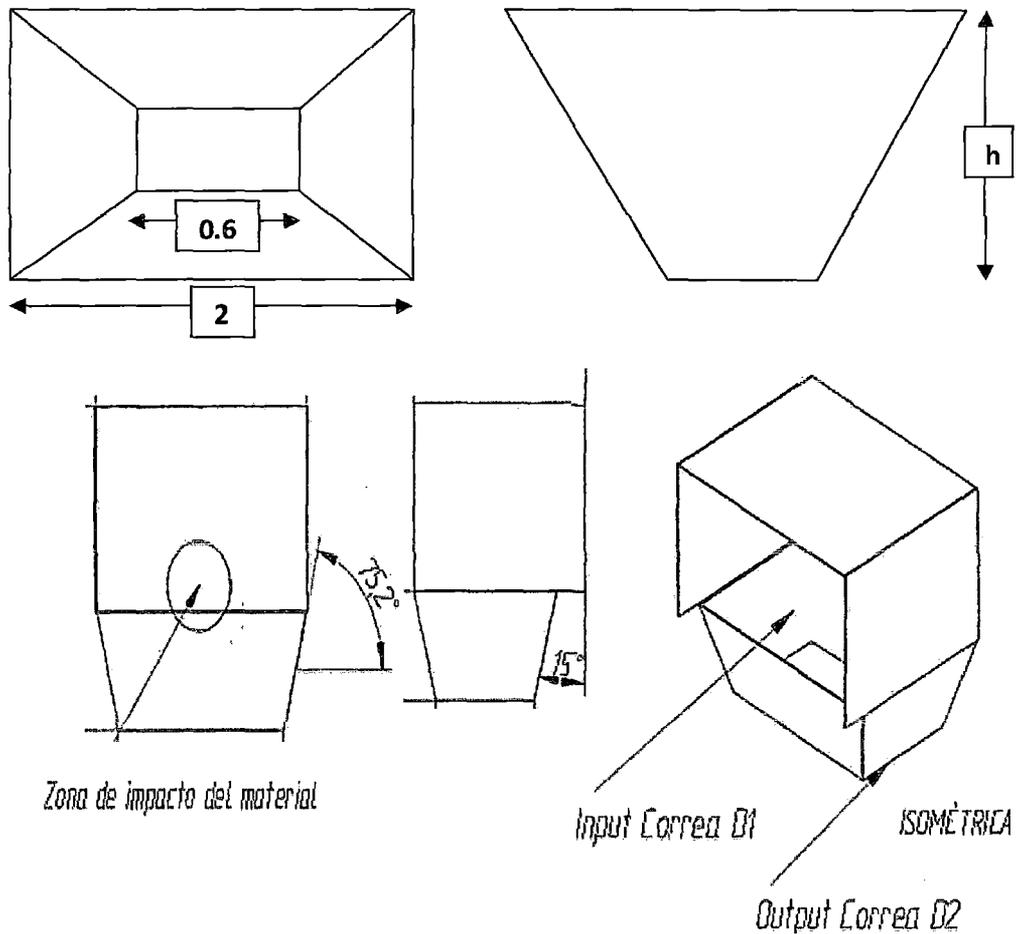
Asumiendo una altura del sistema faja-chute de  $h = 1 \text{ m}$  y la geometría del sistema, reemplazando en la Ecuación 52, determinamos el volumen se calcula como:

$$V_{chute} = 2.49 \text{ m}^3$$

Este resultado nos asegura que con las dimensiones asumidas, el chute tiene una capacidad que impide que el mineral se aglomere en el interior.

FIGURA N° 4. 2

DIMENSIONES DEL CHUTE DE CARGA Y DESCARGA



Fuente: Elaboración propia

➤ **Cálculo para el Dimensionamiento de los Faldones**

El largo de los faldones ( $L_s$ ) o skirtboard es de 2 pies por cada 100 pies/min de la velocidad de la faja. Entonces reemplazando en la ecuación, el largo del faldón es:

$$L_s = 9 \text{ pies}$$

### ➤ Cálculo de las Tensiones de las Fajas Transportadoras

En esta parte debemos tener en cuenta lo siguiente:

- La faja transportadora N° 6 y la faja transportadora N° 7 son horizontales.
- Las fajas N° 1, 2, 3, 4, 5 y 8 son inclinadas con transporte de carga ascendente.
- Todas las fajas transportadoras son accionadas únicamente en la cabeza donde están instaladas los motorreductores. Tampoco se considera la instalación de elementos deflectores ni tensores automáticos, tampoco con un sistema de frenado.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el cálculo utilizaremos los Diagramas de Tensiones del método Kauman Rubber Technologies para una mejor visualización de las mismas.

### ➤ Diagrama de Tensiones

Para la Faja N° 1 (faja ascendente), calculamos la tensión para soportar el peso propio de la faja:

$$T_g = 110.534 \text{ lb}$$

Como  $T_2 > T_g$ , (nos encontramos en el caso 1).

Reemplazando en la ecuación, hallamos la tensión en el ramal inferior.

$$T_{ri} = (3.6)(0.02)(16)(2 \times 13.394 \times \cos 15^\circ + 40) \times 2.2 \text{ lb} = 166.953 \text{ lb}$$

Reemplazando en la ecuación, hallamos la tensión en el ramal superior.

$$T_{rs} = (3.6)(0.02)(16)(2 \times 13.394 \times \cos 15^\circ + 137.4) * 2.2 \text{ lb} = 413.804 \text{ lb}$$

De la ecuación, hallamos la tensión para elevar la carga.

$$T_v = \frac{109.35 \times 12.299(0.305)}{3.6 \times (75 \times 0.00508)} * 2.2 \text{ lb} = 657.936 \text{ lb}$$

De la ecuación, hallamos la tensión para vencer el rozamiento al movimiento de carga.

$$T_q = \frac{(3.6)(0.02)(16)(109.305) \cos 15^\circ}{3.6 \times (75 \times 0.00508)} * 2.2 \text{ lb} = 195.169 \text{ lb}$$

Entonces, de la ecuación, calculamos la fuerza:

$$F = 1433.862 \text{ lb}$$

De la ecuación, hallamos la tensión  $T_3$ .

$$T_3 = 2135.306 \text{ lb}$$

De la ecuación, hallamos la tensión  $T_4$ .

$$T_4 = T_3 = 2135.306 \text{ lb}$$

Para el diseño de las estructuras de las fajas transportadoras, se sugiere considerar dos tipos de perfiles:

- Canal U (6 x 8.2 lb) para la estructura principal y soportes.

- Ángulos L de lados iguales (1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"; 2 1/2" x 2 1/2" x 1/4") para los amarres de la estructura principal y de los soportes.

Los detalles de las estructuras se muestran en los Planos ubicados en los anexos.

Procedemos de manera similar para las fajas transportadoras N° 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, teniendo en cuenta la inclinación de las mismas. Según la distribución se tiene que la Faja Transportadora N° 6 y la Faja Transportadora N° 7 son horizontales.

**NOTA:** Como parte de la investigación realizada, se sugiere que las estructuras de las fajas transportadoras N° 1 al 7 sean fabricadas de canal U de 6" (por ser fajas cortas no mayores de 20 metros de longitud) y la estructura de la faja N° 8 sea fabricada con ángulos de 2 1/2 pulgadas. Se adjunta en los anexos, un plano con las dimensiones de las estructuras de las fajas y los detalles del material utilizado para su construcción.

#### ➤ **Cálculo para la Selección del Apron Feeder**

Para seleccionar este equipo, bastará con determinar la capacidad de alimentación en TPH. Debido al balance de masa, se obtuvo que la carga a transportar en el Apron Feeder será de 50 TPH.

El Apron Feeder es de 36" (B = 900mm) de ancho. Considerando: D = 300mm, V = 39.6m/min y  $\phi = 0.04$ . Reemplazando en la Ecuación 1, se tiene el siguiente cuadro:

**TABLA N° 4. 14**  
**SELECCIÓN DEL APRON FEEDER**

<b>SELECCIÓN DEL APRON FEEDER</b>	
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	
Ancho de la Tolva (m)	0.90
Altura del Material a Transportar (m)	0.30
Densidad del Mineral (TM/m <sup>3</sup> )	2.40
Velocidad de la Oruga (m/min)	39.60
Factor de Llenado	0.04
<b>DATOS DE SALIDA</b>	
Capacidad (TPH)	53.89

Fuente: Elaboración propia

Según el catálogo Siko Engineering (véase Anexos Tabla A-19), la capacidad de este equipo está entre [56 - 111] TPH aproximadamente para alturas de material a transportar entre [300 – 600] mm.

➤ **Cálculo para la Selección de la Chancadora de Mandíbulas (Primaria)**

Para dimensionar la Chancadora de Mandíbulas, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

$$\text{Capacidad} = 700 \text{ TMD}$$

Considerar que la chancadora trabaja 16 horas con una intermitencia del 30%, esto se representa:  $100/(100-30)$ .

Teniendo en cuenta que:

TCH: tonelada corta hora

TM: tonelada métrica = 2204.6341 lb

TC: tonelada corta = 2000 lb

1 micrón = 25 400''

FC: factor de conversión = 2204.6341 / 2000 = 1.1023

T: tamaño máximo del mineral = 10''

Reemplazando en la Ecuación 2, procedemos a calcular la Capacidad de Diseño ( $C_d$ ):

$$C_d = 98.42 \text{ TCH}$$

La relación entre el tamaño más grande del mineral y la abertura mínima de alimentación de la chancadora es:

$$f = \frac{2}{3}$$

La abertura mínima de alimentación de la chancadora, la calculamos de la Ecuación 3:

$$a = 15 \text{ pulgadas}$$

Asumiendo un rango de reducción de  $R = 3$ , procedemos a dimensionar la chancadora considerando que el Set está entre [2 - 6] pulgadas.

El tamaño de la partícula del producto del 80% de pasante es:  $P_{80} = 2''$ .

De manera experimental, se determinó que el WI es de 15.4 KW-H / TCH (dato proporcionado por Laboratorios PROCMIN). Para calcular la Energía Necesaria (W), utilizaremos la relación desarrollada por el Método de Bond. Este valor lo obtenemos de la Ecuación 5:

$$W = 0.251 \text{ KW} - H / TCH$$

Luego, con un  $f_s = 1.25$ , la Potencia la determinamos mediante la Ecuación 6:

$$P = 48.74 \text{ HP}$$

Con los valores obtenidos de la Abertura Mínima de la Chancadora y la Potencia, seleccionamos del Catálogo Funcal una Chancadora apropiada.

La Tabla N° 4.15 nos muestra este resultado.

**TABLA N° 4. 15**  
**SELECCIÓN DE LA CHANCADORA DE MANDÍBULAS**

<b>SELECCIÓN DE LA CHANCADORA PRIMARIA</b>	
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	
Capacidad (TMD)	800
Factor de Conversión (TMD a TCH)	1.1023
Intermitencia (%)	30
Tamaño máximo del mineral (pulg)	10
Horas de Trabajo Diario (h)	16
Factor Tamaño/abertura	0.67
Ø1 Micrón (pulg)	25400
Set de la Chancadora (pulg)	[2 - 6]
<b>RESULTADOS</b>	
Capacidad de Diseño (TCH)	98.42
Abertura Mínima de Alimentación (pulg)	15
Rango de Reducción	3
F80 (micrones)	127000
P80 (micrones) - Tabla II	50800
Work Index Experimental (KW-H/TCH)	15.4
Energía Necesaria (KW-H/TCH)	0.251
Potencia (HP)	33.14
Factor de Seguridad	1.25
Potencia Necesaria (HP)	48.74

Fuente: Elaboración propia

De los Catálogos **FUNCAL** (véase Anexos Figura A-3), seleccionamos la **Chancadora de Mandíbulas 15" x 36"**.

Si consideramos las pérdidas de potencia debido a la altura, deberíamos escoger un motor de mayor capacidad. Asumiendo un factor de seguridad del 30%, entonces el motor a elegir sería de **70 HP**.

➤ **Cálculo para la Selección de la Chancadora Cónica (Secundaria)**

Para dimensionar la Chancadora Cónica, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

Capacidad de Diseño:  $C_d = 91.86 \text{ TCH}$

El circuito de chancado secundario será del Tipo Cerrado, con una zaranda vibratoria antes de la entrada a la chancadora.

El tamaño de la partícula de alimentación del 80% del pasante es de:

$$F_{80} = 2^{\text{m}}$$

El tamaño de la partícula del producto del 80% del pasante es de:

$$F_{80} = 1/2 \text{ "}$$

Consideraremos que el WI es de 15.4 KW-H / TCH (dato proporcionado por Laboratorios PROCMIN). Para calcular la Energía Necesaria (W),

utilizaremos la relación desarrollada por el Método de Bond. Este valor lo obtenemos de la Ecuación 5:

$$W = 0.76 \text{ KW} - H / TCH$$

Luego, con un  $f_s = 1.25$ , la Potencia la determinamos mediante la Ecuación 6:

$$P = 146.62 \text{ HP}$$

La Tabla N° 4.16 nos muestra este resultado.

**TABLA N° 4. 16**  
**SELECCIÓN DE LA CHANCADORA CÓNICA**

<b>SELECCIÓN DE LA CHANCADORA SECUNDARIA</b>	
<b>DATOS DE ENTRADA</b>	
Capacidad (TCH)	98.42
F80 - ingreso (micrones)	63500
P80 - descarga (micrones)	12700
<b>RESULTADOS</b>	
Rango de Reducción	40
Work Index Experimental (KW-H/TCH)	15.4
Energía Necesaria (KW-H/TCH)	0.76
Potencia (HP)	99.70
Factor de Seguridad	1.25
<b>Potencia Necesaria (HP)</b>	<b>146.62</b>

Fuente: Elaboración propia

De los Catálogos **NORDBERG SYMONS**, (véase Anexos Figura A-4) seleccionamos una **Chancadora Cónica Symons Standard 4 1/4'**.

Cabe resaltar que para obtener un producto final de 1/2", el perfil del **Bowl Liner** y del **Mantle Liner** debe ser **Perfil Fino**.

Si consideramos las pérdidas de potencia debido a la altura, deberíamos escoger un motor de mayor capacidad. Asumiendo un factor de seguridad del 30%, entonces el motor a elegir sería de **200 HP**.

➤ **Cálculo para la Selección de la Zaranda Primaria**

Para dimensionar la Zaranda Primaria, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

Capacidad de Diseño:  $C_d = 91.86 TCH$

Densidad del mineral:  $\rho = 160 \text{ lb/pie}^3$

Habiendo determinado los valores de los factores A, B, C, D, E, F, G, H, (véase Anexos Figura A-6); reemplazamos en la Ecuación 9 y obtenemos el ancho (b):

$$b = 3.49 \text{ pies}$$

Para determinar la Potencia de la Zaranda (P), debemos considerar:

- N: vibración (770 RPM)
- a: amplitud (0.0254 m)
- fs: factor de seguridad (fs = 1.25)

Entonces, reemplazando en la Ecuación 10:

$$P = 12 \text{ HP}$$

La Tabla N° 4.17 nos muestra este resultado.

**TABLA N° 4. 17**  
**SELECCIÓN DE LA ZARANDA VIBRATORIA N° 1**

SELECCIÓN DE LA ZARANDA VIBRATORIA N° 1			
MÉTODO DE LA AFTV			
DATOS DE ENTRADA		RESULTADOS	
Capacidad (TMD)	98.42	Superficie del Tamiz (pie 2)	24.363
Abertura cuadrada (pulg)	2	Considerando L = 2b	
Factor A	4.9	<b>Dimensiones de la Zaranda</b>	
Rechazos Alimentados (%)	80	Ancho (pie)	3.496
Factor B	0.53	Longitud (pie)	6.990
Tamaño Medio de Alimentación (%)	40	<b>SELECCIÓN DEL MOTOR</b>	
Factor C	1	Vibración (RPM)	770
Porción de la Superficie en el Tamiz	1	Amplitud (m)	0.0254
Factor D	1	Potencia (HP)	9.60
Abertura del Tamizado en Húmedo (pulg)	1/32	Factor de Seguridad	1.25
Factor E	1	Potencia Necesaria (HP)	12.00
Densidad del Mineral (lb/pie <sup>3</sup> )	160		
Factor F	1.6		
Área Abierta de la Tela	70		
Factor G	0.972		
Forma de la Abertura del Tamiz	Cuadrado		
Factor H	1		
Eficiencia (%)	95		
Factor J	1		
De los catálogos FIMA, seleccionamos una Zaranda Vibratoria 4' x 8' con un motor de 12 HP			

Fuente: Elaboración propia

**Nota:** La zaranda primaria debe ser de dos pisos (decks) con aberturas de malla superior de 2" y abertura de malla inferior de 1/2".

➤ **Cálculo para la Selección de la Zaranda Secundaria**

Para dimensionar la Zaranda Secundaria, debemos tener en cuenta las siguientes premisas:

Capacidad de Diseño:  $C_d = 91.86 TCH$

Densidad del mineral:  $\rho = 160 \text{ lb/pie}^3$

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, determinamos la Potencia de la Zaranda, pero en este caso debemos considerar (valor obtenido para un circuito cerrado):

N: vibración (900 RPM)

La Tabla N° 4.18 nos muestra este resultado.

**TABLA N° 4. 18**  
**SELECCIÓN DE LA ZARANDA VIBRATORIA N° 2**

SELECCIÓN DE LA ZARANDA VIBRATORIA N° 2			
MÉTODO DE LA AFTV			
DATOS DE ENTRADA		RESULTADOS	
Capacidad (TMD)	98.42	Superficie del Tamiz (pie 2)	67.773
Abertura cuadrada (pulg)	1/2	Considerando $L = 2b$	
Factor A	2.47	Dimensiones de la Zaranda	
Rechazos Alimentados (%)	80	Ancho (pie)	5.821
Factor B	0.53	Longitud (pie)	11.642
Tamaño Medio de Alimentación (%)	30	SELECCIÓN DEL MOTOR	
Factor C	0.8	Vibración (RPM)	900
Porción de la Superficie en el Tamiz	2	Amplitud (m)	0.0254
Factor D	0.9	Potencia (HP)	15.33
Abertura del Tamizado en Húmedo (pulg)	1/32	Factor de Seguridad	1.25
Factor E	1	Potencia Necesaria (HP)	19.16
Densidad del Mineral (lb/pie <sup>3</sup> )	160		
Factor F	1.6		
Área Abierta de la Tela	52		
Factor G	0.963		
Forma de la Abertura del Tamiz	Cuadrado		
Factor H	1		
Eficiencia (%)	90		
Factor J	1		
De los catálogos FIMA, seleccionamos una Zaranda Vibratoria 6' x 12' con un motor de 20 HP			

Fuente: Elaboración propia

**Nota:** La zaranda secundaria debe ser de dos pisos (decks) con aberturas de malla superior de 1" y abertura de malla inferior de 1/2".

**c) Dimensionamiento de la Tolva de Almacenamiento de Finos de 700 TMD**

Según las condiciones del área determinada para la construcción de la tolva de almacenamiento, los planes de ampliación de la planta a futuro, se optó por dimensionar la tolva de finos cuya sección superior tenga la forma de un paralelepípedo y sección inferior tiene la forma de un tronco de pirámide, para lo cual se tendrán los siguientes datos de entrada:

Densidad Aparente del mineral fresco:  $D = 150 \text{ lb/pe}^3$

Capacidad de la planta:  $C = 700 \text{ TMD}$

Ángulo de la tolva en la descarga:  $45^\circ$

Para efectos de diseño, consideramos 1.5 veces más de producción.

Luego, tenemos que la capacidad de diseño sería:

$$C_d = (1.5)700 = 1050 \text{ TMD}$$

El volumen de la tolva de finos, lo obtenemos de la Ecuación 68:

$$V_f = 14000x(0.305)^3 \approx 398 \text{ m}^3$$

Además, se debe considerar un aumento de aproximadamente 50 % de la capacidad de la planta en caso de contingencias. Entonces, el volumen sería:

$$V_f = (1.5)398 \text{ m}^3 \approx 597 \text{ m}^3 = 600 \text{ m}^3$$

Según las dimensiones del terreno, las dimensiones de la descarga de la tolva serían:

$$HG = 5.80 \text{ m}$$

$$GF = 1.10 \text{ m}$$

La tolva de finos tendrá una sección rectangular, además consideraremos el largo como 1.8 veces el ancho, además la altura del paralelepípedo es la mitad del largo. Entonces, de la Figura N° 2.50:

$$BL = 1.8 * LD$$

$$AB = 0.5 * BL$$

De la Figura N° 2.50:  $XP = BD = 2 * HX + HF$

$$BD = \sqrt{BL^2 + (1.8BL)^2} = 2xHX + (5.8 \times 1.1)$$

$$\rightarrow AX = HX = \frac{1}{2}(2.06BL^2 - 5.9)$$

De la Ecuación 69, obtenemos la siguiente relación:

$$V_f = \frac{5BL^3}{18} + \frac{1}{3}AX[BL(BC) + HG(GF) + \sqrt{BL(BC)(HG)(GF)}]$$

Igualando, el volumen está dado por:

$$600m^3 = \frac{5BL^3}{18} + \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} (2.06BL^2 - 5.9) \right) \left[ \frac{BL^2}{1.8} + 5.8(1.1) + \sqrt{BL \left( \frac{BL}{1.8} \right) (5.8)(1.1)} \right]$$

$$\therefore BL = 10.87 \text{ m}$$

Luego:

$$LD = BC = 6.04 \text{ m}$$

$$AB = 5.94 \text{ m}$$

Como parte de la investigación realizada, dadas: las condiciones del terreno, el modelo de la tolva (sección transversal rectangular), su capacidad y por recomendaciones de la empresa encargada de su construcción; se sugiere que se construya con vigas H 12"x65 lb/pie y vigas H 10"x33 lb/pie para la estructura principal y columnas, además de planchas de Fe de 3/8"x5'x10' para las paredes y chute de descarga hacia la faja de alimentación al molino, canal U 4"x5.4 lb/pie. Se adjunta el plano con las dimensiones de la tolva y los detalles del material utilizado para su construcción (ver Anexos Plano de Detalle de la Tolva de Finos).

#### **d) Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo**

Debido que al momento de realizar la investigación, no se encontró documentación impresa ni digital de un plan de mantenimiento, se planteó la propuesta para su implementación con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de la sección de chancado y cumplir con los requerimientos de producción. La propuesta contempla:

- ✓ Plan de Mantenimiento Preventivo de los Equipos de la Sección de Chancado.
- ✓ Formatos de Órdenes de Trabajo (OT), formatos de Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro (PETS), formatos de Procedimientos Escritos de Trabajo de Alto Riesgo (PETAR), según DS 055 - MINEM.

#### **4.3: Población y Muestra**

La muestra para la investigación es igual a la población ya que se trata de una muestra Exhaustiva<sup>42</sup> en la cual se toma el 100% de los afectados por la investigación. La población estuvo integrada por todos los equipos de la sección de chancado: 01 apron feeder, 07 fajas transportadoras, 02 chancadoras y 02 zarandas vibratorias, lo cual corresponde la muestra en estudio en la misma área de investigación, es decir Población = Muestra<sup>43</sup> = 12 equipos.

---

<sup>42</sup> Si queremos saber cuánto rinden diariamente los equipos de una planta, observaremos a todos (muestra exhaustiva). La población son todos los equipos de la planta y la muestra está formada por los equipos elegidos.

<sup>43</sup> Por su parte Hernández citado en Castro (2003), expresa que "si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra" (p.69).

#### **4.4: Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Técnica de Recolección de Datos:

- Empírica

Instrumento de Recolección de Datos:

- Entrevistas – observación

##### **a. Observación Directa**

La observación directa permitió conocer e identificar cada una de las actividades, tecnología, metodologías y procedimientos de funcionamiento de los equipos de producción de la sección de chancado.

