

Universidad Nacional

*“José Faustino Sánchez Carrión”*

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGICA

*Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica*



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:  
INGENIERO METALURGICO

TITULO:

“OPTIMIZACION DEL CIRCUITO DE CHANCADO  
EN LA PLANTA DE BENEFICIO EL INKA”

**AUTOR:**

**Bachiller TÁMARA HUANSHA, ELIO NEMIAS.**

**ASESOR:**

**M(o) Ing. JAIME IMAN MENDOZA**

**CIP: 108834      DNU: 432**

**Ciudad Universitaria, 2021**

**Huacho – Perú**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su confianza depositada.

## RESUMEN

La configuración del circuito de chancado de la Planta de Beneficio El Inka S.A, se da para satisfacer el incremento en la demanda de concentrados siendo la producción anterior de 480 Toneladas Métricas Secas Día (TMSD), y la nueva demanda 960 Toneladas Métricas Secas Día. Para lo cual los requerimientos del área de operaciones fueron los de llegar a una granulometría final de 7/32 pulgada, anteriormente 3/4 de pulgada.

La Planta de Beneficio El Inka S.A fue configurada en las secciones de chancado, molienda, flotación, filtrado, Relavera y comercialización, con el único propósito de incrementar la producción de minerales y así satisfacer las exigencias del mercado. Ocupándonos en el circuito de chancado para el tema desarrollado.

En la Planta de Beneficio El Inka S.A, se brinda servicio de tratamiento de procesos de sulfuros de cobre a pequeños y medianos productores mineros, y el beneficio del mineral con ley comercial de cobre, plomo y zinc, y se ubica en el paraje Nazca; en el distrito de Vista Alegre, provincia de Nazca y departamento de Ica, a una altitud de 800 metros sobre el nivel del mar.

El tipo de investigación empleada fue el tecnológico y el nivel aplicado debido a que se aplicaron los conocimientos tecnológicos a una situación real (configuración para 960 Toneladas Métricas Secas Día), y que sus resultados redundaron en el sistema de producción de manera significativa. Con el incremento de producción en 85 por ciento.

La nueva configuración de componentes del circuito de chancado dio como resultado la reutilización e incremento de equipos al circuito tales como chancadoras, zarandas y fajas transportadoras, además del cambio de dos bandas transportadoras en la Faja N° 2 y 5, mediante el análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes, esto a su vez tuvo una implicancia positiva en el incremento de la producción de 480 Toneladas Métricas Secas Día, a 960 Toneladas Métricas Secas Día, en un 85 por ciento, lográndose así las expectativas de la gerencia y la compañía en conjunto.

La prueba de hipótesis, aplicadas en el estudio, fue la "t" de student particularmente, comparación de medias, los mismos que nos corroboraron en la validación de la hipótesis.

Palabras claves: Secadoras de muestras, Mallas, Estroboscopio, Tamizado y Tonelaje

## **ABSTRAC**

The configuration of the crushing circuit of the El Inka SA Plant is given to satisfy the increase in the demand of concentrates, with the previous production of 480 metric tons of dry days (TMSD), and the new demand 960 metric tons of dry days. For which the requirements of the area of operations were to reach a final granulometry of 7/32 inch, previously 3/4 of an inch.

The Inka S.A Benefit Plant was set up in the crushing, grinding, flotation, filtering, relavera and commercialization sections, with the sole purpose of increasing the production of minerals and thus satisfying market demands. Occupying the crushing circuit for the developed theme.

In the El Inka S.A Benefit Plant, service is provided for the treatment of copper sulphide processes to small and medium-sized mining producers, and the benefit of the mineral with commercial law for copper, lead and zinc, and is located in the Nazca area; in the district of Vista Alegre, province of Nazca and department of Ica, at an altitude of 800 meters above sea level.

The type of research used was the technological and the applied level because the technological knowledge was applied to a real situation (configuration for 960 Dry Metric Tonnes Day), and that its results have significantly affected the production system. With the increase of · production in 85 percent.