##### **b. Datos Históricos**

La revisión de los datos históricos permitió obtener información esencial con respecto a las rutinas de mantenimiento, la producción de los últimos dos años, las horas de operación de los equipos, entre otros, de la sección de chancado.

##### **c. Entrevistas y Encuestas**

Se realizaron entrevistas no estructuradas al personal involucrado en las labores de mantenimiento del área de producción con la finalidad de obtener una información no sesgada, precisa y detallada acerca de las fallas, funcionamiento de los equipos, por medio de una serie de preguntas abiertas y aleatorias surgidas de las necesidades pertinentes a dudas o temas

específicos, que permitieron realizar un diagnóstico de la situación actual.

El modelo de encuesta utilizada y los resultados se detallan en los anexos.

#### **d. Revisión de Material Bibliográfico**

La revisión de material bibliográfico incluye: la revisión de: manuales y catálogos suministrados por los proveedores y fabricantes, la revisión de textos de consulta e informes de pasantía con el fin de complementar los fundamentos teóricos de la presente investigación, la consulta a referencias electrónicas (internet).

#### **e. Paquetes Computarizados**

Para la obtención de la data histórica, así como la estructuración formal de la investigación, se utilizaron como apoyo los paquetes computarizados Word, Excel, softwares de ingeniería (Autocad, Inventor), entre otros.

Para la toma de datos se han utilizado instrumentos tales como: balanza electrónica, flujómetros y fórmulas de aplicación práctica.

### **4.5: Procedimiento de Recolección de Datos**

Mediante documentación primaria y secundaria. Algunos datos se han tomado directamente del equipo en funcionamiento y otros se han tomado de los archivos de la oficina del área de producción.

#### **4.6: Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos**

Como es una investigación Tecnológica del tipo Aplicada y al tener en cuenta que la población es igual a la muestra, esta investigación no amerita procesamiento o análisis estadístico, sino un análisis de los resultados obtenidos que lo comparamos con normas técnicas para estar enmarcados en los rangos establecidos, además de acuerdo a los datos con que se cuentan estos se analizan mediante fórmulas prácticas.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

Los resultados de la investigación se muestran a continuación en las siguientes tablas y figuras.

#### Resumen de los resultados obtenidos de las fajas transportadoras

TABLA N° 5. 1

RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 1

FAJA TRANSPORTADORA N° 1				
ITEM	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDAD	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	15°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	15260	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
POLINES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANTIDAD	DENOMINACIÓN
1	Polín de carga normal triple	CNT	9	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	7	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	4	RNS-5-24-0-MCBS
TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)				
ITEM	DESCRIPCIÓN	D. POLEA (pulg)	D. EJE (pulg)	LONG. POLEA (pulg)
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
MOTORREDUCTOR				
ITEM	MARCA	POTENCIA (HP)	N1/N2	D. EJE (mm)
1	Deícrosa	6.6	1150/107	30
SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	Z	PASO (pulg)	D. EJE (mm)
1	Sprocket	15	1	60
2	Catalina	78	1	60
CADENA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PASO (pulg)	LONGITUD (m)	DENOMINACIÓN
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 5.2

RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 2

FAJA TRANSPORTADORA N° 2				
ITEM	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDAD	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	10°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	5409	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
POLINES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CANTIDAD	DENOMINACIÓN
1	Polín de carga normal triple	CNT	1	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	4	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	0	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	1	RNS-5-24-0-MCBS
TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)				
ITEM	DESCRIPCIÓN	D. POLEA (pulg)	D. EJE (pulg)	LONG. POLEA (pulg)
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
MOTORREDUCTOR				
ITEM	MARCA	POTENCIA (HP)	N1/N2	D. EJE (mm)
1	Deltros	3.6	1730/158	60
SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	Z	PASO (pulg)	D. EJE (mm)
1	Sprocket	15	1	50
2	Catalina	45	1	50
CADENA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	PASO (pulg)	LONGITUD (m)	DENOMINACIÓN
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 5.3**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 3**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 3</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	15°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	15260	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNT	9	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	4	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	4	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	7.5	1740/113	60
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	14	1	60
2	Catalina	39	1	60
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia..

**TABLA N° 5. 4**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 4**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 4</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	14°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	14900	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNT	9	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	4	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	4	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	7.5	1740/113	60
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	14	1	60
2	Catalina	39	1	60
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 5.5**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 5**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 5</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	14°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	15000	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNT	9	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	4	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	4	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	7.5	1740/113	60
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	14	1	60
2	Catalina	39	1	60
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 5. 6**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 6**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 6</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	0°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	3460	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNS	4	CNT-5-24-0-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	3	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2	30
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	30
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	2.5	1730/97	30
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	24	5/8	30
2	Catalina	57	5/8	45
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	5/8	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 5. 7**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 7**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 7</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	0°		
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	15566	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNT	10	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	4	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	4	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2	27
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	5	1750/5	60
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	14	1	60
2	Catalina	39	1	60
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	1	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA N° 5. 8**

**RESUMEN – FAJA TRANSPORTADORA N° 8**

<b>FAJA TRANSPORTADORA N° 8</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>	<b>UNIDAD</b>	
1	Ancho de la faja	24	pulgadas	
2	Inclinación de la faja	14	°	
3	Ancho de la estructura	895	mm	
4	Largo de la estructura	32000	mm	
5	Tipo de faja	ST800		
<b>POLINES</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Polín de carga normal triple	CNT	27	CNT-5-24-2-MCBS
2	Polín de impacto triple	CIT	8	CIT-5-24-2-MCBS
3	Polín de carga de autoalineamiento triple	CAT	1	CAT-5-24-2-MCBS
4	Polín de retorno normal simple	RNS	14	RNS-5-24-0-MCBS
<b>TAMBORES (PÓLEAS MOTRIZ Y DE COLA)</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>D. POLEA (pulg)</b>	<b>D. EJE (pulg)</b>	<b>LONG. POLEA (pulg)</b>
1	Polea motriz Herringbone	14	2 15/16	27
2	Polea de cola autolimpiante	14	2 15/16	27
<b>MOTORREDUCTOR</b>				
<b>ITEM</b>	<b>MARCA</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>N1/N2</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Delcrosa	5	1755/57	60
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LA FAJA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Z</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>D. EJE (mm)</b>
1	Sprocket	17	1 1/4	60
2	Catalina	45	1 1/4	60
<b>CADENA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PASO (pulg)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
1	Cadena de rodillos c/candados	1 1/4	3	ANSI 80

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 5.9

RESUMEN – EQUIPOS DE CHANCADO

RESUMEN DE EQUIPOS DE LA SECCIÓN DE CHANCADO			
EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	MEDIDA	UNIDAD
Apron Feeder	Marca Comesa	3m x 36"	---
	Diámetro Polea de Cabeza	15	pulg
	Diámetro Polea de Cola	15	pulg
	Diámetro Eje de las Chumaceras	65	mm
	Potencia del Motorreductor	6.6	HP
Chancadora de Mandibulas	Marca Funcal	15" x 36"	---
	Tamaño en la Descarga	2	pulg
	Potencia del Motor	50	HP
	RPM	1760	RPM
	Tipo de Faja de Transmisión	B-270	---
	Diámetro de la Polea Mayor	163	mm
Chancadora Cónica Estándar	Marca Nordberg Symons	4 1/4	pie
	Tipo de Perfil	Fino	---
	Tamaño en la Descarga	1/2	pulg
	Potencia del Motor	150	HP
	RPM	1175	RPM
	Diámetro de la Polea Mayor	930	mm
	Diámetro de la Polea Menor	14	pulg
Tipo de Faja de Transmisión	D-208	---	
Zaranda Primaria	Marca Fima	4' x 8'	---
	Cantidad de Pisos (decks)	2	---
	Abertura de Malla Superior	2	pulg
	Abertura de Malla Inferior	3/4	pulg
	Potencia del Motor	12	HP
	RPM	1745	RPM
	Diámetro de la Polea de la Zaranda	11	pulg
	Diámetro de la Polea del Motor	5.5	pulg
Tipo de Faja de Transmisión	B-72	---	
Zaranda Secundaria	Marca Fima	6' x 12'	---
	Cantidad de Pisos (decks)	2	---
	Abertura de Malla Superior	1	pulg
	Abertura de Malla Inferior	3/4	pulg
	Potencia del Motor	20	HP
	RPM	1745	RPM
	Diámetro de la Polea de la Zaranda	320	mm
	Diámetro de la Polea del Motor	140	mm
Tipo de Faja de Transmisión	B-72	---	
Tolva de Almacenamiento de Finos	Capacidad	1050	TMD
	Ángulo de la Tolva en la Descarga	45	°

Fuente: Elaboración propia.

Año 2008:

TABLA N° 5. 10

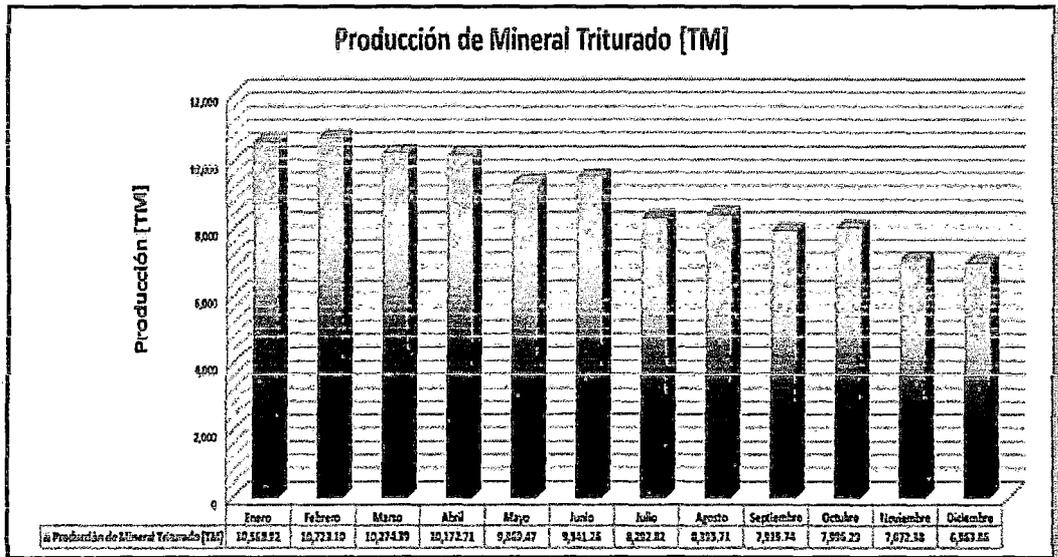
CUADRO ANUAL DE PRODUCCIÓN DE MINERAL TRITURADO (2008)

	PRODUCCIÓN ANUAL												TOTAL ANUAL
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Producción de Mineral Triturado [TM]	10,568.92	10,723.10	10,274.39	10,172.71	9,369.47	9,541.26	8,292.82	8,395.71	7,915.74	7,995.29	7,072.38	6,963.85	107,286.65
Tiempo Total de Operación (h)	325.83	323.37	310.69	312.22	286.83	293.63	290.16	257.93	244.36	244.68	218.64	212.69	3,256.40
Número de Equipos	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Número de Fallas	18.00	5.00	12.00	7.00	25.00	19.00	15.00	29.00	33.00	10.00	28.00	17.00	218.00
Tiempo de Fallas (h)	66.92	49.88	58.19	41.31	59.45	48.54	58.62	69.26	69.53	66.33	56.52	79.63	724.46
Tiempo Calendario (h)	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	4,872.00
Mineral Rechazado [TM]	12.23	7.25	14.25	8.75	3.00	2.75	6.80	3.25	4.00	4.59	6.60	4.26	77.79
MTBF	390.23	790.45	310.68	535.23	137.63	165.43	200.13	106.73	88.87	293.62	93.70	150.13	273.58
MTTR	6.69	9.93	4.83	5.90	2.39	2.59	3.91	2.39	2.11	6.63	2.02	4.78	4.51
Disponibilidad	79.4%	84.5%	81.3%	86.8%	79.3%	83.5%	76.6%	73.1%	71.5%	72.9%	74.1%	62.4%	77.1%
Eficiencia	81.0%	82.2%	78.7%	78.0%	71.6%	73.1%	63.5%	64.3%	60.7%	61.3%	54.2%	53.4%	68.5%
Tasa de Calidad	99.5%	99.5%	99.9%	99.9%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Tasa de Producción	25.0	26.4	25.3	25.1	23.1	23.5	20.4	20.7	19.5	19.7	17.4	17.2	22.0
Utilización	77.4%	78.4%	74.0%	74.3%	68.3%	69.9%	59.6%	61.4%	58.2%	58.3%	52.1%	50.6%	65.21%
OEE (Efectividad Global de Planta)	64.2%	69.7%	63.9%	67.6%	56.9%	60.6%	48.6%	47.8%	43.4%	44.6%	40.1%	33.8%	53.7%
Capacidad Productiva de la Planta	63.7%	64.6%	67.3%	66.2%	38.9%	42.7%	28.9%	28.5%	25.7%	26.0%	20.5%	18.8%	35.8%

Fuente: Elaboración propia.

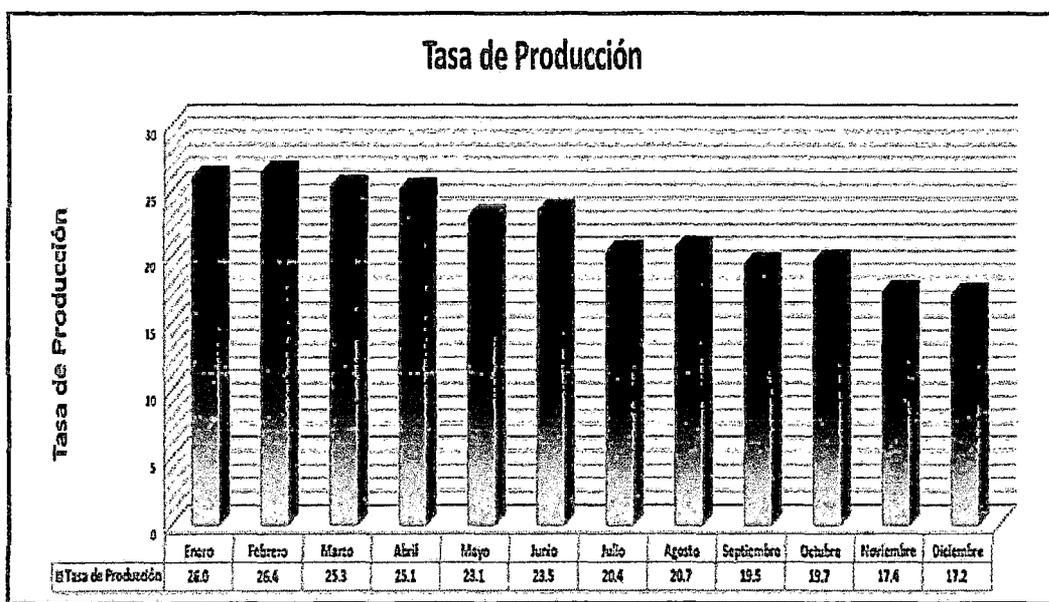
GRÁFICO N° 5. 1

PRODUCCIÓN ANUAL DE MINERAL TRITURADO (2008)



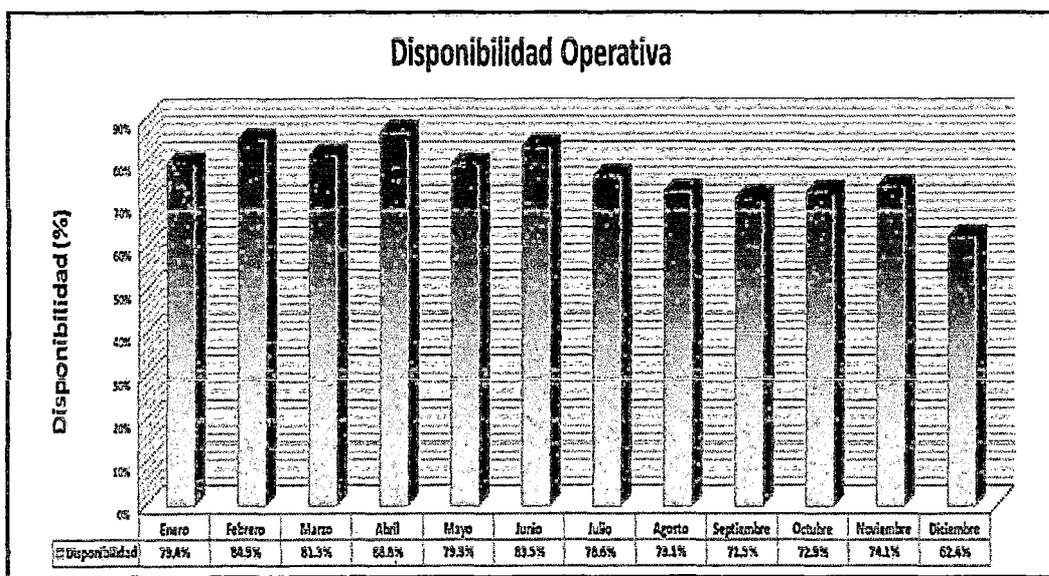
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 2**  
**TASA DE PRODUCCIÓN (2008)**



Fuente: Elaboración propia.

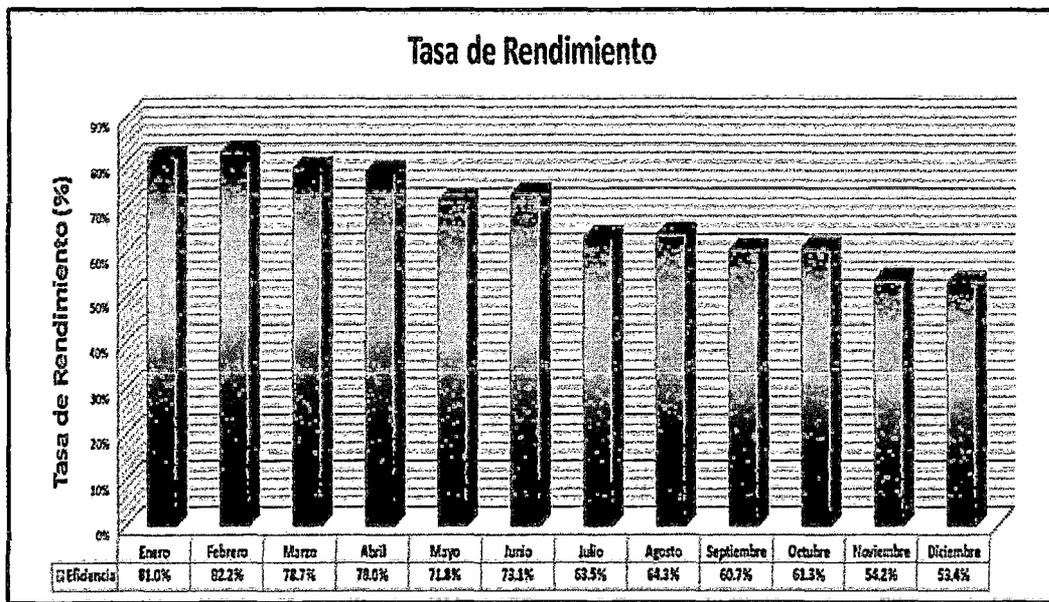
**GRÁFICO N° 5. 3**  
**DISPONIBILIDAD OPERATIVA ANUAL (2008)**



Fuente: Elaboración propia.

### GRÁFICO N° 5. 4

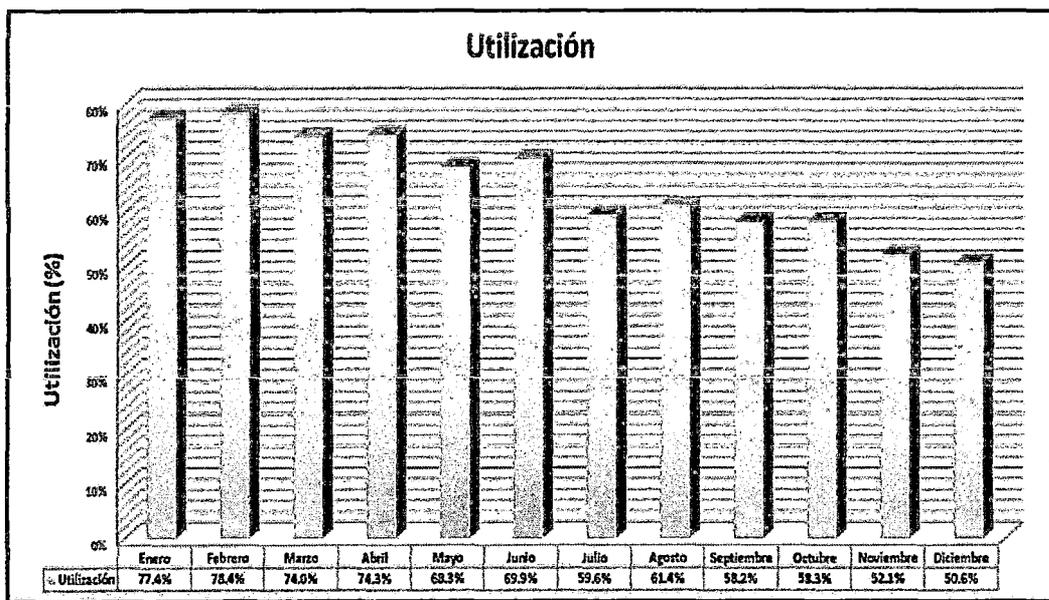
### TASA DE RENDIMIENTO ANUAL (2008)



Fuente: Elaboración propia.

### GRÁFICO N° 5. 5

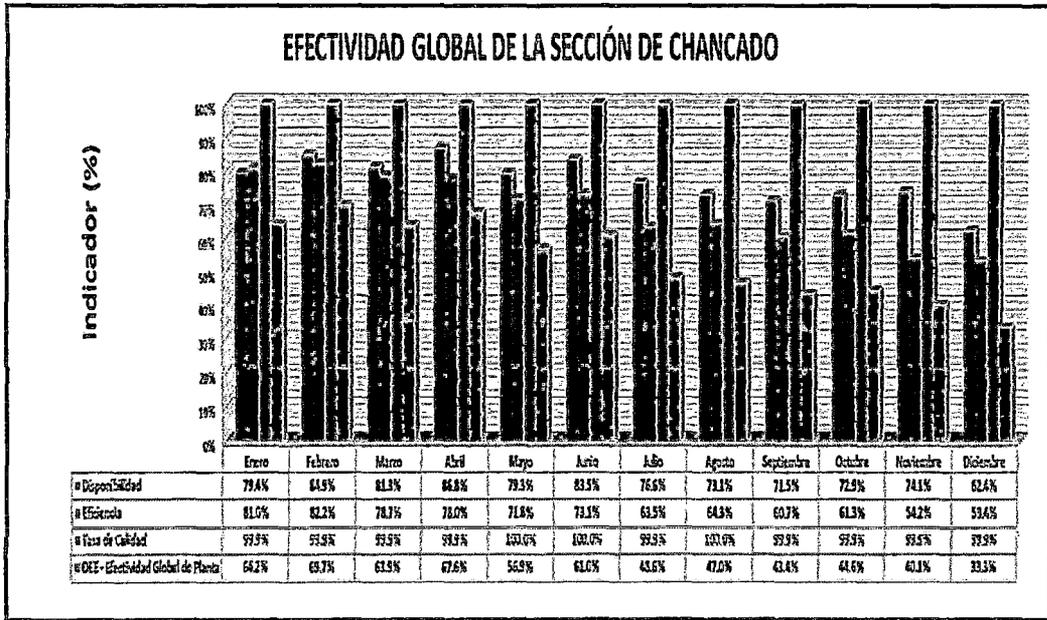
### UTILIZACIÓN (2008)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 6

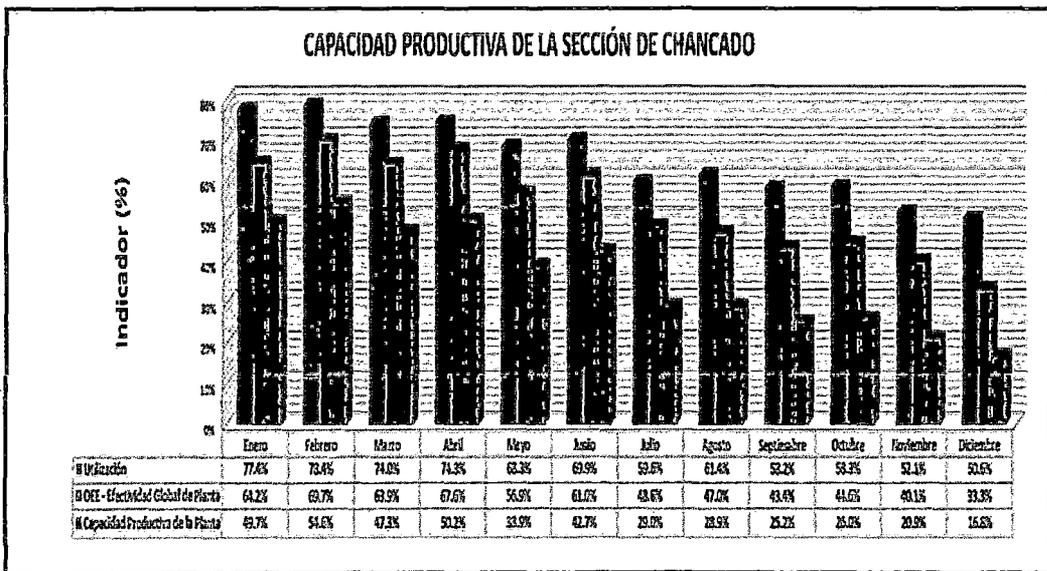
EFFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA (2008)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 7

CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA (2008)



Fuente: Elaboración propia.