The new configuration of components of the crushing circuit resulted in the reuse and increase of equipment to the circuit such as crushers, shakers and conveyor belts, in addition to the change of two conveyor belts in Belt N ° 2 and 5, through analysis, evaluation , dimensioning and selection of components, this in turn had a positive implication in the increase of the production of 480 Dry Metric Tonnes Day, to 960 Dry Metric Tonnes Day, in 85 percent, thus achieving the expectations of the management and the company as a whole.

The test of hypothesis, applied in the study, was the "t" of student particularly, comparison of means, the same ones that corroborated us in the validation of the hypothesis.

Keywords: Sample Dryers, Screens, Stroboscope, Sieving and Tonnage.

# INDICE

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACION PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	2
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2 PROBLEMA ESPECIFICO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	2
1.4 JUSTIFICACION.....	3
1.5 DELIMITACION.....	4
1.6 VIABILIDAD.....	4
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACION.....	5
2.1.1 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL ESTUDIO.....	5
2.2 BASES TEORICAS.....	6
2.2.1 TRITURACION.....	6
2.2.1.1 CLASIFICACION DE ETAPAS DE TRITURACION.....	8
2.2.1.2 CRITERIOS MINIMOS SOBRE CHANCADORA DE QUIJADAS.....	8
CAPACIDAD.....	9
FACTOR HUMEDO K.....	10
FACTOR ALIMENTACION K".....	10
TONELAJE DE REDUCCION.....	11
POTENCIA REQUERIDAD.....	12
DIMENSIONES BASICAS.....	12

GIRATORIAS.....	13
RELACION ENTRE AREA DE RECEPCION DE CHANCADO Y MOTOR.....	12
2.2.1.3 CRITERIOS MINIMOS SOBRE CHANCADORAS SECUNDARIAS	
PRINCIPIO FUNCIONAMIENTO.....	13
CAPACIDAD DE TRITURADORA CONICAS EN OPERACIÓN.....	15
AUMENTAN CAPACIDAD DE TRITURADORAS Y MEJORAN SU	
PERFONMANCE.....	16
DETERIORAN EL PERFORMANCE Y LA CAPACIDAD DE LAS	
TRITURADORAS.....	17
POTENCIA REQUERIDA.....	17
RELACION DE POTENCIA Y DIMENSIONES BASICAS.....	18
2.2.1.4 SELECCIÓN DE TRITURADORAS	
TRITURADORA PRIMARIA.....	19
TRITURADORA SECUNDARIA.....	20
TRITURADORA TERCIARIA.....	20
2.2.2 TAMIZADO INDUSTRIAL.....	21
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	24
INCLINACION DE LA ZARANDA.....	25
SUPERFICIE TAMIZANTES O MALLAS.....	25
CAPACIDAD DE UNA ZARANDA VIBRATORIA.....	25
EFICIENCIA DE CLASIFICACION.....	25
CARGA CIRCULANTE EN TAMIZADO.....	26
DIMENSIONAMIENTO DE TAMIZES.....	26
CALCULO DE AREA DE CRIBADO.....	27

2.2.3	FAJAS	
	TRANSPORTADORAS.....	30
	MATERIAL FAJA.....	31
	POLINES.....	31
	POLEAS.....	31
	ANCHO DE FAJA TRANSPORTADORA.....	32
	CAPACIDAD DE FAJA TRANSPORTADORA.....	33
	VELOCIDAD DE FAJA TRANSPORTADORA.....	35
	INCLINACION DE FAJA TRANSPORTADORA.....	35
	PESO FAJA.....	36
	POTENCIA DEL MOTOR PARA UNA FAJA.....	36
	MUESTREO Y PESADO DE MINERALES.....	37
	TOMA DE MUESTRAS PARA DETERMINACION DE HUMEDAD % .....	37
2.3	DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	38
	CONFIGURACION DEL CIRCUITO DE CHANCADO.....	38
	INCREMENTO DE PRODUCCION.....	38
2.4	FORMULACION DE LA HIPOTESIS.....	38
2.4.1	HIPOTESIS GENERAL.....	38
2.4.2	HIPOTESIS ESPECIFICA.....	39
2.5	OPERALIZACION DE VARIABLES.....	39
	SOPORTE.....	42
3.	METODOLOGIA.....	42
3.1	DISEÑO METODOLOGICO.....	42
3.1.1	INVESTIGACION TECNOLOGIA.....	42
3.1.2	NIVEL APLICATIVO.....	43
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43