Año 2009<sup>44</sup>:

TABLA N° 5. 11

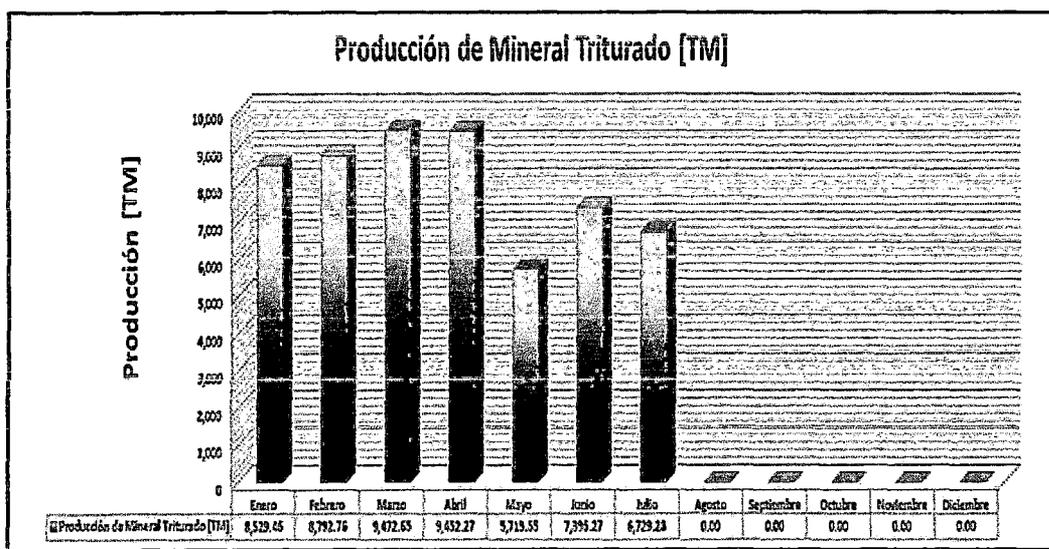
CUADRO ANUAL DE PRODUCCIÓN DE MINERAL TRITURADO (2009)

	PRODUCCIÓN ANUAL												TOTAL ANUAL
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Producción de Mineral Triturado [TM]	8,529.46	8,792.76	9,472.65	9,452.27	5,719.55	7,395.27	6,729.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56,091.24
Tiempo Total de Operación (h)	261.93	269.66	291.66	285.86	175.83	226.74	205.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,717.51
Número de Equipos	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
Número de Fallas	15.00	12.00	15.00	11.00	21.00	16.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.00
Tiempo de Fallas (h)	51.73	55.92	58.29	67.16	63.91	45.62	66.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	429.40
Tiempo Calendario (h)	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	406.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,642.00
Mineral Rechazado [TM]	14.03	15.45	21.43	22.33	31.25	15.30	14.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	134.15
MTBR	269.56	269.66	233.34	311.64	109.47	170.05	176.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	210.17
MTTR	3.43	4.66	3.63	6.11	3.04	2.66	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.11
Disponibilidad	80.3%	79.3%	80.0%	76.5%	61.7%	79.6%	67.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	75.3%
Eficiencia	65.4%	67.4%	72.6%	72.4%	43.8%	56.7%	51.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	61.4%
Tasa de Calidad	99.6%	99.5%	99.6%	99.8%	99.5%	99.6%	99.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	99.7%
Tasa de Producción	21.0	21.7	23.3	23.3	14.1	18.2	16.6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	19.7
Mantenimiento	62.4%	64.2%	69.4%	68.1%	41.9%	54.0%	49.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	59.4%
Ocupación Global de Planta	63.4%	61.6%	67.4%	65.6%	27.7%	49.1%	54.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	49.6%
Capacidad Productiva de la Planta	33.7%	32.0%	40.0%	37.6%	10.6%	24.5%	17.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	22.5%

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 8

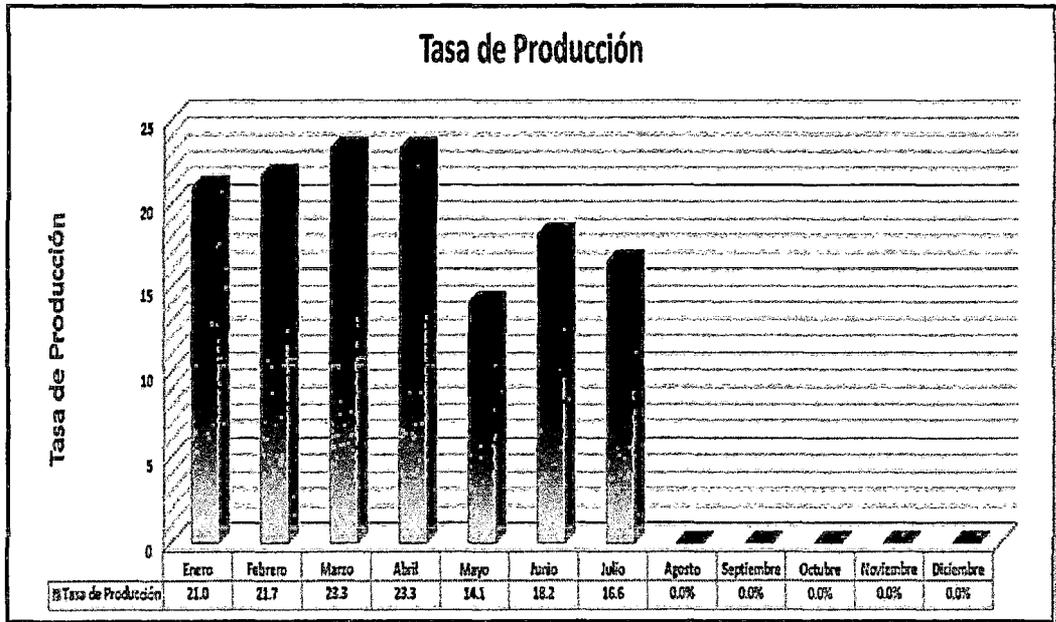
PRODUCCIÓN ANUAL DE MINERAL TRITURADO (2009)



Fuente: Elaboración propia.

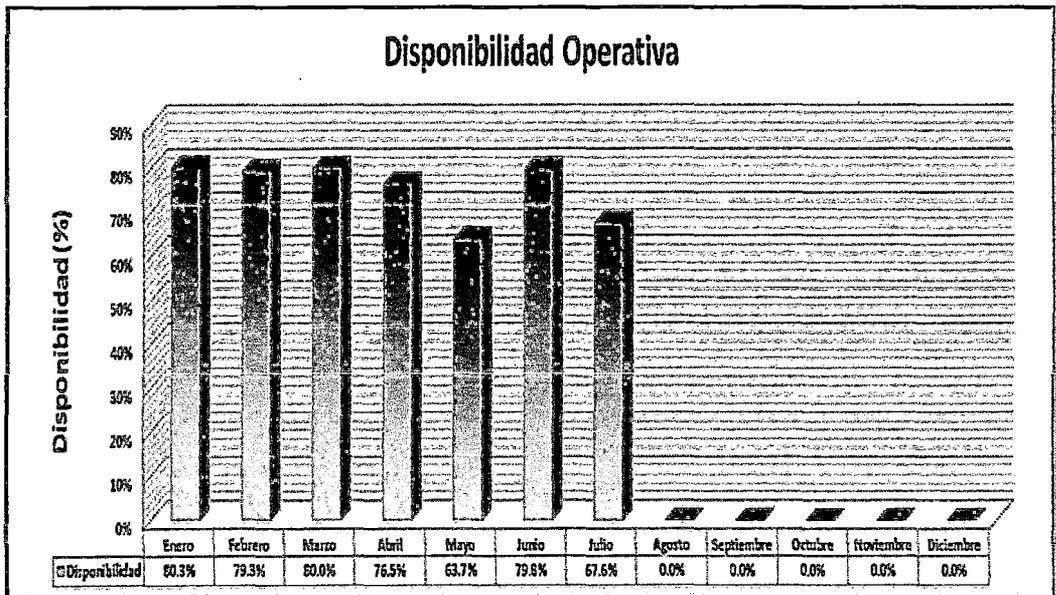
<sup>44</sup> De Agosto-Diciembre de 2009, se realizaron los trabajos de ampliación en toda la Planta Concentradora.

**GRÁFICO N° 5. 9**  
**TASA DE PRODUCCIÓN (2009)**



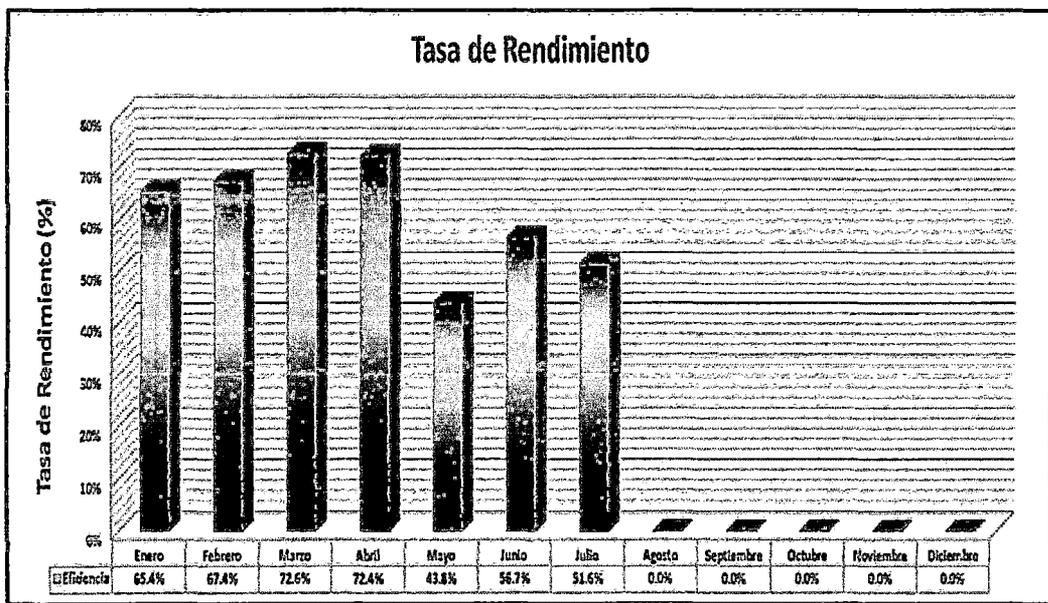
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 10**  
**DISPONIBILIDAD OPERATIVA ANUAL (2009)**



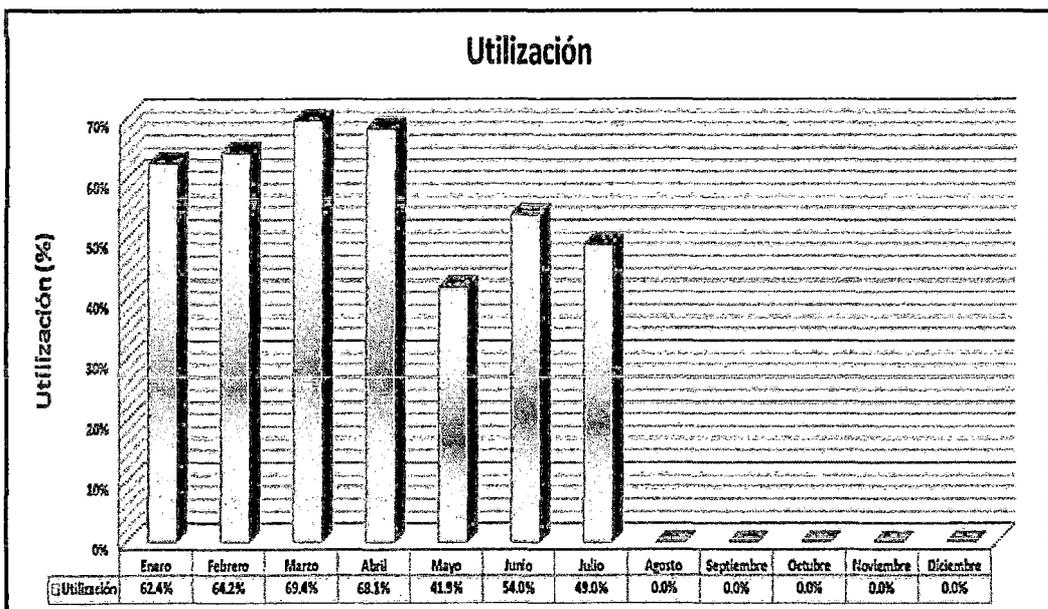
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 11**  
**TASA DE RENDIMIENTO ANUAL (2009)**



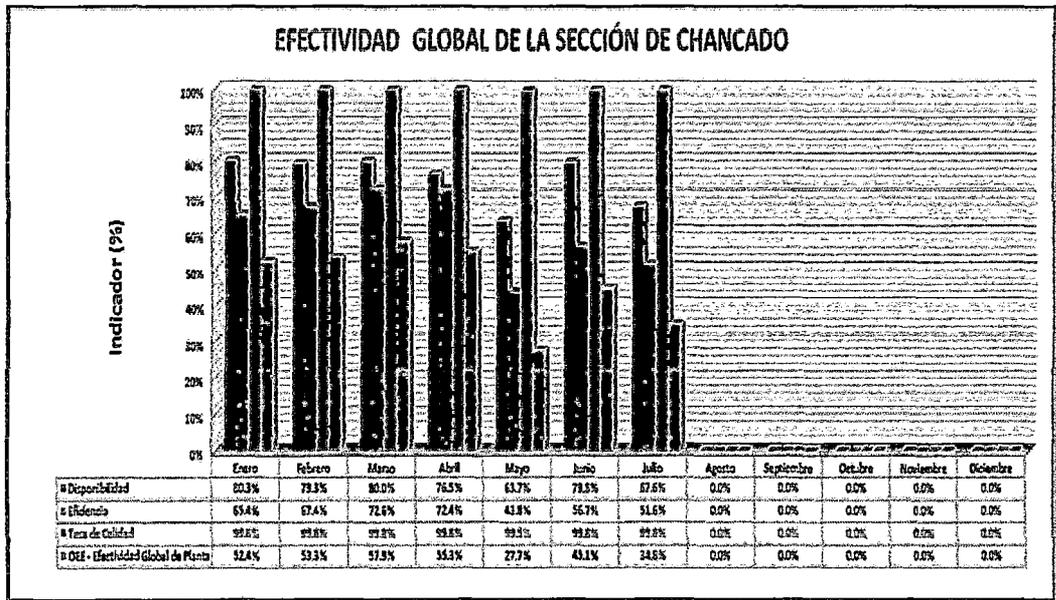
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 12**  
**UTILIZACIÓN (2009)**



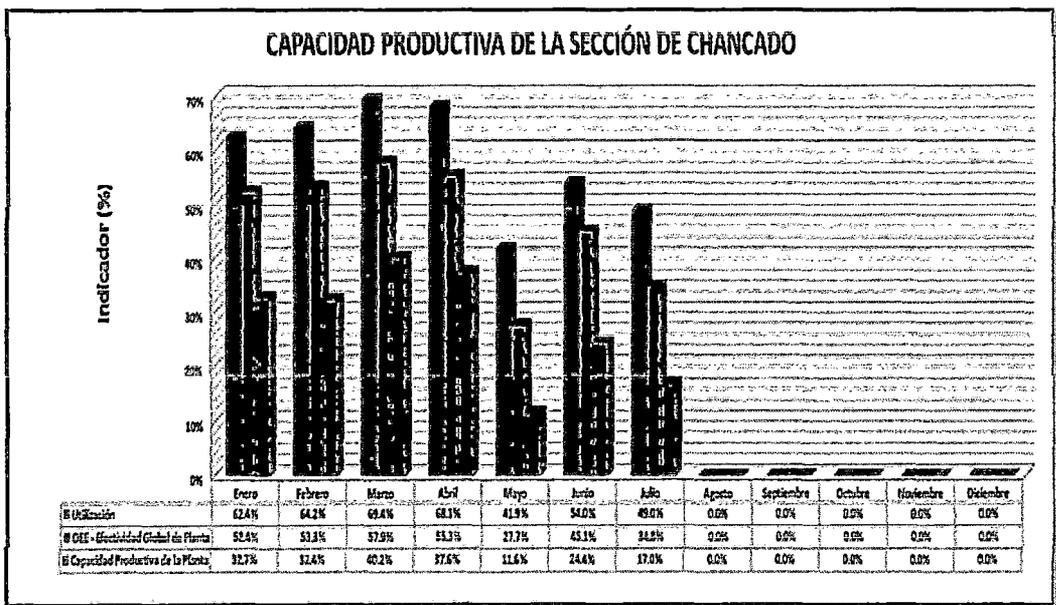
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 13**  
**EFFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA (2009)**



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 14**  
**CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA (2009)**



Fuente: Elaboración propia.

Año 2010<sup>45</sup>:

TABLA N° 5. 12

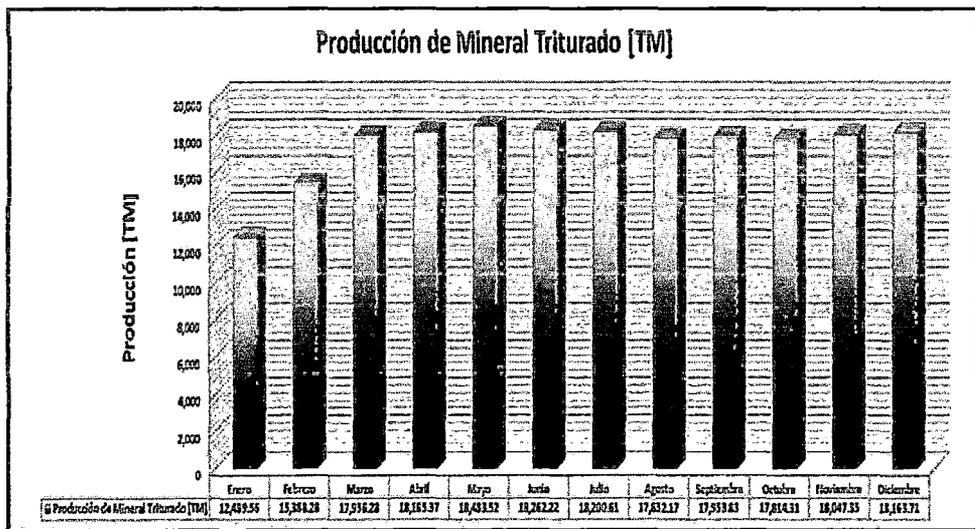
CUADRO ANUAL DE PRODUCCIÓN DE MINERAL TRITURADO (2010)

	PRODUCCIÓN ANUAL												TOTAL ANUAL
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Producción de Mineral Triturado [TM]	12,489.55	15,358.28	17,996.25	18,185.37	18,431.52	18,262.22	18,200.61	17,832.17	17,553.83	17,814.31	18,047.33	18,163.71	208,797.21
Tiempo Total de Operación (h)	210.73	258.92	302.87	311.55	314.63	310.41	308.65	301.84	302.96	301.65	304.56	305.81	3,535.04
Número de Equipos	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
Número de Fallas	28.00	19.00	18.00	16.00	14.00	15.00	17.00	18.00	16.00	16.00	14.00	12.00	203.00
Tiempo de Fallas (h)	85.28	56.19	39.37	38.71	33.73	30.93	29.82	27.45	34.25	36.43	32.46	25.25	469.90
Tiempo Calendario (h)	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	4,104.00
Mineral Rechazado [TM]	6.65	6.20	9.53	8.75	7.35	6.63	9.63	4.83	5.10	7.53	4.63	6.55	83.43
MTOP	97.87	177.16	218.70	251.14	292.18	269.02	236.06	218.00	246.16	244.60	232.61	332.35	239.00
MTTR	3.05	2.96	2.19	2.42	2.41	2.08	1.75	1.53	2.14	2.23	2.32	2.11	2.27
Disponibilidad	59.3%	78.3%	87.0%	87.6%	89.5%	98.8%	90.3%	90.9%	88.7%	87.9%	89.3%	91.8%	85.5%
Eficiencia	61.6%	77.1%	90.0%	91.2%	92.6%	91.5%	91.2%	89.5%	90.0%	89.3%	90.5%	91.0%	87.2%
Tasa de Calidad	99.9%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Tasa de Producción	36.5	45.0	52.5	53.2	54.6	53.4	53.2	52.2	52.5	52.1	52.8	53.1	59.8
Utilización	83.6%	71.9%	84.1%	86.5%	87.4%	86.2%	83.7%	83.8%	84.2%	83.6%	84.6%	85.2%	81.9%
DEE (Energía por Gravel de 1mm)	67.0%	61.5%	74.9%	79.4%	82.5%	82.9%	82.2%	81.6%	79.4%	78.5%	78.6%	79.5%	78.9%
Capacidad Producida de la Planta	22.4%	13.4%	68.4%	60.3%	72.3%	70.7%	70.6%	68.7%	67.4%	66.2%	67.4%	70.7%	63.9%

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 15

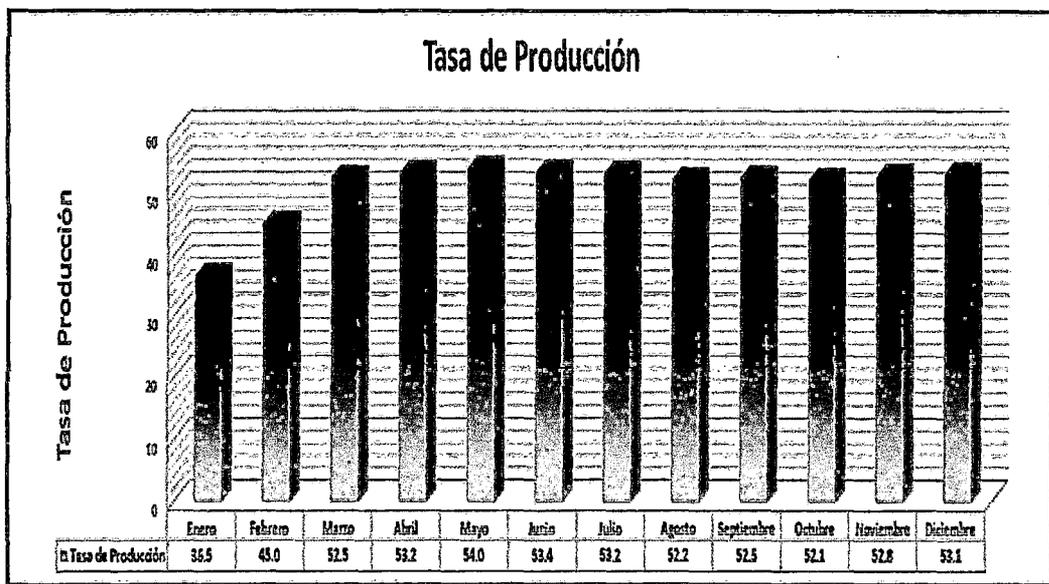
PRODUCCIÓN ANUAL DE MINERAL TRITURADO (2010)



Fuente: Elaboración propia.

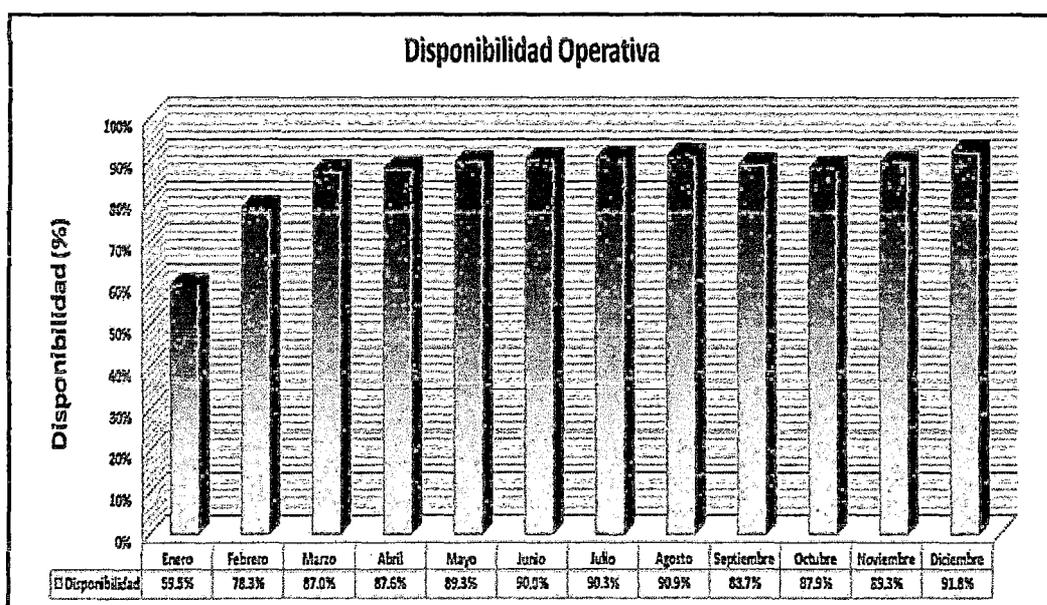
<sup>45</sup> De Enero-Marzo de 2010, se iniciaron las operaciones. Se realizaron ajustes en mecánicos, eléctricos propios del proceso hasta estabilizar y poner a punto todos los equipos de la planta.

**GRÁFICO N° 5. 16**  
**TASA DE PRODUCCIÓN (2010)**



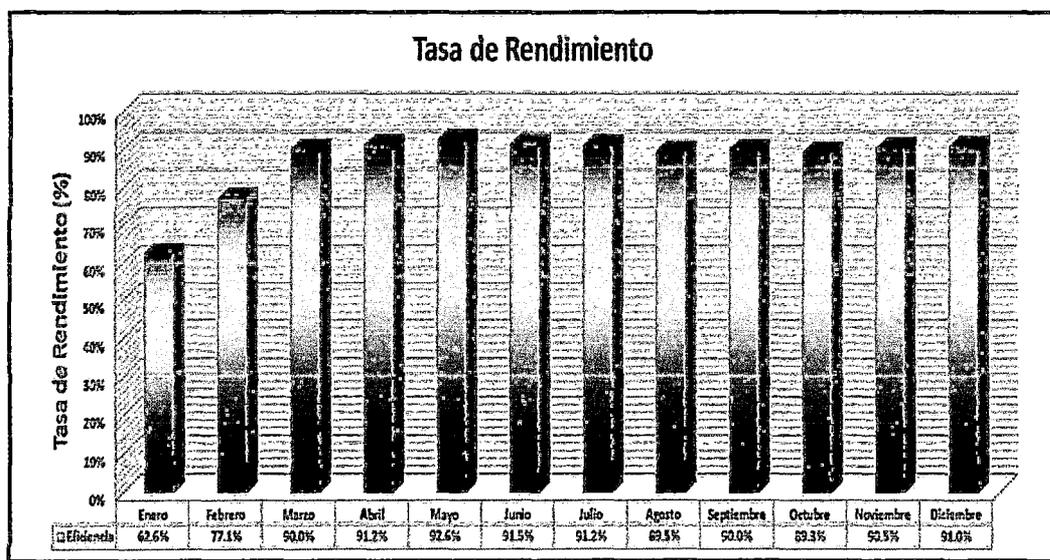
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 17**  
**DISPONIBILIDAD OPERATIVA ANUAL (2010)**



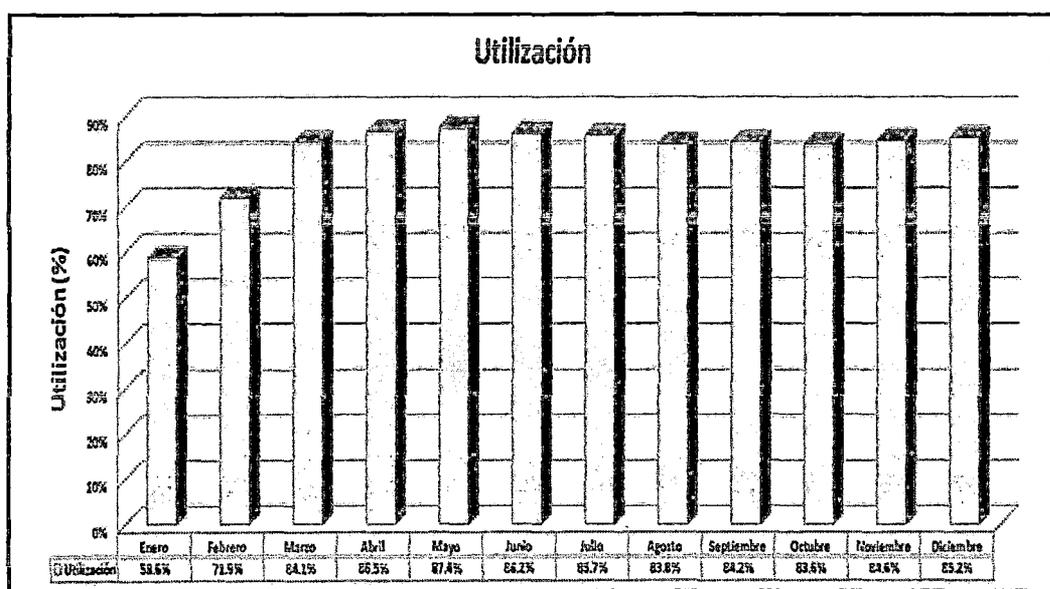
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 18**  
**TASA DE RENDIMIENTO ANUAL (2010)**



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 19**  
**UTILIZACIÓN (2010)**



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 20

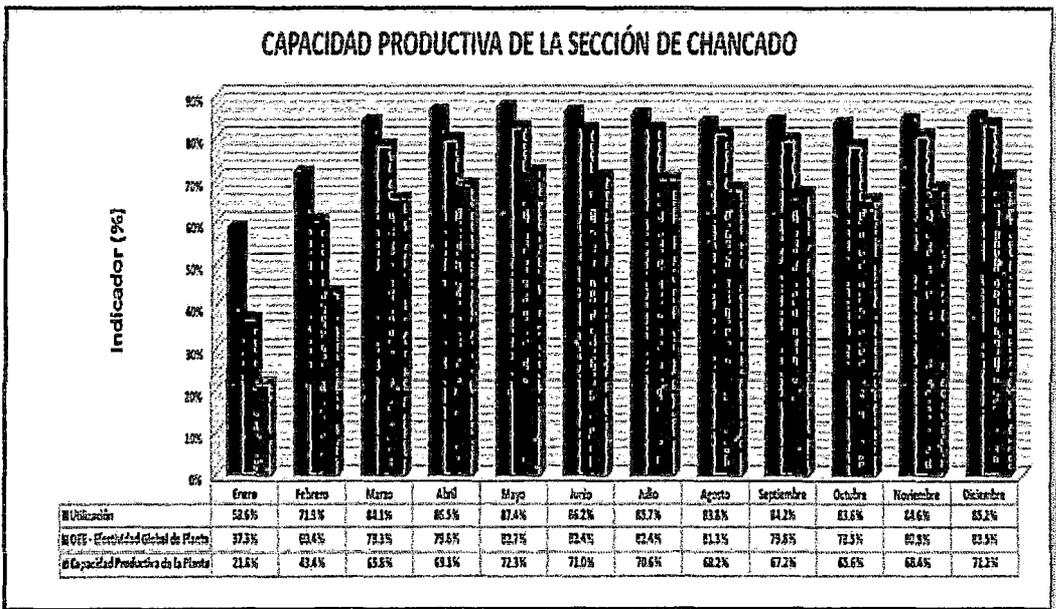
EFFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA (2010)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5. 21

CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA (2010)



Fuente: Elaboración propia.

Año 2011:

TABLA N° 5. 13

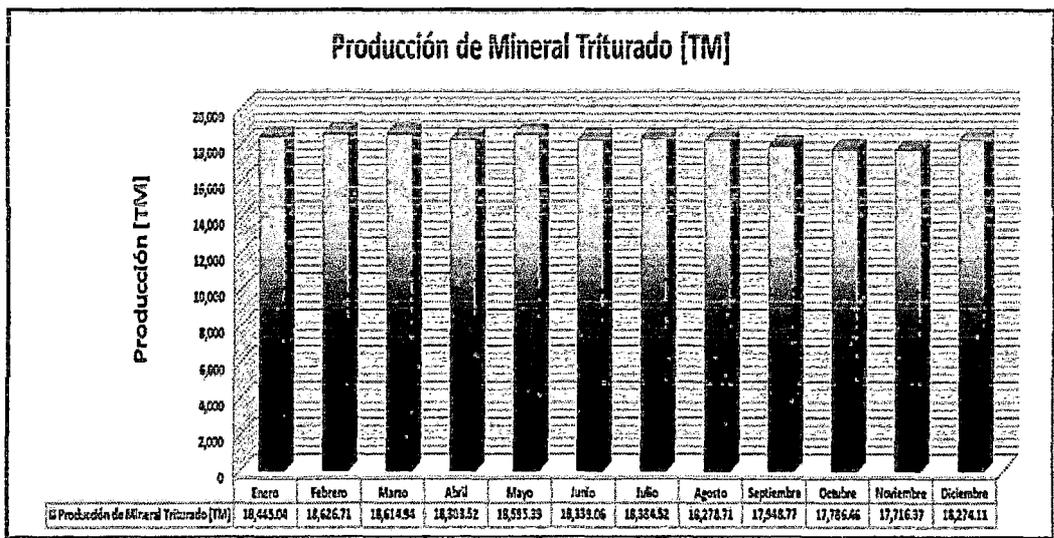
CUADRO ANUAL DE PRODUCCIÓN DE MINERAL TRITURADO (2011)

	PRODUCCIÓN ANUAL												TOTAL ANUAL
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Producción de Mineral Triturado [TM]	18,443.04	18,625.71	18,614.94	18,303.52	18,555.33	18,333.06	18,384.52	18,273.71	17,948.77	17,765.46	17,716.37	18,274.11	219,313.66
Tiempo Total de Operación (h)	311.63	312.76	311.06	310.81	313.39	303.65	307.12	306.39	300.19	298.67	297.62	307.46	3,694.34
Número de Egepos	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
Número de Fallos	15.00	11.00	9.00	12.00	10.00	14.00	13.00	13.00	11.00	16.00	16.00	12.00	152.00
Tiempo de Fallos (h)	23.94	26.81	23.29	29.62	27.33	36.39	32.63	37.39	35.16	29.79	34.95	35.33	355.57
Tiempo Calendario (h)	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	342.00	4,104.00
Mineral Rechazado [TM]	1.74	1.65	2.85	3.92	3.62	2.57	2.60	2.58	3.73	5.77	8.64	6.43	48.50
MTBF	270.25	370.61	443.31	336.71	403.41	284.00	307.12	306.39	354.77	242.67	281.61	333.06	325.36
MTTR	1.91	2.44	3.25	2.47	2.73	2.60	2.36	2.65	3.47	1.86	2.16	3.03	2.60
Disponibilidad	90.7%	91.5%	90.6%	90.5%	91.3%	89.1%	90.0%	87.8%	87.3%	90.0%	88.3%	88.2%	89.5%
Eficiencia	91.5%	93.4%	93.4%	91.7%	93.2%	91.5%	92.2%	91.6%	90.0%	88.2%	88.5%	91.6%	91.6%
Tasa de Calidad	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Tasa de Producción	53.9	54.5	54.4	53.5	54.5	53.6	53.8	53.4	52.5	52.0	51.8	53.4	53.4
Utilización	86.6%	87.2%	86.4%	86.2%	87.1%	85.6%	85.7%	85.1%	83.4%	83.6%	83.7%	83.4%	83.2%
Costo de Producción (COP/GW/h)	83.0%	83.0%	84.5%	83.0%	83.1%	81.0%	81.0%	80.4%	78.5%	80.3%	79.0%	80.0%	82.0%
Capacidad Productiva de la Planta	77.4%	77.4%	73.0%	71.6%	74.1%	68.0%	70.2%	68.4%	63.6%	66.1%	64.4%	65.0%	69.5%

Fuente: Elaboración propia.

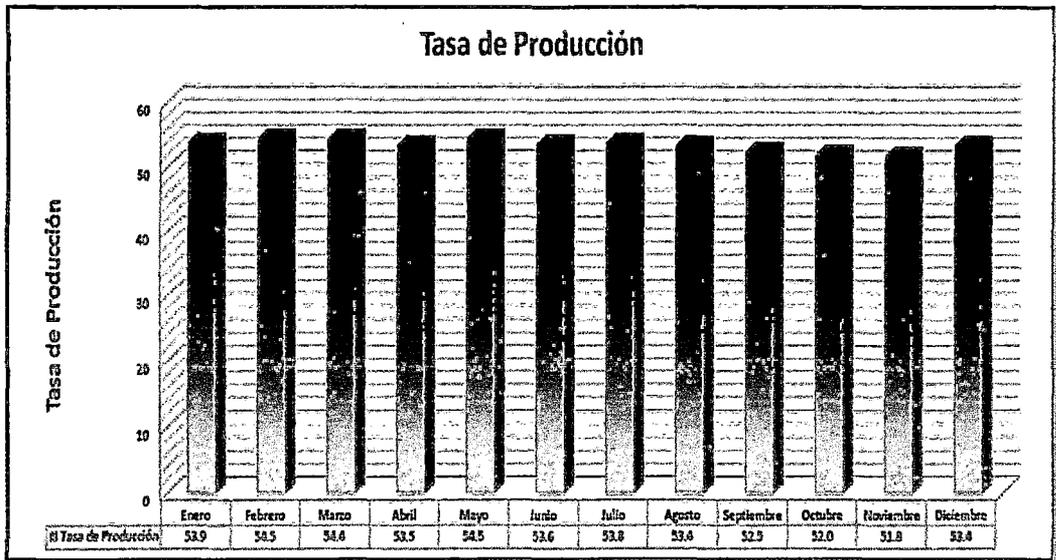
GRÁFICO N° 5. 22

PRODUCCIÓN ANUAL DE MINERAL TRITURADO (2011)



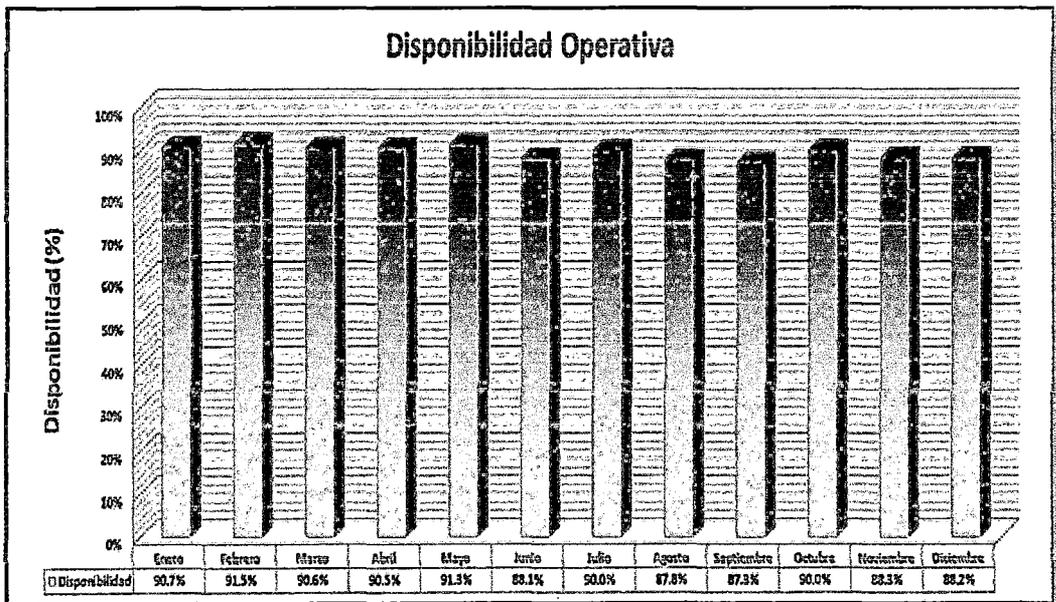
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 23**  
**TASA DE PRODUCCIÓN (2011)**



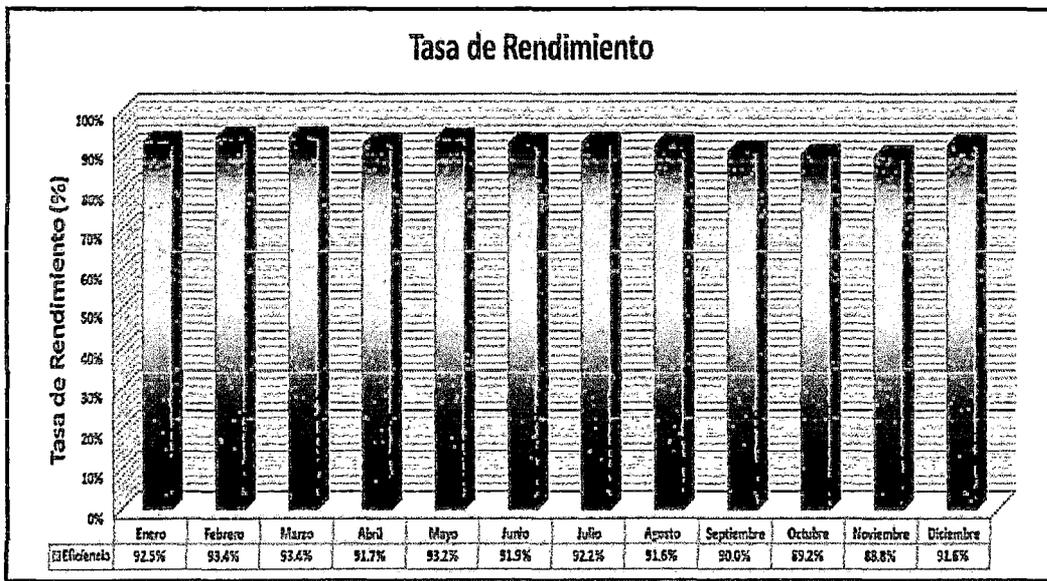
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 24**  
**DISPONIBILIDAD OPERATIVA ANUAL (2011)**



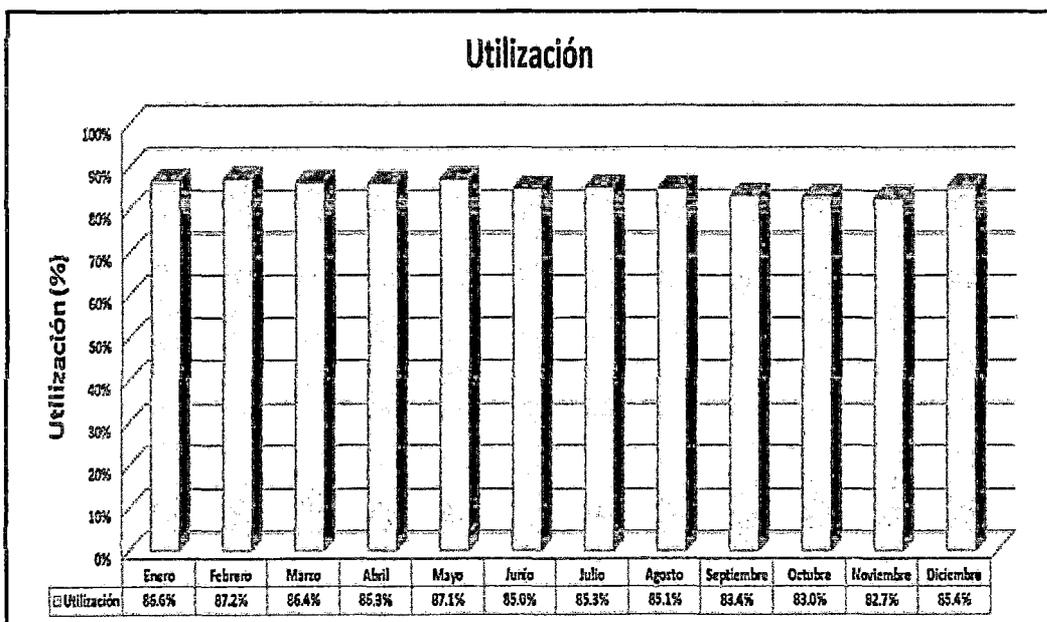
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 25**  
**TASA DE RENDIMIENTO ANUAL (2011)**



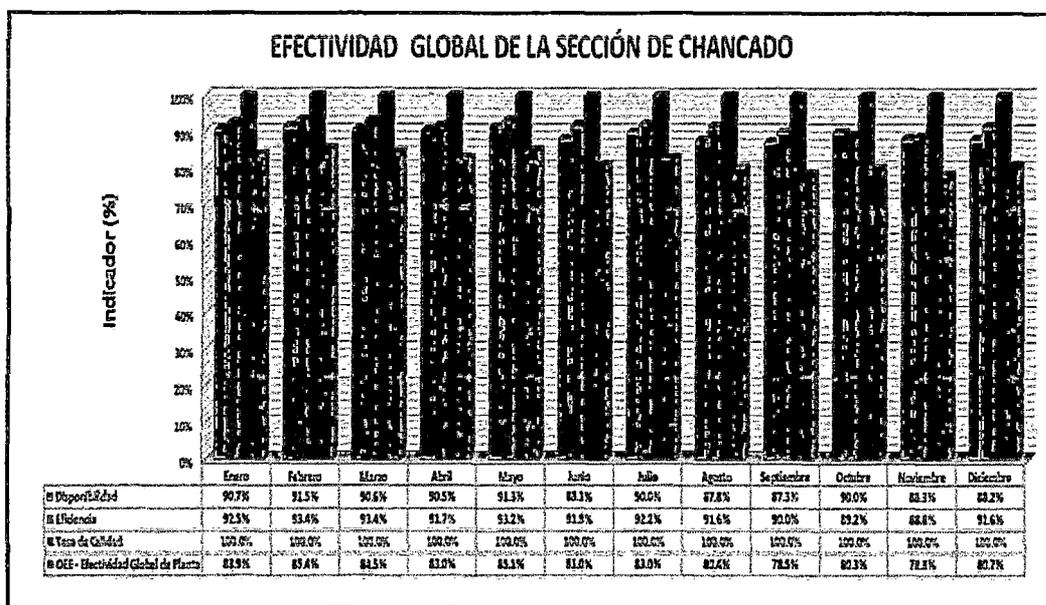
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 26**  
**UTILIZACIÓN (2011)**



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 27**  
**EFFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA (2011)**



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 5. 28**  
**CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LA PLANTA (2011)**



Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1: Contrastación de la Hipótesis con los Resultados

Al plantear las hipótesis específicas y con la obtención de resultados podemos afirmar que estos si coinciden y cumplen con lo planteado, no habiendo margen de error muy notorio y sobre todo que está contribuyendo a la optimización de la producción de la planta, que es el objetivo propuesto.