CRITERIOS DE INCLUSION.....	43
CRITERIOS DE EXCLUSION.....	44
3.3 TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS.....	44
3.4 TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	44
3.4.1 INSTRUMENTO DE ANALISIS DOCUMENTAL.....	44
4. RESULTADOS.....	46
4.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
4.1.1 RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO.....	46
4.1.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL CIRCUITO.....	47
4.2 CAPACIDAD REAL DE LOS EQUIPOS.....	47
4.3 RESULTADOS, ANALISIS, EVALUACION, DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS A 960 TMSD.....	48
4.4 CAMBIO Y/O MODIFICACION DE COMPONENTES.....	52
4.5 PRUEBA DE HIPOTESIS.....	55
4.6 NIVEL DE SATISFACCIÓN DE USUARIO.....	57
5. DISCUSION E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	58
5.1 CONSECUENCIAS TEORICAS.....	59
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
6.1 CONCLUSIONES.....	60
6.2 RECOMENDACIONES.....	61
7. BIBLIOGRAFIA.....	62

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Identificación de la realidad problemática**

La tesis se desarrolla entorno a los problemas que se generan a raíz de ampliar la producción en la Planta de Beneficio el Inka. La demanda de productores mineros en la zona de influencia (Pamputa, Progreso, Chavincha, Ica, Trujillo, Abancay y la diversidad de zonas de donde proceden los más 500 productores empadronados) impulsaron a reestructurar la primera etapa del proceso, la cual es el CIRCUITO DE CHANCADO.

El Circuito de Chancado diseñado en un primer momento (antes de la ampliación de la Planta de Beneficio de 250 Toneladas por día a 680 Toneladas) tenía una capacidad máxima 480 Toneladas por día y hoy vemos la necesidad de repotenciar a 960 Toneladas por día; es decir incrementaremos el tonelaje de hora de 40 TMH/Hora a 80 TMH/Hora.

La Planta de Beneficio El Inka, es una empresa dedicada al procesamiento de sulfuros de cobre a través de sus etapas de Recepción y Almacenamiento de minerales (sulfuros de cobre) en su Cancha de Acopio con un área de 4.5 Hectáreas aproximadamente; luego tenemos al Circuito de Chancado, Planta de Beneficio (Flotación Contracorriente) con capacidad de 680 Toneladas por día distribuidas en dos circuitos; Laboratorio Químico donde se realiza los análisis de las muestras de Planta del Proceso, donde también se calcula los análisis de las rumas acumuladas antes de ingresar al Proceso y por último tenemos al área de Comercial, donde los concentrados obtenidos son comprados

a los productores mineros para ser blendeados y homogenizados y vendidos a Michael Dreyffus, IMPALA u otros compradores internacionales gracias a que contamos con certificación internacional en ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007 que nos da la autorización de poder comprar concentrados a pequeñas plantas y venderlos directamente.

La Planta de Beneficio El Inka, es una empresa de consorcio peruano – español con personería jurídica de derecho privado debidamente constituida, e inscrita en los registros públicos, opera como empresa minera prestando servicios de procesamiento de minerales (sulfuros de cobre) y comercializadora de concentrados de cobre, debidamente acreditados por las autoridades competentes; tiene implementado infraestructura, equipos y maquinarias para el desarrollo de los servicios que brinda; y concordante con su política empresarial, desarrolla las operaciones de acopio, procesamiento y comercialización, cumpliendo lo dispuesto por la normatividad minero, metalúrgica y ambiental vigente en el Perú.