#### Hipótesis Específica 1

La redistribución de los equipos de la sección de chancado (véase la Figura N° 4.1, en la página 146) contribuyó al aprovechamiento del área para incrementar la producción diaria de mineral triturado, a la estandarización de las instalaciones según el DS 055 - MINEM contribuyendo al trabajo seguro reduciendo el nivel de incidentes/accidentes, etc.

TABLA N° 6. 1

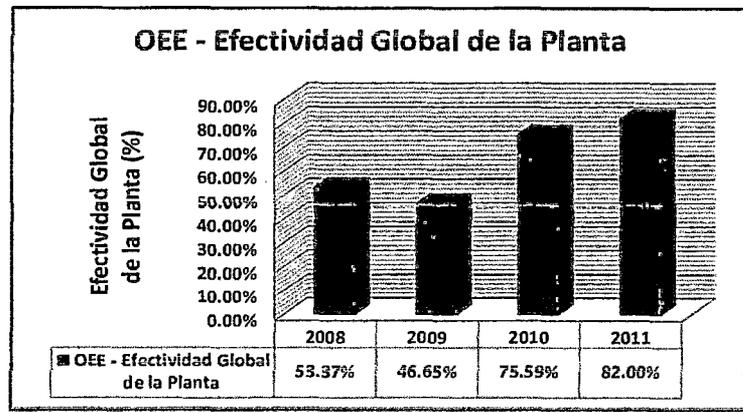
#### RESUMEN DEL OEE

INDICADOR	2008	2009	2010	2011
OEE - Efectividad Global de la Planta	53.97%	46.65%	75.59%	82.00%

Fuente: Elaboración propia.

## GRÁFICO N° 6. 1

### EFFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, en la Tabla N° 6.1 y en la Figura N° 6.1, con respecto a la Efectividad Global de la Planta (Sección de Chancado), se obtuvieron mejores resultados en los periodos 2010-2011 en comparación a los periodos anteriores 2008-2009.

### Hipótesis Específica 2

El cálculo y la selección de los equipos mecánicos según lo requerido para el incremento de la producción, mejoró la disponibilidad operativa de la sección de chancado.

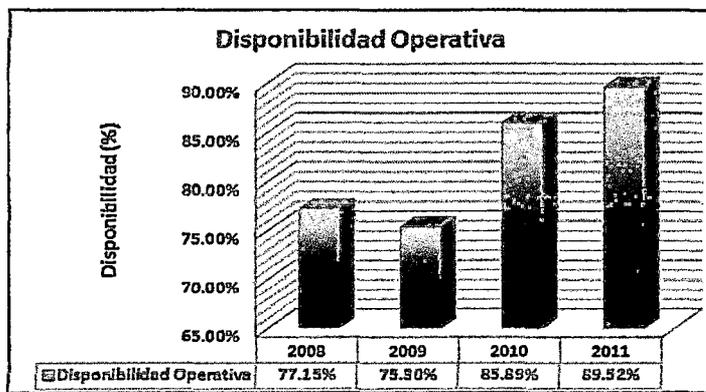
## TABLA N° 6. 2

### RESUMEN DE LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA

INDICADOR	2008	2009	2010	2011
Disponibilidad Operativa	77.55%	75.36%	85.89%	89.52%

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 6. 2**  
**DISPONIBILIDAD OPERATIVA**



Fuente: Elaboración propia.

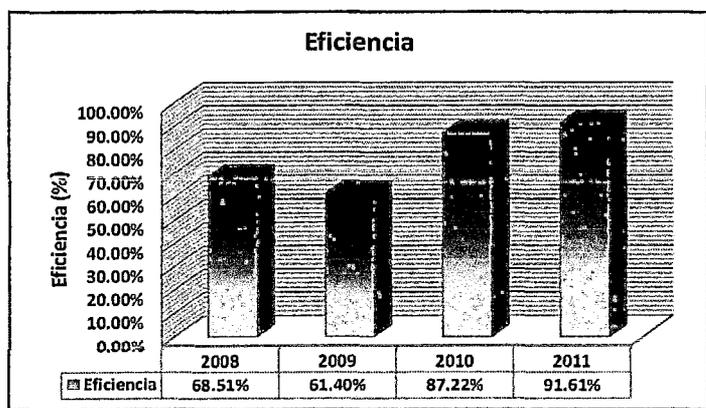
De acuerdo los resultados obtenidos, la disponibilidad operativa fue aumentando después de la ejecución del proyecto.

**TABLA N° 6. 3**  
**RESUMEN DE LA EFICIENCIA**

INDICADOR	2008	2009	2010	2011
Eficiencia	68.51%	61.40%	87.22%	91.61%

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 6. 3**  
**EFICIENCIA**



Fuente: Elaboración propia.

También se nota el incremento en la Tasa de Rendimiento (Eficiencia) de los equipos de la sección de chancado, logrando así el aumento en la producción diaria.

### Hipótesis Específica 3

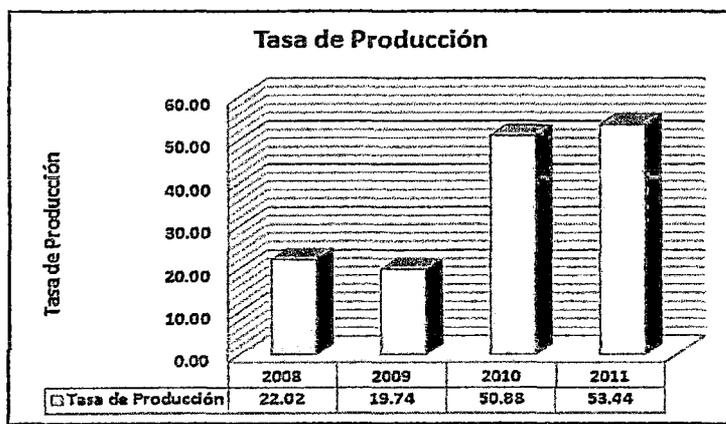
El dimensionamiento de la tolva de finos incrementó la tasa de producción de la planta ya que se diseñó de acuerdo a los requerimientos de producción establecidos, también se consideró un factor de almacenamiento de 1.5 veces la capacidad solicitada en caso ocurriese alguna eventualidad, según muestran la Tabla N° 6.4 y Figura N° 6.4 siguientes:

**TABLA N° 6. 4**  
**RESUMEN DE LA TASA DE PRODUCCIÓN**

INDICADOR	2008	2009	2010	2011
Tasa de Producción	22.02	19.74	50.88	53.44

Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 6. 4**  
**TASA DE PRODUCCIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

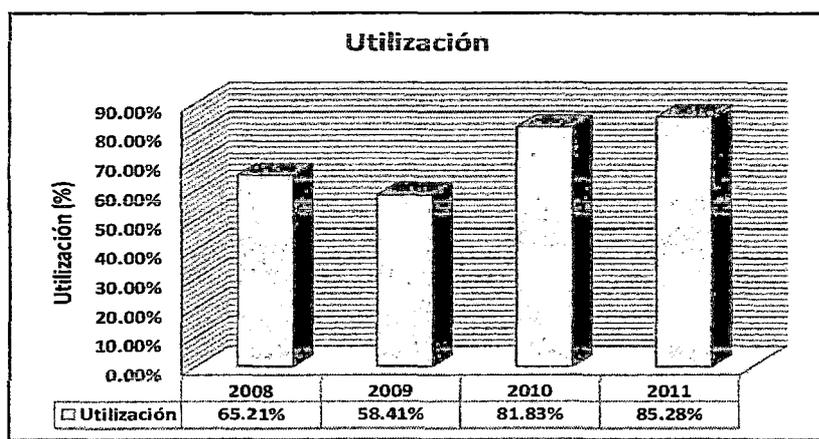
Se nota un incremento en la tasa de producción con referencia a los años anteriores. Al tener una tolva de mayor capacidad, las demás etapas de producción pueden seguir operando por un periodo de tiempo determinado, así ocurra una parada parcial o total de la sección de chancado. Al aumentar la tasa de producción, también aumenta la utilización de la planta, y por consiguiente, capacidad productiva de la planta (ver Tabla N° 6.5, Figura N° 6.5 y Figura N° 6.6 adjuntas).

**TABLA N° 6.5**  
**RESUMEN DE LA UTILIZACIÓN Y CAPACIDAD PRODUCTIVA**

INDICADOR	2008	2009	2010	2011
Utilización	65.21%	58.41%	81.83%	85.28%

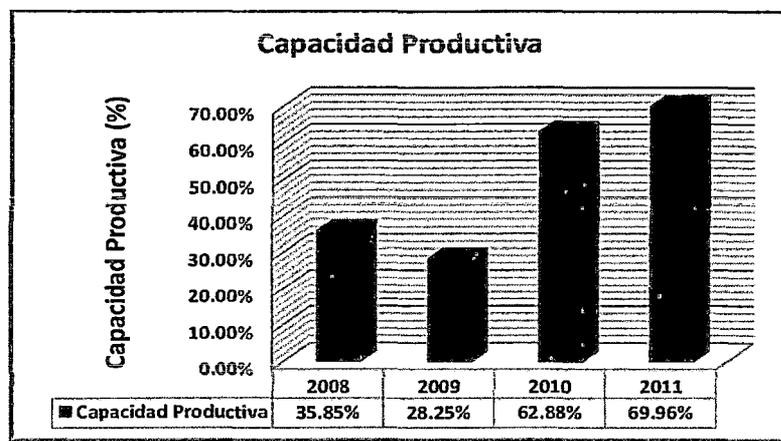
Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 6.5**  
**UTILIZACIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

**GRÁFICO N° 6. 6**  
**CAPACIDAD PRODUCTIVA**



Fuente: Elaboración propia.

El incremento de la tasa de producción, utilización y capacidad productiva de la planta, asegura el cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados por el área de planta.

**Hipótesis Específica 4**

La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, asegura el incremento de la efectividad global de la sección de chancado. El plan propuesto busca reducir los tiempos de paradas imprevistas en la sección de chancado. Esto aumenta el tiempo medio entre fallas (MTBF) y reduce el tiempo medio para reparación de fallas (MTTR). Por lo tanto, hace que la planta sea más eficiente, que aumente tanto la disponibilidad como la tasa de calidad, mejorando así el producto final, según lo muestra la siguiente Tabla N° 6.1 y Figura N° 6.1.

Como el estado de la sección de chancado al inicio de la investigación se encontraba en una etapa “incipiente” de mejoras, notamos que el valor del OEE estaba entre 45% - 55% en promedio (según clasificación: OEE < 65% es INACEPTABLE), siendo estos valores comunes en este tipo de casos ya que no se cuenta con un adecuado plan de mantenimiento preventivo. Notamos que después del plan propuesto, estos valores se incrementaron hasta más del 80%.

Las empresas TOP (empresas de manufactura de clase mundial) que utilizan el TPM como herramienta de gestión, están alcanzando valores de OEE superiores al 85%. Tener un OEE bajo, demuestra que no es aconsejable invertir en una nueva línea de producción en esas instancias. Por lo tanto, con los resultados obtenidos, podremos concluir que la implementación de un plan de mantenimiento incrementa el valor del OEE.

## **6.2: Contratación de los Resultados con Otros Estudios Similares**

En los antecedentes de la investigación se menciona que existen equipos similares en el Perú, al igual que en el extranjero, sin embargo no se encontraron resultados técnicos.

Los estudios mencionados en los antecedentes se basaron en resultados Económicos – Financieros para su ejecución.

A pesar de la importancia que tiene el optimizar el proceso, no ha sido de especial atención el documentar la información.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES**

1. Se comprueba con los resultados obtenidos que al optimizar la sección de chancado, se incrementa la producción de mineral triturado.
2. La redistribución de los equipos que conforman la sección de chancado (véase la Figura N° 4.1, en la página 146), contribuye con el aumento de la efectividad global de la planta a 82%.
3. El cálculo y selección de los equipos mecánicos de la sección de chancado incrementa la producción diaria, alcanzando valores de disponibilidad operativa de 89.52% y de eficiencia de 91.61%.
4. El dimensionamiento de la tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD contribuye al cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados, obteniendo una tasa de producción de 53.44 ton/h y capacidad productiva de 69.96%.
5. Con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo (véase Anexos – Plan Anual de Mantenimiento Preventivo), se incrementa de la efectividad global de la sección de chancado a 82%.

## **CAPÍTULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

De acuerdo a las conclusiones enunciadas y en búsqueda de lograr cambios beneficiosos para la sección de chancado y por consiguiente para la empresa que le permitan alcanzar un excelente desempeño de sus actividades, se recomienda:

1. Llevar un mejor control de los tiempos de mantenimiento (MTBF, MTTR), de las órdenes de trabajo, de los volúmenes de producción, etc.
2. Para mejorar el rendimiento de los equipos de la sección de chancado, se recomienda instalar de cubiertas o tapas (parcial o completa) para fajas transportadoras y el techar por completo de toda la sección de chancado.
3. Para disminuir la tensión en las fajas transportadoras, se deben instalar elementos deflectores, poleas tensoras, elementos de limpieza, entre otros.
4. Para la segunda fase de ampliación, se recomienda la instalación de una etapa más de chancado (véase Maquinaria para la Trituración Terciaria, en la página 51), la ampliación la tolva de almacenamiento de finos, el recálculo los componentes de las fajas transportadoras para incrementar la capacidad de transporte, el incremento de las horas de operación de la planta (trabajar las 24 horas), entre otros.

5. Implementar un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (Computerized Maintenance Management Software - CMMS) preventivo para la administración del mantenimiento preventivo y llevar un buen control de los materiales, repuestos y/o equipos.
  
6. A corto plazo, la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance - RCM) que traerán mejoras en la producción; el mantenimiento, los equipos, la calidad, la satisfacción del cliente, los empleados, la seguridad, el medio ambiente, etc., visualizando el mantenimiento como una gran inversión más no como un gasto.

## CAPÍTULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTAMIRANO OPORTO, Juan Carlos (2011). *Estudio Técnico Económico para la Ampliación de la Planta Concentradora de Minerales BERTHA*. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico. Lima. Universidad Nacional del Callao.
2. ASTROMIA – TIERRA Y LUNA. *Los Minerales y las Rocas*. Disponible en: <http://www.astromia.com/tierraluna/minerales.htm>. Artículo web. Consultada el 15 de mayo de 2014.
3. BLOGSPOT. *Procesamiento de Minerales*. Disponible en: <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/08/chancadora-de-cono.html>. Artículo web. Consultada el 12 de junio de 2014.
4. BOLSA DE VALORES DE LIMA. *Memoria Anual Minera El Brocal 2009*. Disponible en: <http://www.bvl.com.pe/>. Artículo web. Consultada el 28 de mayo de 2014.
5. BOLSA DE VALORES DE LIMA. *Memoria Anual Minera Santa Luisa 2009*. Disponible en: <http://www.bvl.com.pe/>. Artículo web. Consultada el 28 de mayo de 2014.
6. CATÁLOGO GOODYEAR - BANDAS FLEXSTEEL (s.f). *Tipos de Bandas Transportadoras*. 11.

7. CLUB DE MANTENIMIENTO. *Gestión de Mantenimiento*. Disponible en: <http://www.clubdemantenimiento.com/indicadores-de-mantenimiento-1a-parte/>. Artículo web. Consultada el 03 de julio de 2014.
8. CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURES ASSOCIATION - CEMA (2007). *Belt Conveyors for Bulk Materials*. Florida. The Wamgroup.
9. DELCROSA (s.f.). *Selección de Motoreducers*.
10. DUFFUAA, RAOUF, DIXON (2008). *Sistemas de Mantenimiento: Planeación y Control*. México. Editorial Limusa SA.
11. FUNDEU BBVA. *Consultas*. Disponible en: [http://www.fundeu.es/consultas/?frmOpcion=LISTA\\_CONSULTAS&frmFontSize=2](http://www.fundeu.es/consultas/?frmOpcion=LISTA_CONSULTAS&frmFontSize=2). Artículo web. Consultada el 05 de mayo de 2014.
12. GOODYEAR (s.f.). *Bandas Transportadoras*. 11.
13. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto (2014). *Metodología de la Investigación*. México. Mc Graw Hill.
14. INSUTEC MENDOZA. *Trituración Primaria y Secundaria de Minerales*. Disponible en: <http://insutecmza.blogspot.com/2011/04/objetivo-reducir-el-tamano-de-los.html>. Artículo web. Consultada el 02 de julio de 2014.
15. KAUMAN RUBBER TECHNOLOGIES (s.f.). *Manual para Cintas Transportadoras*.
16. LÓPEZ ROA, Agustín (2002). *Cintas Transportadoras*. Madrid. Editorial Dossat 2000.
17. MATHER, Daryl (2005). *The Maintenance Scorecard: Creating Strategic Advantage*. New York. Editorial Industrial Press Inc.

18. MONOGRAFÍAS. *Manual de Chancado (Procesamiento de minerales)*. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-chancado-procesamiento-minerales/manual-chancado-procesamiento-minerales.shtml>. Artículo web. Consultada el 11 de junio de 2014.
19. MUNOZ BERNARDO, Manuel Marcial (2006). *Ampliación de Producción de la Unidad Minera Chungar de 2000 TMD a 3000 TMD*. Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería.
20. PIRELLI, William (1992). *Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores*. Editorial Mcac Graw Hill. Impreso en Madrid (España).
21. QUIROZ NUÑEZ, Iván (1990). *Ingeniería Metalúrgica – Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
22. RENOLD (s.f.). *Renold Chain Designer Guide*. 103-105.
23. RIVERA ZEBALLOS, Juan (2003). *Compendio de Conminución*. Lima. Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 90.
24. RODIBELT (2009). *Manual para la Selección de Rodillos: Transportadores de Faja*. Tercera edición. 9-19
25. SIEGLING BELTING (s.f.). *Selección de Cintas Transportadoras*.
26. SIKO ENGINEERING (s.f.). *Apron Feeder*. 2-3.

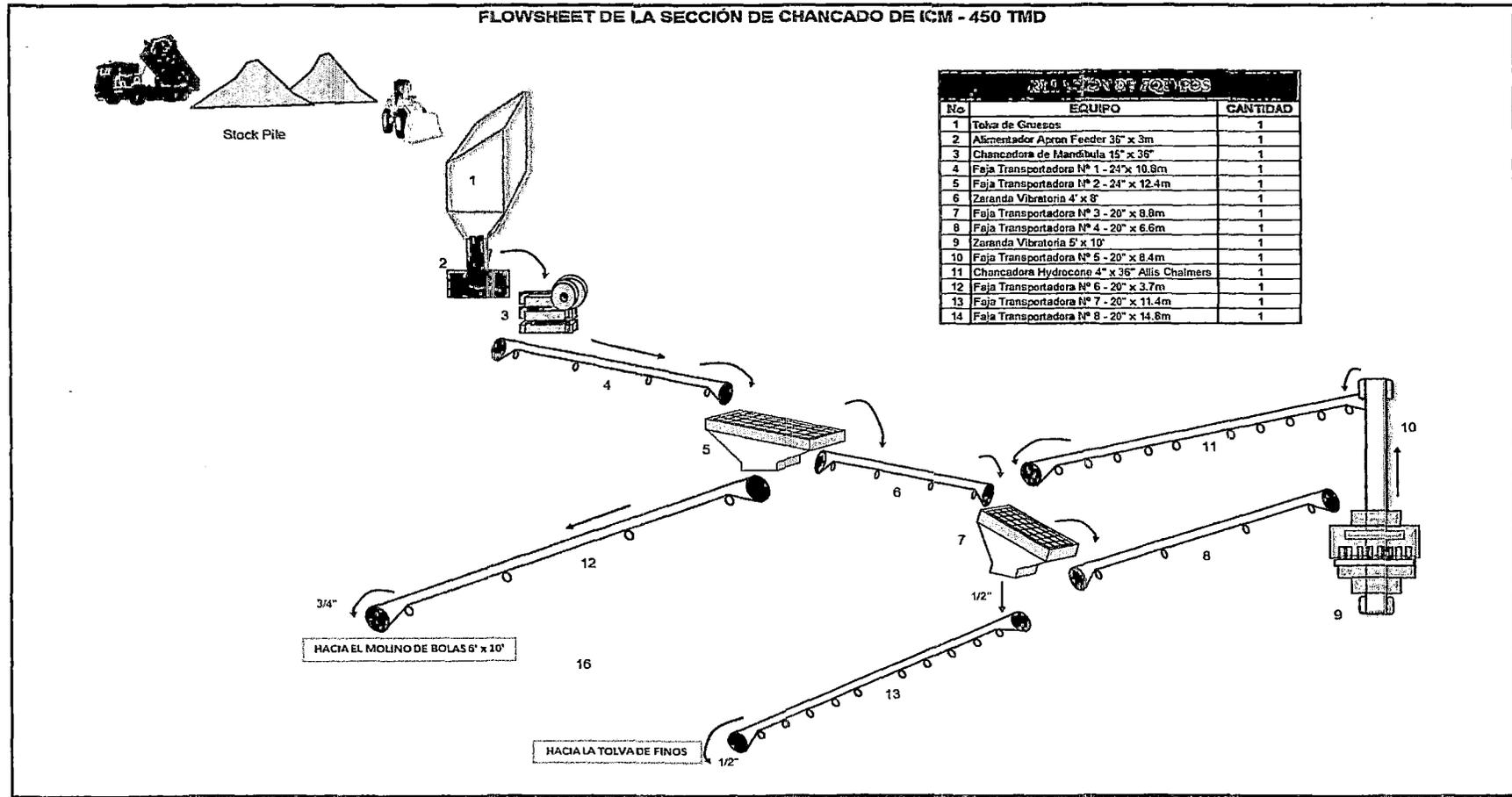
## ANEXOS

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Tipo de Investigación:</b> De acuerdo al tipo de investigación, naturaleza del problema y objetivos formulados en este trabajo, el presente estudio de investigación reúne las condiciones suficientes para ser calificado como una Investigación Tecnológica del tipo Aplicada en razón que para su desarrollo en la parte teórica conceptual se apoyará en conocimientos de ingeniería a fin de ser aplicados en el área de operación correspondiente  <b>Metodología de la Investigación:</b> En la presente investigación se empleará el método Transversal Descriptivo  <b>Diseño de la Investigación:</b> La investigación corresponde a un diseño No Experimental (Observacional)
¿De que manera la optimización de la sección de chancado de minerales incrementaría la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado?	Optimizar la sección de chancado de minerales para incrementar la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado	Si se optimiza la sección de chancado de minerales, entonces se logra el incremento de la producción diaria de 450 a 700 toneladas de mineral triturado	
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	
¿De que manera el desarrollo de la redistribución de los equipos aumentaría la producción diaria de mineral triturado de la sección de chancado?	Desarrollar la redistribución de los equipos para aumentar la producción diaria de mineral triturado de la sección de chancado	Si se desarrolla la nueva redistribución de los equipos, entonces aumentará la producción diaria de mineral triturado de la sección de chancado	
¿De que manera el cálculo y selección de los equipos mecánicos lograría que aumente la producción diaria?	Calcular y seleccionar los equipos mecánicos para aumentar la producción diaria	Si el cálculo y selección de los equipos mecánicos son correctos, influye en el aumento de la producción diaria	
¿De que forma el dimensionamiento de la tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD garantiza el cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados?	Dimensionar la tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD para cumplir con los requerimientos de producción solicitados	El dimensionamiento de una tolva de almacenamiento de finos de 700 TMD influye en el cumplimiento de los requerimientos de producción solicitados	
¿De que manera la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo incrementaría la efectividad global de la sección de chancado?	Proponer un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la efectividad global de la sección de chancado	Si se propone un plan de mantenimiento preventivo, entonces se incrementará la efectividad global de la sección de chancado	