Existen estudios anteriores de incrementos de producción cuya documentación es de acceso restringido por política de la empresa. Sin embargo, hay teorías que permiten realizar el estudio minucioso de la configuración. (Manzaneda Cabala, Procesamiento de minerales, 2005), (Quiroz Nuñez, Operaciones unitarias en procesamiento de minerales, 1986), (Rivera Zeballos, Compendio de conminución, 2003). Y las reuniones de coordinación, con el representante de los equipos, en nuestro caso Metso Minerals-Perú. Con la investigación, previa evaluación se determinó la capacidad de producción de las máquinas y en base a ello se planteó las nuevas dimensiones y configuraciones

## **1.2 Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1 Problema general:**

. ¿De qué manera se configura el circuito de chancado para lograr el incremento de producción en la Planta de Beneficio El Inka?

### **1.2.2 Problemas específicos:**

. ¿Qué tipos de cambios realizaremos en los sobredimensionamientos de los equipos con los que cuenta el Circuito en la actualidad?

. ¿Qué cambios se tendrán que realizar en la infraestructura del Circuito de Chancado?

. ¿La optimización del Circuito mantendrá la granulometría requerida para asegurar la recuperación en la Planta de Beneficio?

. ¿La optimización del Circuito nos permitirá bajar el consumo energético (KWHora)?

. ¿La optimización del Circuito nos demandará un consumo elevado de repuestos en los equipos y componentes del Circuito?

## **1.3 Objetivos:**

### **1.3.1 Objetivo general:**

Configurar el circuito de chancado mediante análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes para lograr el incremento de producción en la Planta de Beneficio El Inka.

### **1.3.2 Objetivo específico:**

- o Desarrollar un Plan de Implementación y Reestructuración (PROJECT CIRCUITO DE CHANCADO) de los equipos: detallado y especificando que componente se tendrían que modificar y las fechas de ejecución a fin de tener un stock pile de mineral en cancha que asegure las operaciones en la Planta de Beneficio El Inka, mientras se realizan los mantenimientos.

- Identificar y evaluar la documentación de los equipos y componentes del Circuito a fin de proceder a saber cuáles son factibles en su sobredimensionamiento y elaborar el Plan de Ejecución.
- Capacitar a los operadores ya que se implementarán nuevos parámetros de operación en el Circuito.
- La reingeniería en el Circuito demandará modificar los Programas de Mantenimiento Preventivo, Correctivo y Planificado de los equipos del Circuito a raíz de que habrá mayor desgaste de los componentes.

#### **1.4 Justificación**

##### Práctico:

Con la presente tesis se calcularán las dimensiones los equipos con los que contamos en la actualidad a fin de evitar compras y generar más costos en la ampliación, apoyados en los manuales de los fabricantes a fin de respetar los parámetros de tolerancia que exige el fabricante.

Así mismo realizaremos un cambio en los parámetros operativos ya que se optimizará el circuito y eso demandara mayor consumo de repuestos consumibles para las maquinas; es decir los tiempos de cambio variaran de acuerdo al aumento del tonelaje.

##### Teórico:

Con la presente tesis se dará a conocer una de las principales falencias que suele ocurrir cuando se procede al dimensionamiento de equipos; suele darse por dos aspectos:

Mano de obra no especializada, debido a querer ahorrar en costos

No tener en cuenta las restricciones del fabricante y usar repuestos o fabricaciones hechas.

Sus altos costos con los que operan en la actualidad y al lograr el aumento de la capacidad de producción reflejaremos que los costos disminuyen en consumo de energía hasta un 19% respecto al promedio de los últimos 6 meses.

Se tendrá que volver a capacitar y entrenar a los colaboradores ya que se implementaran en los procedimientos nuevos ítems que van a asegurar el funcionamiento correcto y mantener en óptimas condiciones a los equipos involucrados en el Circuito.

##### Metodológico:

El presente trabajo toma mucho en cuenta los antecedentes del problema, ya que de ello parte la idea, también se basa en información recopilada de nuestros equipos y de los manuales con los que contamos y de los parámetros de operacionales con los que contamos (fecha de lubricación, alineamiento de fajas, engrase de chancadoras y

zarandas, volteo de forros de muelas, cambio de forro de la chancadora cónica, cambio de polines, etc.).

#### Político:

La presente tesis muestra como una Empresa en el rubro minero metalúrgico en su afán y fin primordial de ampliar su circuito de conminución quiere asegurar la producción de su planta de procesamiento a fin de no dejarla desabastecida y asegurando la producción las 24 horas (2 turnos) , cumpliendo con las exigencias de las certificación internacional que se acredita para brindar el mejor y calidad a sus consumidores; así como también cumplir con las Normas Legales y Leyes que el Estado Peruano exige.

#### Social:

La presente tesis no solo promete ser beneficiosa para los trabajadores de la Empresa, sino también para otra empresa del rubro, quien tendrán alcance en temas de Optimización de Circuito de Chancado.

#### Económico:

La presente tesis se apoya en el Ms Project para ejecutar el calendario de actividades a realizarse una vez identificado que equipos necesitan ser modificados, se visualizaran los resultados en la reducción de costo de energía consumida antes y después de las modificaciones realizadas.

### **1.5 Delimitación:**

Está presente tesis se realiza en el distrito de Vista Alegre, Provincia de Nazca, departamento de Ica – Perú, año 2018. Estudia la Optimización del Circuito de Chancado de la Planta de Beneficio El Inka.

### **1.6 Viabilidad:**

Está presente tesis está financiada por el autor de dicho trabajo.

Los materiales que se usan son los siguientes:

- Libros referentes al tema.
- Manuales de equipos como chancadoras y zarandas.
- Formatos de inspección y registro de datos de-equipos.
- Reportes de balances metalúrgicos.
- Secadoras de muestras.
- Mallas.
- Estroboscopio.
- Cámara fotográfica.
- Cuaderno de apuntes

- Computadora con acceso a internet
- Manuales de los equipos que serán referidos
- Controles operacionales
- Flow Sheet del Circuito de Chancado

El tiempo que tarda realizar dicho trabajo consta de 3.5 meses según el Project elaborado.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación:**

#### **2.1.1 Investigaciones relacionadas con el estudio**

Gustavo Ademar Huayta Vasquez (2007). "AMPLIACIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE COLQUIRI" (que presentó y sustentó para obtener el título profesional de INGENIERO MECÁNICO). En la Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.

Pablo Venegas Flores (2009). "AMPLIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE MINA CONDESTABLE" (para obtener el título profesional de INGENIERO DE MINAS). En la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Néstor Jacinto Palomino Delgado (2004). "OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS Y OPERACIONES METALÚRGICOS EN COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C." (para obtener el título profesional de INGENIERO METALURGISTA). En la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

Manuel Marcial Muñoz Bernardo (2006). : "AMPLIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE LA UNIDAD MINERA CHUNGAR DE 2000 TMD A 3000 TMD" (: "AMPLIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE LA UNIDAD MINERA CHUNGAR DE 2000 TMD A 3000 TMD"). En la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

### **2.2 Bases Teóricas:**

#### **2.2.1 TRITURACIÓN**

Según (Nuñez, 1986, p59), la trituración es una operación en el procesamiento de minerales que consiste en la reducción de tamaño de rocas grandes a fragmentos de 1/4" a 3/8" utilizando fuerzas de compresión y en menor proporción fuerzas de fricción, flexión, cizallamiento u otras. Se realiza en máquinas que se mueven a velocidad medio o baja en las cuales se consume una apreciable proporción de energía produciendo calor y sonido, por lo que se consideraba que su eficiencia era muy baja respecto a las

eficiencias obtenidas en molienda. En 1950; Bergstrom encontró que esta tendencia era inversa, es decir que la trituración podía ser más eficiente que la molienda, al observar que la del ambiente de fragmentación era fundamental en la producción de finos. Así, al fragmentar esferas contenidas en gelatina y en aire, se obtuvo las distribuciones granulométricas indicadas en la figura 1.