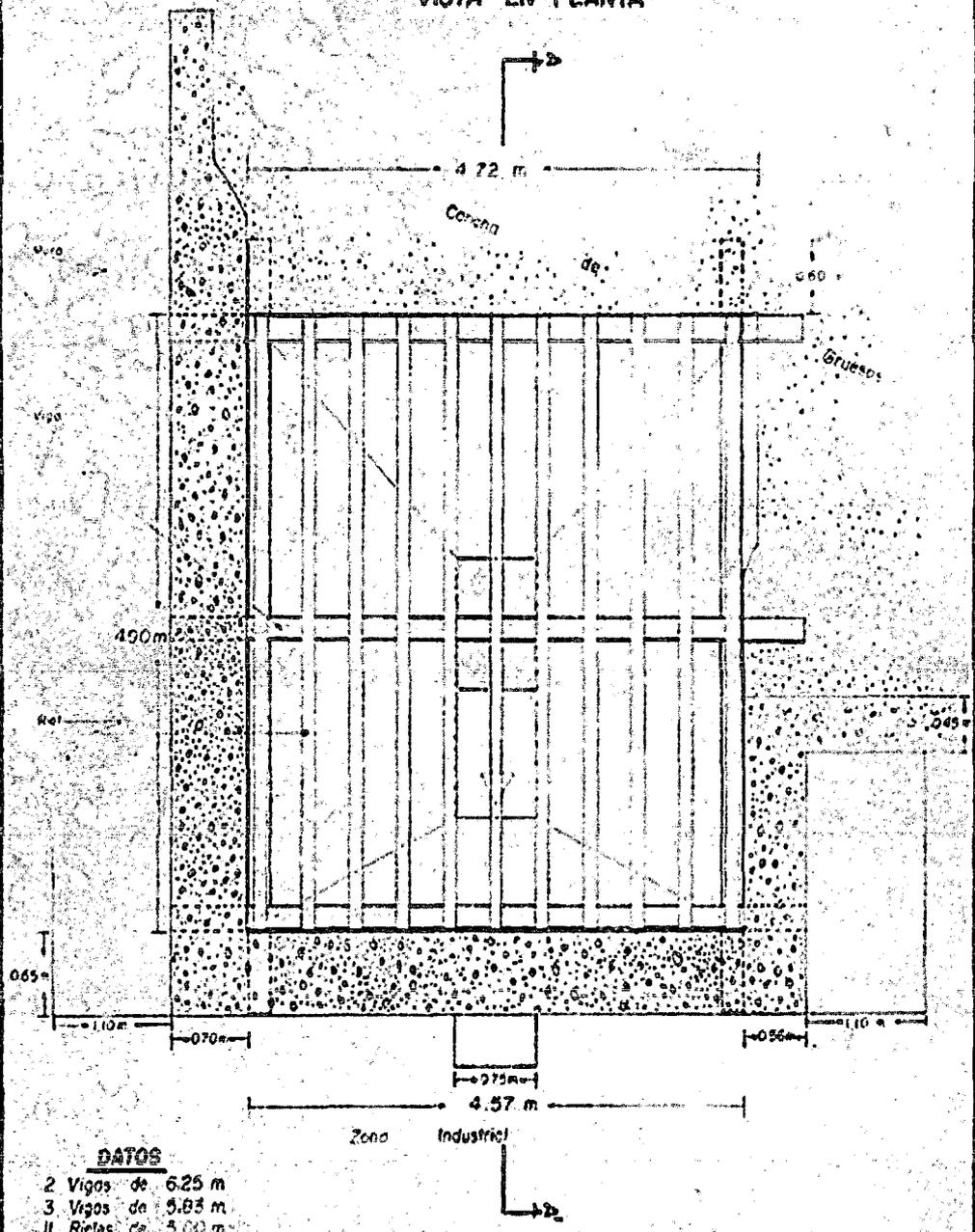
# PLANOS

## FLWSHEET DE LA SECCIÓN DE CHANCADO - 450 TMD



PLANO DE LA TOLVA DE GRUESOS

TOLVA DE GRUESOS  
VISTA EN PLANTA



- DATOS**
- 2 Vigas de 6.25 m
  - 3 Vigas de 5.83 m
  - 11 Rieles de 3.00 m

<b>MINERA PACHAPAQUI S.A.</b>	
<b>PROYECTO PARRILLA DE TOLVA DE GRUESOS</b>	ESCALA <b>1 / 50</b>

## GLOSARIO

Para esta sección, consideraremos el siguiente glosario de términos básicos:

- **Área minera especial:** Aquellas en las que exista potencial de desarrollo minero y no se encuentren concesionadas, con el objeto de que el Ministerio Sectorial, a través de sus entidades adscritas, realice catastros, investigaciones geológico-mineras u otro tipo de actividades con interés científico, dentro de sus respectivas competencias. En la declaratoria de Área Minera Especial se establecerá expresamente el plazo de vigencia de la misma, el que no podrá ser superior a cuatro años; vencido este plazo quedará levantada sin necesidad de disposición alguna que así lo declare.
- **Concentrado:** Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.
- **Concentrado Bulk:** Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial.
- **Concentrador (industria minera):** 1. Planta donde la mena es separada en "material de valor" (concentrados) y "material de desecho" (colas). 2. Un aparato de la planta de concentración, como las celdas de flotación, *jigs*, electromagnetos, mesa vibratoria, entre otros.
- **Conminución:** Se realiza para reducir material proveniente de la mina, hasta tamaños que sean manejables, dentro de la planta, y para el proceso que se desee utilizar para incrementar el % de material valioso. Este proceso tiene dos etapas claramente diferenciadas: chancado y molienda.
- **Costo de Operación:** Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.

- **Costo por Mantenimiento:** Costos originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones, a efecto de que trabaje con rendimiento normal durante su vida económica.
- **FUNDEU:** Siglas para la Fundación del Español Urgente. Organización patrocinada por la Agencia EFE, la BBVA y asesorada por la RAE.
- **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance - RCM):** Es el mantenimiento que tiene como objetivo principal, reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias.
- **Mantenimiento Productivo Total (TPM):** Es el mantenimiento productivo realizado por todos los empleados a través de actividades de pequeños grupos. Es un sistema que permite optimizar los procesos de producción de una organización, mejorando su capacidad competitiva con la participación de todos sus miembros, desde la alta gerencia hasta el operario de primera línea.
- **Mina a cielo abierto (a tajo abierto):** Son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza en la superficie del terreno. La obtención del recurso es directa.
- **Mina subterránea (o de socavón):** Desarrolla su actividad por debajo de la superficie del terreno. Las labores características de este sistema de explotación son los túneles, galerías, pozos, chimeneas, etc. La obtención del recurso se puede realizar de forma manual y mecánica.
- **Optimización:** Es el proceso de modificar un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.

- **Optimizar:** 1. Mejorar [un aparato, proceso o sistema]. 2. Buscar la mejor manera de realizar una actividad. 3. Mejorar el rendimiento de algo. Sinónimos: Mejorar, optimar, perfeccionar.
- **RAE:** Siglas para la Real Academia Española.
- **Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (Computerized Maintenance Management Software - CMMS):** es un sistema que nace para atender la administración del mantenimiento y abarca materiales (generalmente con mucha profundidad) y personal, más bien enfocado a la disponibilidad de recursos, para atender las necesidades de mantenimiento.
- **TMD:** Siglas para Toneladas Métricas Día. Se refiere a la cantidad de mineral triturado en un día expresado en toneladas métricas.
- **Veta:** Masa tubular de material mineral, depositada en fisuras, grietas o hendiduras de un cuerpo rocoso, y de composición distinta a la sustancia en que está incrustada.

## ***EVALUACIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LA SECCIÓN DE CHANCADO DE MINERALES DE LA EMPRESA ICM PERÚ***

Población de encuestados: 15 operadores, 2 supervisores.

### **1.- ORGANIZACIÓN**

- a. ¿El Manual de Operación y Mantenimiento (MOP) define claramente el servicio de mantenimiento a los equipos?
- No conozco del MOP
  - El MOP no define el servicio de mantenimiento
  - El MOP es claro y define bien el servicio de mantenimiento
- b. ¿Cómo considera que está organizado el área respecto a resolver problemas de mantenimiento de los equipos?
- Considero que el área requiere estar más organizado.
  - El área está algo organizado pero se puede mejorar.
  - La organización es adecuada y se resuelve con eficacia los problemas en los equipos.
- c. ¿Considera que se da la debida importancia a la Prevención de Riesgos laborales?
- No existe la prevención de Riesgos laborales.
  - Existe la política de prevención de Riesgos laborales pero no se aplica.
  - Sí se da la debida importancia y se aplica la prevención de Riesgos laborales.
- d. ¿Se lleva una Bitácora con la ocurrencia de fallos o mal funcionamiento de los equipos?
- No se lleva una Bitácora con la ocurrencia de fallos o mal funcionamiento de los equipos.
  - Se lleva la bitácora pero no se registra todas las incidencias.
  - Sí se lleva la bitácora y en ella se lleva todas las incidencias en los equipos.
- e. ¿Están identificados los equipos críticos y los procedimientos adecuados para la atención a estos equipos?
- No están identificados los equipos críticos y los procedimientos para el mantenimiento.
  - Están identificados los equipos críticos pero no se les da atención oportuna.
  - Sí están identificados los equipos críticos y se les da la atención oportuna y pertinente.

### **2.- PLANEAMIENTO**

- a. ¿Se planifican en forma anticipada los trabajos de mantenimiento?
- No conozco sobre la planificación de los trabajos de mantenimiento.
  - Existe planificación de los trabajos de mantenimiento pero en forma tardía.
  - Los trabajos de mantenimiento están planificados de forma oportuna.
- b. ¿Las órdenes de trabajo de mantenimiento son claras en el requerimiento del servicio?
- No se usa órdenes de trabajo para mantenimiento de equipos.
  - Las ordenes de trabajo en uso no son lo suficiente claras para solicitar servicio.
  - Las órdenes de trabajo son bastante claras para solicitar el servicio de mantenimiento.
- c. ¿Se prevé a la gerencia en forma oportuna una relación con la cantidad de repuestos, consumibles a utilizar dentro de un periodo?
- No conozco sobre pedidos a la gerencia de repuestos de manera anticipada.
  - Se entrega una relación de repuestos a usar pero en forma tardía.
  - Sí se hace entrega a la gerencia una relación de repuestos a usar en forma oportuna.
- d. ¿Se emiten Reportes de Calendarios de Mantenimiento en forma oportuna?

- No conozco de la emisión de Reportes Calendarizados de Mantenimiento.
  - Sí hay emisión de Reportes Calendarizados de Mantenimiento en forma tardía.
  - Si hay emisión de Reportes Calendarizados de Mantenimiento de manera oportuna.
- e. ¿En la sección de chancado se realiza en forma periódica o aleatoria una inspección de funcionamiento de los equipos?
- Usualmente no se realiza alguna inspección de funcionamiento a los equipos.
  - Las inspecciones a los equipos se realizan de manera superficial.
  - Si se realiza inspecciones regulares adecuadas sobre el funcionamiento de los equipos.

### 3.- RECURSOS HUMANOS

- a. ¿Considera que el taller de mantenimiento tiene el personal suficiente para el mantenimiento de los equipos?
- No tiene el personal suficiente para mantenimiento.
  - Sí tiene personal para mantenimiento pero no el idóneo.
  - Si tiene el personal suficiente e idóneo para mantenimiento.
- b. ¿La atención del personal del área que da mantenimiento atiende en forma oportuna las fallas presentadas en los equipos?
- No se da solución a las fallas a los equipos.
  - Se da solución a las fallas en los equipos pero en forma tardía.
  - Si se da una solución a las fallas en los equipos en forma oportuna.
- c. ¿Existen políticas de promoción de carrera profesional para el personal a cargo de los equipos?
- No conozco de políticas de promoción de carrera profesional.
  - Sí existen políticas de carrera profesional pero no se aplican.
  - Si existen políticas de carrera profesional y se cumplen.
- d. ¿Existen estímulos que alientan la Innovación?
- No conozco de algún estímulo que aliente la Innovación.
  - Sí existen estímulos pero es muy difícil acceder a ellos.
  - Si existen estímulos que alientan a la constante Innovación.
- e. ¿Cuál es el grado de atención a la solicitud de servicios de mantenimiento?
- La atención a las solicitudes de servicio es mala.
  - La atención a la solicitud es buena sin embargo hay pocos recursos.
  - Si hay un alto grado de atención a las solicitudes de servicios de mantenimiento.

### 4.- ABASTECIMIENTO

- a. ¿Cómo considera el tiempo de respuesta a peticiones de compra de materiales y repuestos?
- Se demora la compra y el tiempo que toma no es siempre la misma.
  - Se demora la compra pero el tiempo de compra es predecible.
  - Las compras son ágiles y siempre responden con un buen tiempo de respuesta.
- b. ¿Se cumple con el procedimiento de pedidos de compra y recepción de repuestos?
- No conozco de un procedimiento de pedidos de compra de repuestos.
  - El procedimiento de compras no se cumple.
  - Se cumple con el procedimiento de pedido de compras de repuestos.

- c. ¿Existen Requerimientos de compra en forma inmediata?
- No existen requerimientos de compra en forma inmediata.
- Existen requerimientos de compra inmediata pero no se cumplen y demoran.
- Si existen requerimientos de compra inmediata.
- d. ¿Se respetan las Especificaciones de los repuestos de reemplazo?
- Se compran repuestos que haga funcionar los equipos, no se verifican las especificaciones.
- Se trata en lo posible que los reemplazos cubran las especificaciones del fabricante.
- Por lo general si se respetan las especificaciones de los repuestos de reemplazo.
- e. ¿Se cumple oportunamente con la Reposición de un Stock mínimo de repuestos?
- No tenemos un stock mínimo de repuestos.
- Hay reposición de stock mínimo de repuestos pero tardía.
- Si hay una reposición del stock mínimo de repuestos en forma oportuna.

## 5.- EJECUCIÓN

- a. ¿Considera que la ejecución del mantenimiento a los equipos está en base a planes?
- No conozco de algún plan de mantenimiento para los equipos.
- Si existe un plan de mantenimiento pero no se ejecuta.
- La ejecución del mantenimiento de equipos se realiza en base al Plan de Mantenimiento.
- b. ¿Se realiza en forma oportuna el mantenimiento preventivo a los equipos?
- No se realiza mantenimiento preventivo a los equipos.
- Se realiza mantenimiento preventivo a los equipos ocasionalmente o cuando es solicitado.
- Se realiza mantenimiento preventivo en forma regular sujeto a programación.
- c. ¿Existe un Historial de atención a los equipos que de información y facilite el mantenimiento a los equipos?
- No conozco de algún historial a los equipos.
- Existe un historial de atención pero desactualizada.
- Hay un historial de atención de equipos a que se lleva en forma adecuada.
- d. ¿Existen las suficientes herramientas para realizar el mantenimiento de equipos?
- No hay herramientas suficientes para el mantenimiento de equipos.
- Si existen las herramientas pero están demasiadas usadas y gastadas.
- Sí hay herramientas suficientes y las necesarias en buen estado de uso.
- e. ¿Se ejecutan las órdenes de trabajo en forma oportuna de los trabajos de mantenimiento de equipos?
- No conozco de órdenes de trabajo para los trabajos de mantenimiento de equipos.
- El mantenimiento a los equipos se realiza sin órdenes de trabajo.
- El mantenimiento se ejecuta en forma oportuna y de acuerdo a la orden de trabajo.

## 6.- SUPERVISIÓN Y CONTROL

- a. ¿Existe la adecuada supervisión sobre el personal que da mantenimiento a los equipos?
- Nunca se supervisa al personal que da mantenimiento a los equipos.
- Se supervisa al personal de mantenimiento superficialmente.
- Hay una adecuada supervisión al personal que da mantenimiento a los equipos.
- b. ¿Existe un registro de todas las incidencias y peticiones de requerimiento de mantenimiento a los equipos?

- No conozco de algún registro de incidencias de requerimientos.
- Existe un registro de incidencias de requerimientos pero desactualizado.
- Existe un registro de incidencias de requerimientos en forma adecuada.
- c. ¿Se registran adecuadamente los trabajos realizados?
  - No conozco de registros de los trabajos ni reportes de servicio de mantenimiento.
  - Se emiten reportes de servicio de los trabajos pero no hay un registro de los mismos.
  - Los trabajos realizados tienen un reporte de servicio y se hace un registro para el historial.
- d. ¿La supervisión conoce y hace cumplir los objetivos de mantenimiento?
  - Considero que la Supervisión no ayuda a cumplir con los objetivos de mantenimiento.
  - La supervisión trata de hacer cumplir con los objetivos pero faltan recursos.
  - La supervisión ayuda a cumplir los objetivos de Mantenimiento.
- e. ¿El encargado de supervisar el mantenimiento tiene relación fluida con los niveles superiores?
  - No conozco sobre el particular.
  - La supervisión del mantenimiento no tiene buena relación con los jefes del área.
  - La supervisión del mantenimiento si tiene buena relación con los jefes del área.

## 7.- OPERACIÓN Y PRODUCCIÓN

- a. ¿Constantemente hay fallas en los equipos de la sección de chancado?
  - Si hay fallas en los equipos de la sección de chancado.
  - Las fallas en los equipos de la sección de chancado son eventuales.
  - No hay fallas en los equipos de la sección de chancado.
- b. ¿Las fallas en los equipos perjudican en la producción diaria de mineral triturado de la sección de chancado?
  - Si se perjudica la producción diaria de mineral triturado.
  - A veces se perjudica la producción diaria de mineral triturado.
  - No se perjudica la producción diaria de mineral triturado.
- c. ¿Las fallas son reparadas en su totalidad y no vuelven a ocurrir?
  - Las fallas son reparadas pero pasado un tiempo vuelven a ocurrir paralizando la producción.
  - Las fallas son reparadas y no vuelven a ocurrir.
  - Las fallas no son reparadas.
- d. ¿Considera que la sección de chancado cuenta con los equipos mecánicos necesarios para mantener la producción mínima requerida?
  - No cuenta con los componentes/equipos mecánicos necesarios.
  - Cuenta con los componentes/equipos pero no son suficientes.
  - Si cuenta con los componentes/equipos mecánicos necesarios.
- e. ¿Considera que los componentes/equipos de la sección de chancado están en óptimas condiciones de mantener la producción diaria requerida?
  - Los componentes/equipos no están en condiciones óptimas de operación.
  - Algunos componentes/equipos están en óptimas condiciones de operación.
  - Los componentes/equipos si están en condiciones óptimas de operación.

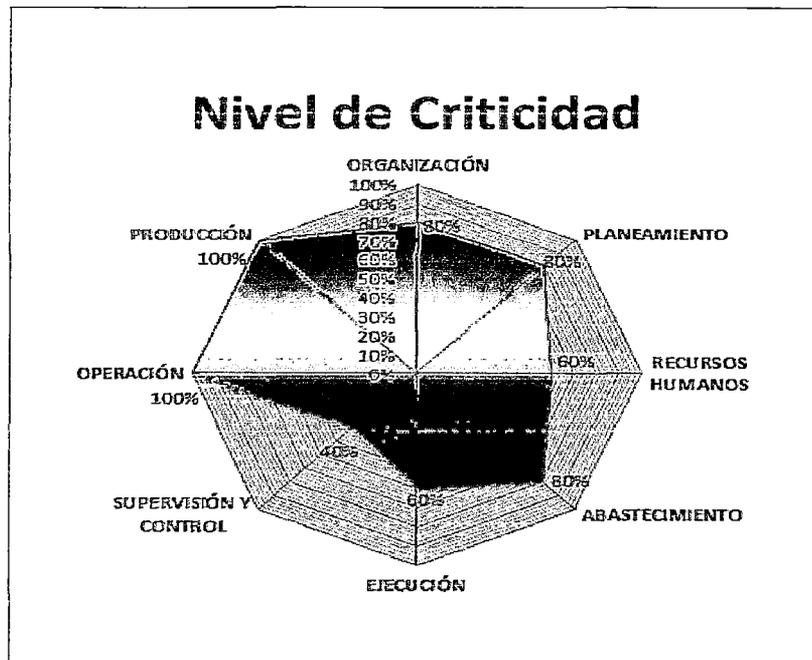
## 8.- PRODUCCIÓN

- a. ¿Considera que el cambio/reemplazo de los componentes/equipos de la sección chancado mejorará la producción diaria de mineral triturado?
- El cambio/reemplazo mejorará la producción diaria de mineral triturado.
- El cambio/reemplazo mejorará en parte a la producción de mineral triturado.
- El cambio/reemplazo no mejorará en parte a la producción de mineral triturado.
- b. ¿Consideraría necesario optimizar el proceso de trituración de mineral?
- Si es necesario optimizar el proceso de trituración de mineral.
- No influirá en el proceso de trituración de mineral.
- No es necesario optimizar el proceso de trituración de mineral.
- c. ¿Considera necesario redistribuir los equipos de la sección de chancado para mejorar la producción diaria de mineral triturado?
- Redistribuir los equipos de la sección de chancado mejorará la producción diaria.
- No influirá en el mejoramiento de la producción diaria.
- No es necesario redistribuir los equipos de la sección de chancado.
- d. ¿Considera que la construcción de una tolva de almacenamiento de finos permitirá cumplir con los requerimientos solicitados de producción?
- Si permitirá cumplir con los requerimientos solicitados.
- La construcción no es necesaria.
- No permitirá cumplir con los requerimientos solicitados.
- e. ¿Considera necesaria la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para cumplir con los requerimientos solicitados?
- Si es necesaria la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.
- La implementación no es necesaria, ya que se cuenta con un plan de mantenimiento.
- No es necesaria la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

Los resultados de la encuesta se muestran en la siguiente tabla:

		a	b	c	d	e	Promedio	Criticidad	DESIGNACIÓN	RANGO
ORGANIZACIÓN	3	10	9	12	8	5	80%	80%	Poco crítica	0 - 40 %
	2	5	5	2	6	8	20%		Crítica	40 - 70 %
	1	2	3	3	3	4	0%		Muy crítica	70 - 100 %
PLANEAMIENTO	3	9	10	8	6	8	80%	80%		
	2	5	6	5	6	7	20%			
	1	2	1	4	5	2	0%			
RECURSOS HUMANOS	3	7	6	8	7	5	60%	60%		
	2	8	9	6	5	9	40%			
	1	2	2	3	5	3	0%			
ABASTECIMIENTO	3	13	6	8	9	8	80%	80%		
	2	2	8	5	5	4	20%			
	1	2	3	4	3	5	0%			
Ejecución	3	8	4	5	8	8	60%	60%		
	2	7	9	7	7	6	40%			
	1	2	4	5	2	3	0%			
SUPERVISIÓN Y CONTROL	3	5	8	9	6	5	40%	40%		
	2	3	4	4	8	9	40%			
	1	9	5	4	3	3	0%			
OPERACIÓN	3	13	15	12	9	11	100%	100%		
	2	3	2	4	6	5	0%			
	1	1	0	1	2	1	0%			
PRODUCCIÓN	3	8	10	10	9	8	100%	100%		
	2	5	4	5	5	6	0%			
	1	4	3	1	3	3	0%			

La encuesta nos muestra los sectores más críticos, que según el rango establecido estos son: Abastecimiento (80%), Planeamiento (80%), Organización (80%) y Operación (100%) y Producción (100%). Estos resultados se reflejan en el Diagrama de Radar.