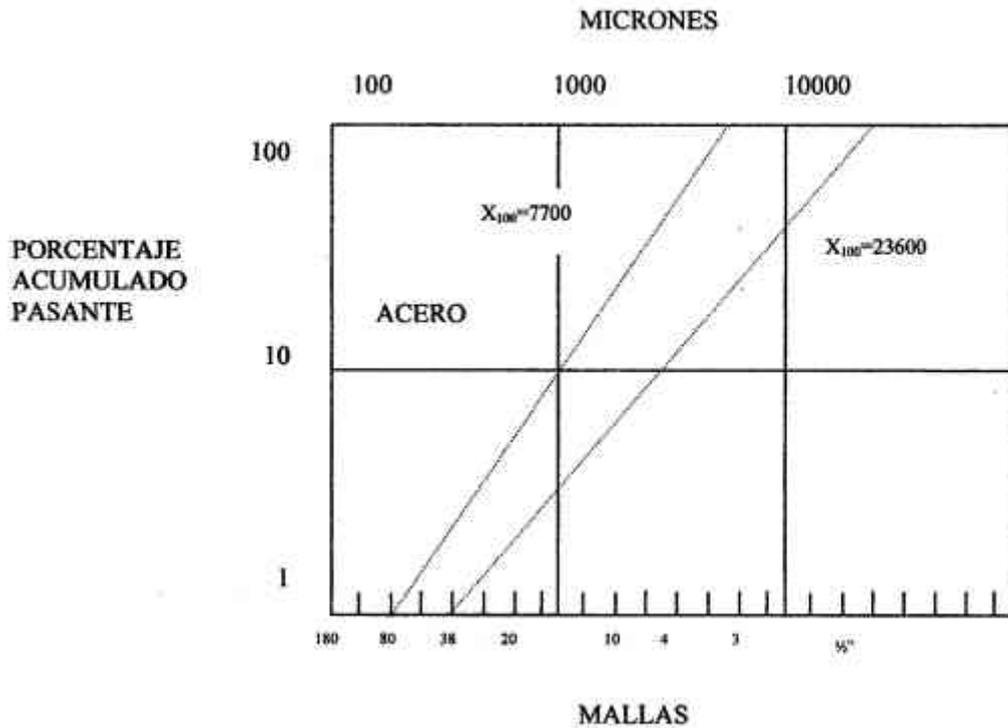


Figura 1: Granulometría de productos de la trituración de esferas de vidrio en ambientes de fragmentación constituidos por gelatina y aire (anillo de acero). Fuente: Quiroz Nuñez, Ingeniería metalúrgica.

Cuando el ambiente de fragmentación fue gelatina, que impidió que la partícula fracturada rebote en la cavidad de fragmentación, se obtuvieron productos gruesos (x100 mayores). Si el ambiente de fragmentación era aire; se producían fracturas secundarias al rebotar las fracciones de las partículas fracturadas en la cavidad de fragmentación obteniéndose de esta forma X100 menores (productos más finos). Durante la trituración se tienen condiciones similares a la ruptura en aire, mientras que en la molienda las condiciones son similares a la ruptura en gelatina que haría las veces del agua. Este hecho tan simple, cambia fundamentalmente los conceptos de reducción de tamaño ya que al ser la trituración más eficiente que la molienda, los circuitos de reducción deberán ser diseñados tratando de obtener productos los más finos posibles

en la trituración para luego en la molienda, poder reducir los elevados consumos energéticos, al trabajarse con radios de reducción menores (El radio de reducción es la relación entre el F80 de alimentación y el P80 del producto  $R = F80/P80$ ). De los conceptos anteriores se desprende que la trituración tiene una importancia mayor de la que se le asignó hasta hace algunos pocos años.