Los sectores más críticos son: Operación y Producción, el cual hace referencia a las condiciones en las que se encuentra actualmente la sección de chancado (componentes mecánicos, edificaciones, distribución de equipos, problemas de producción).

Para reducir el nivel de criticidad, se está planteando como alternativa de solución la Optimización de la Sección de Chancado con la finalidad de incrementar la producción diaria de mineral triturado de 450 TMD a 700 TMD, esto para cumplir con los requerimientos solicitados y asegurar la rentabilidad de la empresa. Esta optimización se desarrollará mediante: la redistribución de la sección de chancado, el cálculo de los componentes mecánicos, el dimensionamiento de la tolva de almacenamiento de finos y con la propuesta de un plan de mantenimiento.

## RESULTADOS DEL BALANCE DE MASA DE LA SECCIÓN DE CHANCADO PRIMARIO

Abertura de la Malla	Mallas (µm)	ZARANDA 4' X 8'																			
		F				R				T				R'				T'			
		Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	%Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
7"	177800	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
6"	152400	5.86	7.402	7.402	92.598	9.56	15.109	15.109	84.891	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
5"	127000	10.27	12.972	20.374	79.626	7.55	11.939	27.048	72.952	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
4"	101600	4.63	5.842	26.216	73.784	8.68	13.718	40.765	59.235	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
3"	76200	3.05	3.852	30.068	69.932	12.74	20.145	60.911	39.089	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	60800	6.18	7.800	37.668	62.332	7.90	12.484	73.385	26.615	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
2"	50800	6.41	8.090	45.958	54.042	16.83	26.605	100.000	0.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38100	6.75	8.526	54.484	45.516	0.00	0.000	100.000	0.000	6.75	15.777	15.777	84.223	6.75	31.491	31.491	68.509	0.00	0.000	0.000	100.000
1"	25400	8.34	10.528	65.012	34.988	0.00	0.000	100.000	0.000	8.34	19.481	35.258	64.742	8.34	38.885	70.376	29.624	0.00	0.000	0.000	100.000
3/4"	19000	1.59	2.008	67.020	32.980	0.00	0.000	100.000	0.000	1.59	3.716	38.974	61.026	1.59	7.418	77.793	22.207	0.00	0.000	0.000	100.000
1/2"	12500	6.00	7.579	74.599	25.401	0.00	0.000	100.000	0.000	6.00	14.024	52.998	47.002	6.00	22.207	100.000	0.000	1.05	2.755	2.755	97.245
1/4"	6350	2.80	3.530	78.129	21.871	0.00	0.000	100.000	0.000	2.80	6.533	59.530	40.470	0.00	0.000	100.000	0.000	4.86	12.815	15.570	84.430
1/4"	3000	17.32	21.871	100.000	0.000	0.00	0.000	100.000	0.000	17.32	40.470	100.000	0.000	0.00	0.000	100.000	0.000	32.02	84.430	100.000	0.000
Total		79.170	100.000	--	--	63.240	100.000	--	--	42.785	100.000	--	--	21.435	100.000	--	--	37.925	100.000	--	--

Considerando una eficiencia de 100% para los pisos superior e inferior de la zaranda tendremos los datos para las mallas en los puntos T y R'

Zaranda 4' x 8'			
Piso superior de 2"		Piso inferior de 1/2"	
<b>E (T Mda)</b>	800.00	<b>E' (T' Mda)</b>	432.34
f	54.04	f'	47.00
r	0.00	r'	0.00
E	100.00	E	100.00
t	100.00	t'	97.24
<b>T (Mda)</b>	432.34	<b>T' (Mda)</b>	208.97
<b>R (Mda)</b>	367.66	<b>R' (Mda)</b>	223.37

## RESULTADOS DEL BALANCE DE MASA DE LA SECCIÓN DE CHANCADO SECUNDARIO

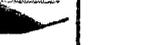
Abertura de la Malla	Micras (µm)	R + R' = F''				R''				CC				T''			
		Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
4"	101600	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
3"	76100	5.08	12.377	12.377	87.623	14.31	14.148	14.148	85.852	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	64000	4.90	11.950	24.326	75.674	8.48	8.337	22.535	77.465	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
2"	50800	3.49	8.499	32.825	67.175	7.70	7.611	30.145	69.855	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38100	4.56	13.559	46.385	53.615	7.17	7.021	37.237	62.763	0.29	0.967	0.967	99.033	0.00	0.000	0.000	100.000
1"	25100	7.79	18.998	65.382	34.618	13.25	13.100	50.336	49.664	0.97	3.274	4.241	95.759	0.00	0.000	0.000	100.000
3/4"	15000	1.89	4.854	70.235	29.765	1.75	1.731	52.062	47.938	0.43	1.458	1.700	98.299	0.00	0.000	0.000	100.000
1/2"	12700	6.70	16.327	86.563	13.437	44.24	43.754	95.821	4.179	8.51	28.872	34.572	65.428	1.05	2.755	2.755	97.245
1/4"	6350	2.19	5.529	91.831	8.169	3.41	3.365	99.189	0.811	4.97	16.662	51.433	48.567	4.86	12.815	15.570	84.430
1/4"	6350	3.33	8.109	100.000	0.000	0.82	0.811	100.000	0.000	14.32	48.567	100.000	0.000	32.02	84.430	100.000	0.000
Total		41.005	100.000	--	--	101.110	100.000	--	--	29.475	100.000	--	--	37.925	100.000	--	--

A				B				C				D			
Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)	Peso (Kg)	% Peso	%Ac (+)	%Ac (-)
0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
5.08	7.201	7.201	92.799	14.31	28.710	28.710	71.290	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
4.90	6.952	14.153	85.847	8.48	17.020	45.730	54.270	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
3.49	4.945	19.098	80.902	7.70	15.444	61.174	38.826	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
5.85	8.293	27.391	72.609	7.17	14.390	75.564	24.436	0.00	0.000	0.000	100.000	0.00	0.000	0.000	100.000
8.76	12.422	39.813	60.187	13.13	24.436	100.000	0.000	1.07	1.199	1.199	98.801	1.07	2.086	2.086	97.914
2.42	3.434	43.246	56.754	0.00	0.000	100.000	0.000	1.75	1.962	3.161	96.839	1.75	3.412	5.499	94.501
15.21	21.573	64.820	35.180	6.00	0.000	100.000	0.000	45.29	50.762	53.923	46.077	44.24	86.263	91.762	8.238
7.16	10.152	74.972	25.028	0.00	0.000	100.000	0.000	8.27	9.265	63.188	36.812	3.41	6.639	98.401	1.599
17.64	25.028	100.000	0.000	0.00	0.000	100.000	0.000	32.84	36.812	100.000	0.000	0.82	1.599	100.000	0.000
70.480	100.000	--	--	49.825	100.000	--	--	89.210	100.000	--	--	51.285	100.000	--	--

ZARANDA 6' X 12'	
Hallamos el % de carga circulante	Hallamos el valor de C (TM/día)
$E = 3.7 (1.399)$	591.03
f''	13.44
f'''	97.24
r''	4.18
cc	65.43
Relación de carga circulante	1.368
%Carga circulante	136.83
CC = R''	808.70
E (Piso inferior 1/2")	89.72
$E = 3.7 (1.399)$	1399.74
$E = 3.7 (1.399)$	591.03
	Piso superior de 1"
a	60.19
b	0.00
E	100.00
C (TM/día)	852.69
B (TM/día)	547.05
D (TM/día)	261.66

**TABLA A-1**

**FLUIDEZ, ÁNGULO DE SOBRECARGA Y REPOSO**

Flow					
Very Free Flowing 1*	Free Flowing 2*	Average Flowing 3**			Sluggish 4*
Equivalent Flow Function Ranges FF					
>10	>4 to <10	>2 to <4			<2
Angle of Surcharge (degrees)					
5	10	15	20	25	30
					
Angle of Repose (degrees)					
10 - 19	20 - 25	26 - 29	30 - 34	35 - 39	>40
Uniform size, very small rounded particles, either very wet or very dry, such as dry silica sand, cement, wet concrete, etc.	Rounded, dry polished particles of medium weight such as whole grain and beans	Regular granular materials such as fertilizer, sand and washed gravel.	Irregular, granular or lumpy materials of medium weight, such as anthracite coal, cotton seed meal, clay etc.	Typical common materials such as bituminous coal, stone, most ores, etc.	Irregular, stringy, fibrous, interlocking material such as wood chips, bagasse, tempered foundry sand, etc.
* Numerical rating refers to Material Class Descriptions					

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-2**

**CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL**

*TABLE 3-3 continued.*

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Lactose	32	30-44		A35PX
Lead arsenate	72	45		B45R
Lead carbonate	240-260	30-44		A36MR
Lead ores	200-270	30	15	*B36RT
Lead oxides	60-150	45		B45
Lead oxides, pulverized	200-250	30-44		A36
Lead silicate, granulated	230	40		B36
Lead sulfate, pulverized	184	45		B46
Lead sulfide	240-260	30-44		A36

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

FIGURA A-1

ANCHOS NECESARIOS PARA TAMAÑOS DE TROZO DADOS

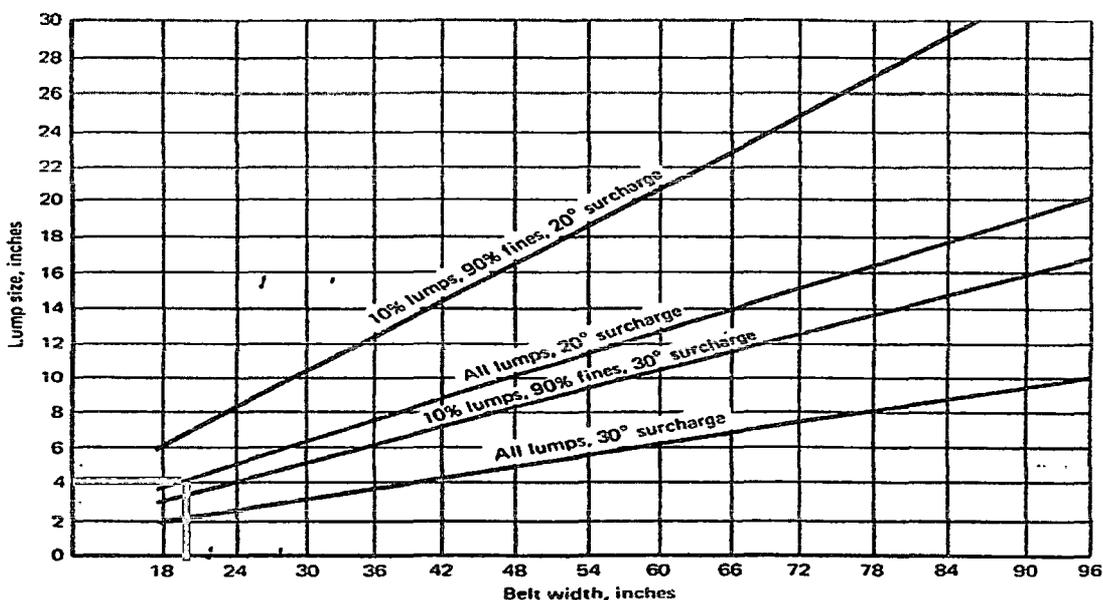


FIGURE 4.1. Belt width necessary for a given lump size. Fines: no greater than 1/10 maximum lump size.

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-3

PESO DE FAJA ESTIMADO PROMEDIO

TABLE 6-1. Estimated Average Belt Weight, Multiple- And Reduced-Ply Belts, lbs/ft

Belt width inches (b)	Material carried, lb/ft <sup>3</sup>		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4	4.5
24	4.5	5.5	6
30	6	7	8
36	9	10	12
42	11	12	14
48	14	15	17
54	16	17	19
60	18	20	22
72	21	24	26
84	25	30	33
96	30	35	38

1. Steel-cable belts—increase above value by 50%
2. Actual belt weights vary with different constructions, manufacturers, cover gauges, etc. Use the above values for estimating. Obtain actual values from the belt manufacturer whenever possible.

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-4

CLASIFICACIÓN DEL RODILLO

TABLE 5-1. *Idler Classification*

<i>Classification</i>	<i>Former series no.</i>	<i>Roll diameter (inches)</i>	<i>Description</i>
A4	I	4	Light duty
A5	I	5	" "
B4	II	4	" "
B5	II	5	" "
C4	III	4	Medium duty
C5	III	5	" "
C6	IV	6	" "
D5	NA	5	" "
D6	NA	6	" "
E6	V	6	Heavy duty
E7	VI	7	" "

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-5

ESPACIAMIENTO NORMAL RECOMENDADO PARA RODILLOS (S<sub>i</sub>)

TABLE 5-2. *Suggested Normal Spacing of Belt Idlers (S<sub>i</sub>)\**

<i>Belt Width (Inches)</i>	<i>Troughing idlers</i>						<i>Return Idlers</i>
	<i>Weight of material handled, lbs per cu ft</i>						
	30	50	75	100	150	200	
18	5.5 ft	5.0 ft	5.0 ft	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	10.0 ft
24	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	4.0 ft	10.0 ft
30	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	4.0 ft	10.0 ft
36	5.0 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	10.0 ft
42	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
48	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
54	4.5 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
60	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
72	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.5 ft	8.0 ft
84	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.5 ft	2.0 ft	8.0 ft
96	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.0 ft	2.0 ft	8.0 ft

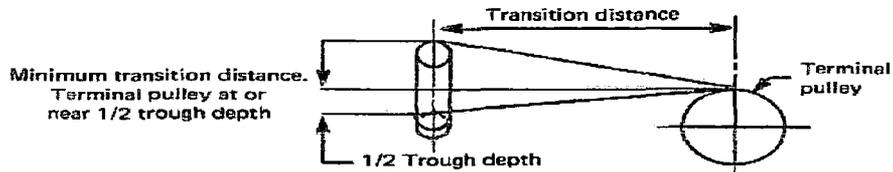
\* Spacing may be limited by load rating of idler. See idler load ratings in Tables 5-8—5-12.

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-6**

**DISTANCIAS MÍNIMAS DE TRANSICIÓN RECOMENDADAS**

**TABLE 5-3. Recommended Minimum Transition Distances**



Idler Angle	% Rate Tension	Fabric Belts	Steel Cable Belts
20°	Over 90	.5b	2.0b
	60 to 90	.8b	1.6b
	Less than 60	.6b	1.0b
35°	Over 90	1.6b	3.4b
	60 to 90	1.3b	2.6b
	Less than 60	1.0b	1.8b
45°	Over 90	2.0b	4.0b
	60 to 90	1.6b	3.2b
	Less than 60	1.3b	2.3b

*b* = Belt width (transition distance will be in the same units as those used for *b*).

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-7**

**VELOCIDADES MÁXIMAS DE FAJAS TRANSPORTADORAS**

**TABLE 4-1. Recommended Maximum Belt Speeds**

Material being conveyed	Belt speeds (fpm)	Belt width (inches)
Grain or other free-flowing, nonabrasive material	500	18
	700	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
Coal, damp clay, soft ores, overburden and earth, fine-crushed stone	400	18
	600	24-36
	800	42-60
	1000	72-96
Heavy, hard, sharp-edged ore, coarse-crushed stone	350	18
	500	24-36
	600	Over 36
Foundry sand, prepared or damp; shakeout sand with small cores, with or without small castings (not hot enough to harm belting)	350	Any width
Prepared foundry sand and similar damp (or dry abfasive) materials discharged from belt by rubber-edged plows	200	Any width
Nonabrasive materials discharged from belt by means of plows	200, except for wood pulp, where 300 to 400 is preferable	Any width
Feeder belts, flat or troughed, for feeding fine, nonabrasive, or mildly abrasive materials from hoppers and bins	50 to 100	Any width

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-8**

**FACTOR DE FRICCIÓN CON EL FALDÓN (C<sub>s</sub>)**

**TABLE 6-7. Skirtboard Friction Factor, C<sub>s</sub>**

<i>Material</i>	<i>Factor C<sub>s</sub></i>	<i>Material</i>	<i>Factor C<sub>s</sub></i>	<i>Material</i>	<i>Factor C<sub>s</sub></i>
Alumina, pulv., dry	0.1210	Coke, ground fine	0.0452	Limestone, pulv., dry	0.1280
Ashes, coal, dry	0.0571	Coke, lumps and fines	0.0186	Magnesium chloride, dry	0.0276
Bauxite, ground	0.1881	Copra, lumpy	0.0203	Oats	0.0219
Beans, Navy, dry	0.0798	Cullet	0.0836	Phosphate rock, dry, broken	0.1086
Borax	0.0734	Flour, wheat	0.0265	Salt, common, dry fine	0.0814
Bran, granular	0.0238	Grains, wheat, corn or rye	0.0433	Sand, dry, bank	0.1378
Cement, Portland, dry	0.2120	Gravel, bank run	0.1145	Sawdust, dry	0.0086
Cement clinker	0.1228	Gypsum, 1/2" screenings	0.0900	Soda ash, heavy	0.0705
Clay, ceramic, dry fines	0.0924	Iron Ore, 200 lbs per cu ft	0.2760	Starch, small lumps	0.0523
Coal, anthracite, sized	0.0538	Lime, burned, 1/8"	0.1166	Sugar, granulated dry	0.0349
Coal, bituminous, mined	0.0754	Lime, hydrated	0.0490	Wood chips, hogged fuel	0.0095

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-9**

**ASIGNACIÓN DE DESVIADORES DE DESCARGA**

**TABLE 6-6. Discharge Plow Allowance**

<i>Type of plow</i>	<i>Additional belt pull per plow, at belt line (lbs per inch belt width)</i>
Full vee or single slant plow removing all material from belt	5.0
Partial vee or single slant plow removing half material from belt	3.0

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

**TABLA A-10**

**TENSIÓN DE LA FAJA AL RODAMIENTO DE LA POLEA**

**TABLE 6-5. Belt Tension to Rotate Pulleys**

<i>Location of pulleys</i>	<i>Degrees wrap of belt</i>	<i>Pounds tension at belt line</i>
Tight side	150° to 240°	200 lbs per pulley
Slack side	150° to 240°	150 lbs per pulley
All other pulleys	less than 150°	100 lbs per pulley

Note: Double the above values for pulley shafts which are not operating in antifriction bearings.

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-11

FACTOR DE ARROLLAMIENTO ( $C_w$ )

TABLE 6-8. *Wrap Factor,  $C_w$*

Type of pulley drive	$\theta$ Wrap	Automatic takeup		Manual takeup	
		Bare pulley	Lagged pulley	Bare pulley	Lagged pulley
Single no snub	180°	0.64	0.50	1.0	0.8
Single with snub	200°	0.72	0.42	1.0	0.7
	210°	0.66	0.38	1.0	0.7
	220°	0.62	0.35	0.9	0.6
	240°	0.54	0.30	0.8	0.6
Dual	380°	0.23	0.11	0.5	0.3
	420°	0.18	0.08	—	—

Note: For wet belts and smooth lagging use bare pulley factor.  
 For wet belts and grooved lagging, use lagged pulley factor.  
 If wrap is unknown, assume the following:

Type of Drive	Assumed Wrap
Single—no snub	180°
Single—with snub	210°
Dual	380°

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-12

FACTOR DE AJUSTE DEL TROZO ( $K_1$ )

TABLE 5-4.  *$K_1$  Lump Adjustment Factor*

Maximum Lump Size (Inches)	Material Weight, lbs/cu. ft. $K_1 = 1.1$						
	50	75	100	125	150	175	200
4	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
6	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
10	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
12	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
14	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
16	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
18	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-13

VALORES DE CARGA DE LOS RODILLOS CEMA B (lb)

TABLE 5-9. Load Ratings for CEMA B Idlers, lbs

Belt Width (inches)	Trough Angle			Return
	20°	35°	45°	
18	410	410	410	220
24	410	410	410	190
30	410	410	410	165
36	410	410	396	155
42	390	363	351	140
48	380	353	342	130

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-14

VALORES DE CARGA DE LOS RODILLOS CEMA C (lb)

TABLE 5-10. Load Ratings for CEMA C Idlers, lbs

Belt Width (inches)	Trough Angle			Return
	20°	35°	45°	
18	900	900	900	475
24	900	900	900	325
30	900	900	900	250
36	900	837	810	200
42	850	791	765	150
48	800	744	720	125
54	750	698	675	*
60	700	650	630	*

\* Use CEMA D return idlers

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials

TABLA A-15

FACTOR DE ESPACIAMIENTO DEL RODILLO

Tabla 2-3 Factor de Espaciamento del Rodillo

Espaciamento de impacto de Rodillo SI	Factor de espaciamento de impacto de Rodillo, f
1' - 0"	0.5
1' - 6"	0.7
2' - 0"	0.9
>2' - 0"	1

Fuente: Catálogo Rodibelt

TABLA A-16

CLASIFICACIÓN DE ENERGÍA MÍNIMA PARA RODILLOS DE IMPACTO

Tabla 2-4 Clasificaciones de Energía Mínima para Impacto en Rodillos

Impacto en Rodillos de 3 Rodillos de Goma (rodillos de igual longitud)		
Series CEMA	WH (libras - pies)	Medida Máxima del Terrón (pulgadas)
B	40	4
C	160	6
D	240	8
E	460	12
F	870	18

Fuente: Catálogo Rodibelt

TABLA A-17

TABLAS DE CLASIFICACIONES DE CARGAS Y CAPACIDADES

TABLAS DE CLASIFICACION DE CARGAS Y CAPACIDADES

Clasificación de Cargas para Rodillos CEMA - Marco Rígido (libras)						
Tipo de Rodillo	Ancho de Faja (Pulgadas)	Angulo de Inclinación			Retorno de un solo Rodillo	Dos Rodillos
		20°	35°	45°		
Rodillos CEMA B	18	410	410	410	220	
	24	410	410	410	190	
	30	410	410	410	165	
	36	410	410	395	155	
	42	390	363	351	140	
	48	380	353	342	125	
Clasificaciones basadas en Min L <sub>10</sub> de 30,000 horas a 500 RPM						
Rodillos CEMA C	18	900	900	900	475	
	24	900	900	900	325	
	30	900	900	900	250	500
	36	900	837	810	200	500
	42	850	791	765	150	500
	48	800	744	720	125	500
	54	750	699	675	x	500
	60	700	650	630	x	500
66					500	
Clasificaciones basadas en Min L <sub>10</sub> de 30,000 horas a 500 RPM						
* Uso de Rodillos de Retorno CEMA "D"						
Rodillos CEMA D	24	1,200	1,200	1,200	600	
	30	1,200	1,200	1,200	600	
	36	1,200	1,200	1,200	600	850
	42	1,200	1,200	1,200	500	850
	48	1,200	1,200	1,200	425	850
	54	1,200	1,116	1,030	375	850
	60	1,150	1,070	1,035	280	850
	66				215	850
72	1,050	977	945	155	850	
78				125	850	
Clasificaciones basadas en Min L <sub>10</sub> de 30,000 horas a 500 RPM						

Rodillos CEMA E	36	1,800	1,800	1,800	1,000	1,300
	42	1,800	1,800	1,800	1,000	1,300
	48	1,600	1,600	1,600	1,000	1,300
	54	1,600	1,600	1,600	925	1,300
	60	1,600	1,600	1,600	850	1,300
	66				775	1,300
	72	1,600	1,600	1,600	700	1,300
	78				625	1,300
	84	1,574	1,674	1,620	550	1,300
	90				475	1,300
	96	1,750	1,628	1,575	400	1,300
102				250	1,300	
Clasificaciones basadas en Min L <sub>10</sub> de 30,000 horas a 500 RPM						
Marco Rígido y Cotonaria donde sea necesario						
Rodillos CEMA F	60	3,000	3,000	3,000	1,500	**
	72	3,000	3,000	3,000	1,200	**
	84	3,000	3,000	3,000	900	**
	96	2,800	2,800	2,800	600	**
	Clasificaciones basadas en Min L <sub>10</sub> de 30,000 horas a 500 RPM					
Marco Rígido y Cotonaria donde sea necesario						
** Para Retornos considere el uso de las CEMA series "E"						

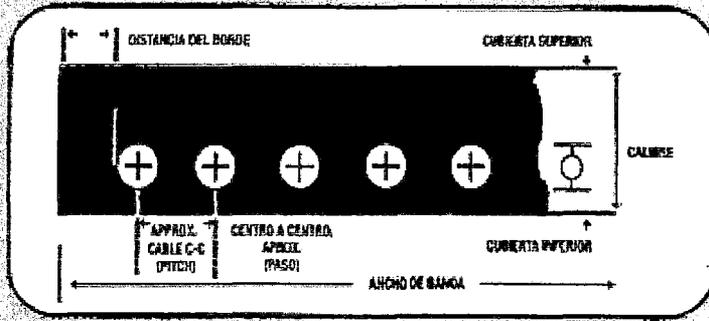
NOTAS PARATABLAS:

1. LAS CLASIFICACIONES DE CARGA SON PARA TRES RODILLOS DE IGUAL LONGITUD.
2. LAS CLASIFICACIONES DE CARGA TAMBIÉN SE APLICAN PARA TRES RODILLOS DE IMPACTO DE IGUAL LONGITUD.
3. LAS CLASIFICACIONES DE CARGA DE RODILLOS SE BASAN EN UNA DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA DE 70% EN EL RODILLO CENTRAL Y 15% EN CADA UNO DE LOS RODILLOS DE LOS EXTREMOS CUALQUIERA SEA SU ÁNGULO.

TABLA A-18

TIPO DE BANDA TRANSPORTADORA

Datos acerca de la construcción de bandas FLEXSTEEL



ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR DE FLEXSTEEL

Tipo de Banda	Peso		Ancho		Espesor de la cubierta		Espesor del cable		Número de cables	
	lb/ft	kg/m	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
FLEXSTEEL ST800	4586	820	665	120	0.142	3.6	0.598	17.5	329000	56000
FLEXSTEEL ST1000	5770	1067	850	150	0.205	5.2	0.547	13.9	411000	72000
FLEXSTEEL ST1250	7128	1350	1070	187	0.205	5.2	0.655	21.7	514000	90000
FLEXSTEEL ST1600	9136	1690	1370	240	0.205	5.2	0.665	16.9	657000	115000
FLEXSTEEL ST2000	11420	2090	1742	300	0.205	5.2	0.533	13.5	822000	144000
FLEXSTEEL ST2500	14275	2590	2140	375	0.205	5.2	0.450	11.4	1030000	180000
FLEXSTEEL ST3150	17987	3150	2597	472	0.315	8.0	0.769	19.5	1280000	227000
FLEXSTEEL ST3500	19935	3590	2996	525	0.315	8.0	0.690	17.5	1446000	252000
FLEXSTEEL ST4000	22840	4090	3424	600	0.392	9.2	0.792	20.1	1649000	288000
FLEXSTEEL ST4500	25639	4590	3952	675	0.394	10.0	0.805	20.4	1850000	324000
FLEXSTEEL ST5000	28550	5090	4280	750	0.433	11.0	1.028	27.9	2050000	360000
FLEXSTEEL ST5400	30835	5400	4623	810	0.433	11.0	1.023	26.0	2220000	389000

- El peso de la banda depende de la construcción de la cubierta superior e inferior.
- El peso de la banda depende del tipo de cable utilizado.
- Los pesos de la banda dependen de la construcción de la cubierta superior e inferior.
- El peso de la banda depende del tipo de cable utilizado.

ESPESES DE LAS FAJAS FLEXSTEEL (Imperial/Métrico)

Tipo de Banda	FT	M	M	M	M	M
	600-1000	1001-2250	2251-3200	3201-3700	3701-4200	4201-4623
	ST701-ST1168	ST1169-ST2623	ST2629-ST3739	ST3739-ST4322	ST4323-ST4906	ST4907-ST6400
Espesor de la cubierta superior	0.142	0.205	0.315	0.392	0.394	0.433
Espesor de la cubierta inferior	3.6	5.2	8.0	9.2	10.0	11.0

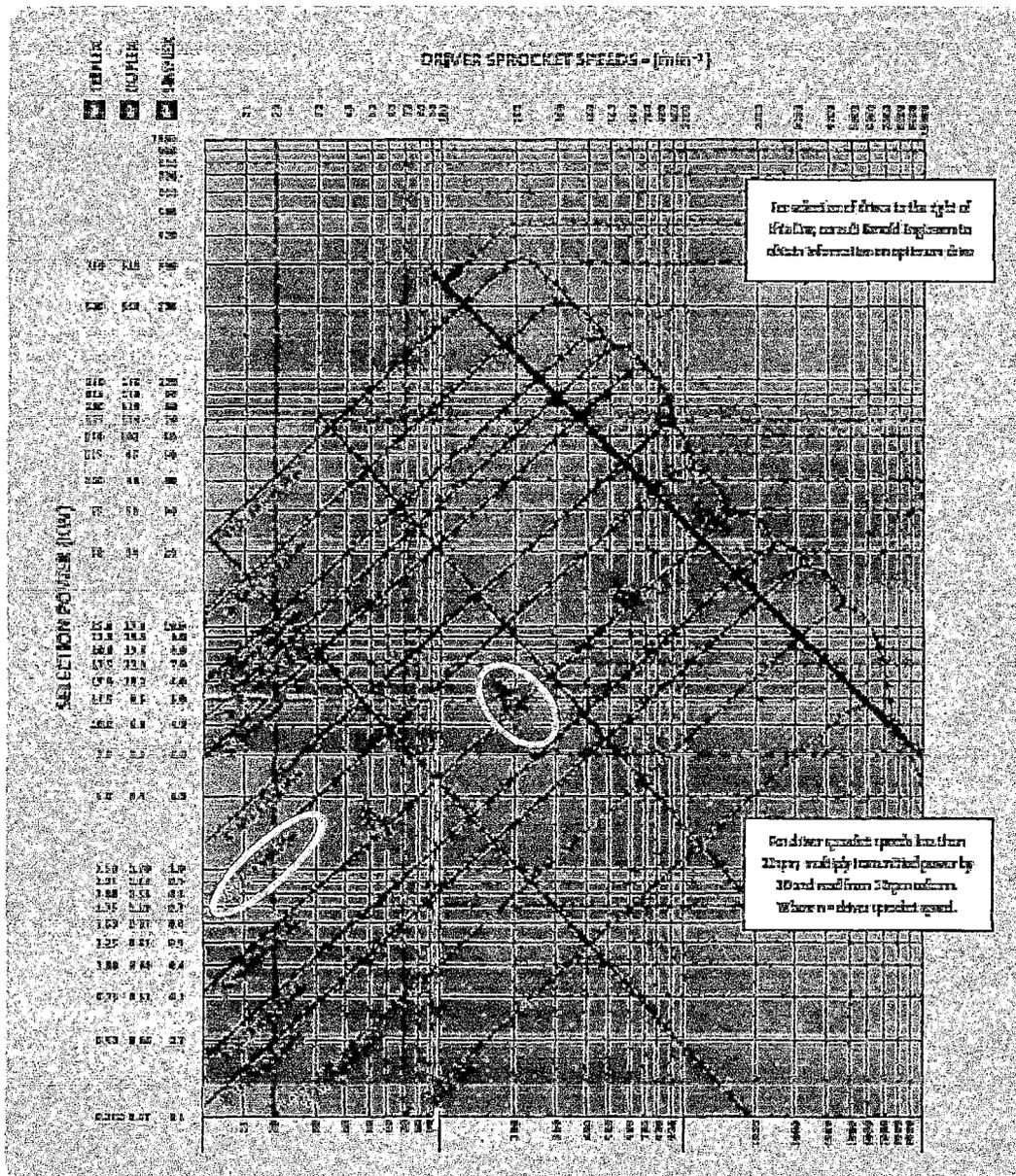
ESPECIFICACIONES (EN INCHOS)  
DEBEN SER CUMPLIDAS

FIGURA A-2

PASO Y TIPO DE LA CADENA

Renold Chain Designer Guide  
European Chain Rating Chart

European Standard Chain Drives  
Rating Chart using 15T Driver Sprocket

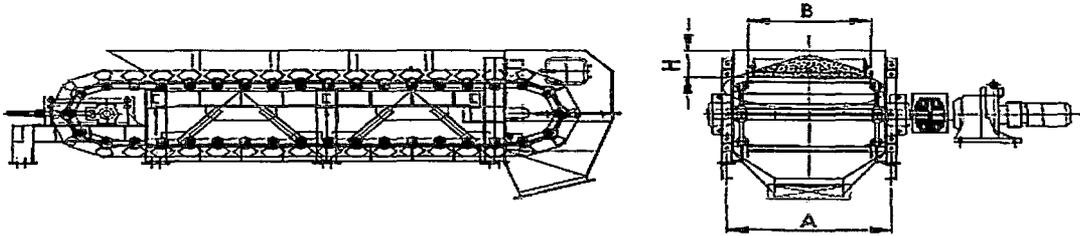


Section 9.5

3000 rpm = 1.34 hp.

TABLA A-19

CAPACIDAD DEL APRON FEEDER



WIDTH	A	B	CAPACITY ( t/h )			POWER ( HP )						
						NO LOAD	HORIZONTAL / m			VERTICAL / m		
			mm	mm	mm		H ( mm )			H ( mm )		
			300	450	600	N1	300	450	600	300	450	600
450	750	370	↓	-	-	0,08	0,06	-	-	0,11	-	-
600	900	520	↓	53	-	0,08	0,07	0,11	-	0,16	0,22	-
750	1050	670	↓	68	91	0,15	0,09	0,13	0,18	0,20	0,30	0,40
900	→	820	56	83	111	0,19	0,11	0,15	0,20	0,25	0,37	0,49
1050	1350	970	65	98	131	0,30	0,12	0,17	0,22	0,29	0,44	0,58
1200	1500	1120	76	113	152	0,34	0,13	0,18	0,24	0,34	0,51	0,68

Fuente: Catálogo Siko Engineering.

FIGURA A-3

CHANCADORA DE MANDÍBULA FUNCAL 15" X 36"

**15" x 36"**

DE ROBUSTA Y ESMERADA CONSTRUCCION. SE EMPLEAN EN SU FABRICACION MATERIALES DE OPTIMA CALIDAD. SU DISEÑO FUNCIONAL PERMITE UNA ADECUADA Y ECONOMICA TRITURACION DE ROCAS Y MINERALES.

**CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES**

Cuerpo de una sola pieza de acero fundido eléctricamente reforzado por gruesas nervaduras que aseguran una gran resistencia y rigidez durante el trabajo. Evitando deformación, lo que garantiza centricidad de su acción principal.

Eje excéntrico, diseñado para servicio extra-pesado, fabricado en acero de primerísima calidad. Sus cuatro rodamientos de rodillos o rótulas de alineación propia, montados en las chumaceras, aseguran larga duración y reducida demanda de fuerza.

Mueles de trituración y placas laterales de acero manganeso. Son reversibles para su uso y aprovechamiento total de trabajo.

Las piezas expuestas a un mayor desgaste, son de práctico y sencillo diseño, lo que facilita su rápido reemplazo.

La abertura de salida que regula los distintos tamaños de chancado, se gradúa mediante un sistema. (Ver "Recomendaciones y Mantenimiento" N° 1).

Para el accionamiento se emplean correas trapezoidales. Opcionalmente se pueden suministrar para correas planas, con poleas llenas o vacías. Los desequilibrios causados por la excéntrica han sido totalmente compensados, lo que garantiza un régimen de trabajo de máximo rendimiento a un mínimo costo.

La CHANCADORA 15" x 36" de FUNDICION CALLAO puede ser montada sobre bases de hormigón, armazones de hierro, o madera. La carga de sustentación debe calcularse al doble del peso de la máquina.

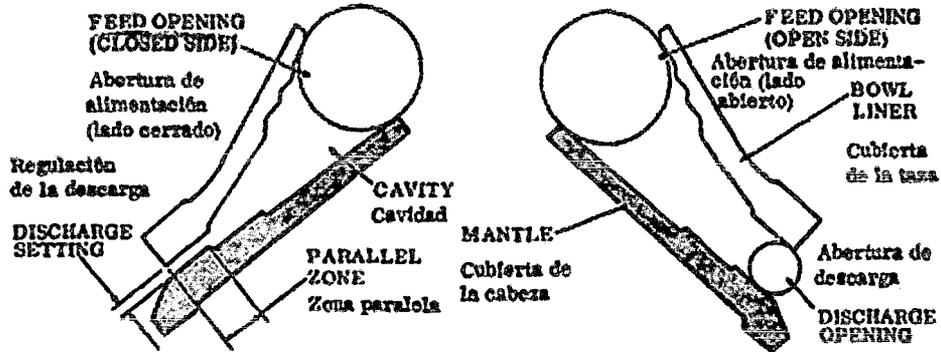
**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

CAPACIDAD TONS POR 10 HORAS						POTENCIA NECESARIA EN HP			
TAMAÑO	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	RPM	MOTOR ELÉCTRICO	MOTOR A GASOLINA	
								COSTA	SIERRA
15" x 36"	600	740	880	1200	1500	1800	60	65	85
TAMAÑO	PESO NETO KG	POLEA		ANCHURA DE HENDIDURA Y RENDIMIENTO CON MADÍBULAS CERRADAS					
				MÍNIMA		CORRIENTE		MÁXIMA	
		RPM	TAMAÑO	PULG	m3-h	PULG	m3-h	PULG	m3-h
15" x 36"	11,100	200-225	50 x 13 1/2	2 1/2	30-42	4"	60-70	6"	80-90

Fuente: Catálogo FUNCAL.

FIGURA A-4

CHANCADORA CÓNICA SYMONS 4 1/4'



CAVIDADES . ABERTURAS DE ALIMENTACION . TAMAÑOS DEL PRODUCTO

Tamaño	Tipo de cavidad	Ajuste mínimo de descarga recomendado mm	Abertura de alimentación, con el ajuste mínima de descarga		Capacidades en toneladas (2000 lbs.) per hora, a base de operación en circuito cerrado.										
			Lado cerrado mm	Lado abierto mm	6 mm	10 mm	13 mm	15 mm	19 mm	22 mm	25 mm	32 mm	38 mm	51 mm	64 mm
2 pies	Fino	6	57	57	18	20	30	35	40	45	50	60			
	Basto	10	83	95		20	30	35	45	50	60	76			
	Muy basto	13	89	102			30	40	50	55	70	80			
3 pies	Fino	10	86	105		40	60	70	75	80					
	Basto	13	124	144			60	75	90	100	120	140			
	Muy basto	19	176	191			60	75	90	100	120	140			
4 pies	Fino	10	127	149		70	110	130	140	150	170				
	Mediano	13	156	171			110	140	150	175	200	220			
	Basto	19	167	210			140	150	175	200	260	300			
	Muy basto	19	227	248			140	150	175	200	260	300			
4-1/4 pies	Fino	16	187	210			140	150	160	175	200				
	Mediano	10	229	267			140	160	175	190	240	250			
	Muy basto	25	264	286			160	175	200	240	275	350			
5-1/2 pies	Fino	16	181	197			180	200	235	275	300	350			
	Mediano	22	219	241					275	300	375	400	450		
	Basto	25	251	276					300	375	450	500	700		
	Muy basto	38	343	369					300	375	450	500	800		
7 pies	Fino	19	254	279					370	400	500	620	750		
	Mediano	25	292	324					500	600	750	800	1100		
	Basto	32	343	378						750	850	1200	1400		
	Muy basto	38	425	460							850	1200	1400		

Quando se desea un producto más fino que el de la regulación mínima, o cuando existan condiciones anormales, solicítase un estudio técnico del problema específico de que se trate.

CAPACIDADES DE LAS TRITURADORAS STANDARD

## FIGURA A-5

### MÉTODO AFTV – FACTORES A, B, C, D, E, F, G, H, J

**A:** Cantidad de pasante que en una hora procesaría un área de un pie de superficie tamizante, si el alimento presentara 25% de rechazos, 40% de "tamaño mitad" (partículas menores a la mitad de la abertura del tamiz) y se tratará del primer piso del tamiz. La operación debería ser en seco (ó en húmedo con una abertura de 1/32") con una eficiencia del 95% y la densidad aparente de los sólidos de 100lb/pie<sup>3</sup>. A está dada en tcph/pie<sup>2</sup> (Tabla A)

#### FACTORES DE CORRECCIÓN DE A

- B:** Factor referente al porcentaje de rechazos alimentados (Tabla B)
- C:** Factor referente al porcentaje de tamaño mitad alimentado (Tabla C)
- D:** Factor referente a la porción de la superficie en el tamiz (Tabla D)
- E:** Factor aplicable si el tamizado es en húmedo (Tabla E)
- F:** Factor debido a la densidad aparente del sólido (Tabla F)
- G:** Factor por el área abierta de la tela utilizada (Tabla A)  
( $G = \% \text{ área abierta de la tela} / \% \text{ área abierta de la Tabla A}$ )
- H:** Factor debido al tipo de abertura de la tela utilizada en la superficie (Tabla H)
- J:** Factor debido a la eficiencia de tamizado calculado según ecuación (representado en la Tabla J)

TABLA A		
ABERTURA CUADRADA DE LA TELA	PORCENTAJE DE ÁREA ABIERTA	A
		TCHP/pie <sup>2</sup>
4"	75	7.69
3 1/2"	77	7.03
2 3/4"	74	5.85
2 1/2"	72	5.52
<b>2"</b>		<b>4.90</b>
1 3/4"	68	4.57
1 1/2"	69	4.20
1 1/4"	66	3.89
1"	64	3.56

TABLA B										
% RECHAZOS	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
B	1.21	1.13	1.08	1.02	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.79
% RECHAZOS	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
B	0.75	0.70	0.66	0.62	0.58	0.53	0.50	0.46	0.33	

TABLA C										
% TAMAÑO MEDIO	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
C	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10
% TAMAÑO MEDIO	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
C	1.20	1.30	1.40	1.55	1.70	1.88	2.00	2.20	2.40	

TABLA D			
POSICIÓN DEL TAMIZ		SUPERIOR	
D		1.0	
			SEGUNDO
			0.9
			TERCERO
			0.8

TABLA E (TAMIZADO EN HÚMEDO)									
ABERTURA	1/32"	1/16"	1/8"	3/36"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
E	1.00	1.25	2.00	2.50	2.00	1.75	1.40	1.30	1.25

TABLA F (DENSIDAD APARENTE)										
lb/pie3	150	125	100	90	80	75	70	60	50	30
F	1.50	1.25	1.00	0.90	0.80	0.75	0.70	0.60	0.50	0.30

TABLA H (FORMA DE ABERTURA DEL TAMIZ)	
CUADRADO	1.00
RECTANGULAR (LARGO 3 A 4 VECES EL ANCHO)	1.15
RECTANGULAR (LARGO MAYOR A 4 VECES EL ANCHO)	1.20

TABLA J (EFICIENCIA)						
EFICIENCIA	95	90	85	80	75.00	70
J	1.00	1.15	1.35	1.50	1.70	1.90

Fuente: Ingeniería Metalúrgica – Iván Quiroz Núñez.







**PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – CHANCADORA CÓNICA**

ICM PERÚ	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO																																																								
SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO								Elaborado por: Mantenimiento de Planta																	Ejecutado por: Mantenimiento de Planta																																
CHANCADORA CÓNICA STANDARD - SYMONS 41/4'																																																									
ACTIVIDADES / SEMESTRES	PRIMER SEMESTRE																												SEGUNDO SEMESTRE																												
	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE												
ACTIVIDADES / MESES	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4									
ACTIVIDADES / SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Limpieza de los elementos en general: bowl y mantle liner, poleas, motor, rodamientos, bomba de engranajes; y de los chutes (1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Engrase y/o lubricación general: motor, sistema de transmisión (2)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Revisión y ajuste de las conexiones eléctricas: tableros, motor y bomba de engranajes			X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X				X						
Revisión y/o reemplazo de las fajas de transmisión												X																X																								X					
Revisión y/o reemplazo del bowl liner y mantle liner																				X																												X									
Revisión y/o reemplazo de los resortes, anillo de obturación, juntas, empaquetaduras, pernos, válvulas, mangueras																				X																												X									
Reemplazo de rodamientos y empaquetaduras																																																X									
Reemplazo de aceite																																																X									
Mantenimiento del motor: pruebas																																																X									

Los trabajos se deben realizar con el equipo DETENIDO, con el permiso (Formato N° 15) y el procedimiento (Formato N° 15 B) del DS 055 - MINEM.

(1) Los trabajos se deben realizar diariamente en los respectivos cambios de turno. Cualquier desperfecto, comunicar al área de mantenimiento y al área de producción.

(2) Los trabajos se deben realizar semanalmente (o dos veces por semana de ser necesario). Cualquier desperfecto, comunicar al área de mantenimiento y al área de producción.

Las demás labores se deben de efectuar en la cuarta semana de cada mes (mantenimiento programado de la Planta Concentradora) en un lapso de 1.5 días.





## ANEXO N° 15 – DS 055

PERMISO ESCRITO PARA TRABAJO DE ALTO RIESGO (PETAR)			
AREA :	.....		
LUGAR :	.....		
FECHA :	.....		
HORA INICIO :	.....		
HORA FINAL :	.....		
NUMERO :	.....		
<b>1.- DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:</b>			
<hr/> <hr/> <hr/>			
<b>2.- RESPONSABLES DEL TRABAJO:</b>			
OCUPACIÓN	NOMBRES	FIRMA INICIO	FIRMA TÉRMINO
<b>3.- EQUIPO DE PROTECCIÓN REQUERIDO</b>			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	CASCO CON CARRILERA MAMELUCO GUANTES DE JEBE BOTAS DE JEBE RESPIRADOR C/GASES, POLVO PROTECTOR VISUAL	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	ARNES DE SEGURIDAD CORREA PARA LAMPARA MORRAL DE LONA PROTECTOR DE OÍDOS <b>OTROS</b> ..... .....
<b>4.- HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MATERIAL:</b>			
<hr/> <hr/> <hr/>			
<b>5.- PROCEDIMIENTO:</b>			
<hr/> <hr/> <hr/>			
<b>6.- AUTORIZACION Y SUPERVISION</b>			
CARGO	NOMBRES	FIRMA	

**ANEXO 15 B – DS 055**

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PETS**

	<b>NOMBRE DEL PETS</b>		<b>ICM PERU</b>
	Area:	Version:	
	Código:	Fecha:	

**1. PERSONAL.**

- 1.1
- 1.2

**2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- 2.1
- 2.2

**3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

- 3.1
- 3.2

**4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1
- 4.2

**5. RESTRICCIONES**

- 5.1
- 5.2

PREPARADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
SUPERVISOR DEL AREA Y TRABAJADORES	SUPERINTENDENTE DEL AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	GERENTE OPERACIONES
FECHA DE ELABORACION			FECHA DE APROBACION