### 2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DE TRITURACIÓN

Según (Nuñez, 1986, p60), Los materiales alimentados a circuitos de trituración pueden ser tan grandes como de 5 pies y los productos tan finos como de malla 10. Para lograr estas reducciones se requieren de varias etapas que en forma simplificada se indican en la tabla 1.

Tabla 1: Etapas de trituración

ETAPA	TIPO DE TRITURADORA	TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN	TAMAÑO DE PRODUCTO	Rr
Primaria	De mandíbula, Giratorias	5'	6" - 4"	6 - 8
Secundaria	Cono estándar, Short Head	12"	4" - 3/4"	6 - 8
Terciaria	Short Head	6"	1" - 1/8"	4 - 6
Cuaternaria	Gyrasdisc	3"	1/2" a 20m	4 - 6

**Fuente: Quiroz Nuñez, Ingeniería metalúrgica, 1986, p60.**

Esta Clasificación es totalmente arbitraria ya que en plantas de pequeña minería generalmente se tiene sólo dos o tres etapas, aplicándose la cuaternaria cuando el mineral tiene un contenido de humedad lo suficientemente bajo para no producir obstrucciones. Igualmente, los tamaños de alimentación y productos varían para cada planta.

### 2.2.1.2 CRITERIOS MÍNIMOS SOBRE CHANCADORAS DE QUIJADA

Según (Manzaneda, 2005, p31), es una trituradora usada para una etapa de chancado primario, con un radio de reducción promedio entre 2 a 3. El principio de funcionamiento

es el siguiente: "Una polea de transmisión recibe el movimiento desde un motor, esta polea acciona el eje excéntrico que hace mover la muela móvil, acercando y alejando alternadamente hacia la muela fija, causando presión sobre el mineral que ingresa por la parte superior y se descarga por el set o separación entre muelas fija y móvil en la parte inferior". Entre las partes más importantes que presenta, están:

Eje excéntrico; el cual posee rodamientos que deben tener lubricación permanente. Hace posible la oscilación de la muela móvil hacia la fija. Son de mucha importancia los forros de las muelas que van asegurados con cuñas laterales (tanto en la parte superior como en la inferior de ambas muelas) porque es la superficie de contacto con el mineral, por lo que el material de fabricación será importante para el tiempo de duración.

El puente toggle, que es una placa de hierro que mantiene el ángulo de contacto de la muela móvil con la fija.

El cuidado de esta maquinaria consiste en evitar que ingresen material de hierro como: combas, picos o bolas que podrían quebrar la quijada o causar atoros que provocan paldas imprevistas. En la figura 2 se muestra una chancadora de quijada de la marca GATOR.



Figura 2: CHANCADORA DE QUIJADAS 10X39, MARCA GATOR.

### CAPACIDAD

Según (Manzaneda, 2005, p32), es el producto chancado que pasa el set de descarga por unidad de tiempo. Por este motivo, es afectada por la velocidad de alimentación, el carácter de la roca, humedad, carácter de la forma y superficie de los forros, ángulo de contacto entre muelas, reciprocancia de la muela móvil por minuto y radio de reducción del alimento.

Hersam propone un término que expresa las facilidades de chancado de determinada mena, considerando parámetros como la gravedad específica, considerando parámetros como la gravedad específica, consistencia y dureza. Resume estos aspectos en un Jacto de chancado ( $k'$ ) que se cita en la tabla 2

Tabla 2: Factor de chancado  $K'$  para determinada mena.

ROCA	FACTOR DE CHANCADO ( $K'$ )
CALIZAS	1.00
DOLOMITAS	1.00
ANDESITAS	0.90
GRANITO	0.90
GABRO	0.80
CUARCITA	0.80
RIOLITA	0.80
DIORITA	0.80
BASALTO	0.75
BASALTO	0.75
Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, p32.	

#### FACTOR HUMEDAD $K''$

Afecta no solo a la velocidad del circuito de chancado, también influye en todos los resultados de planta. Al tener un exceso de humedad, los operadores abren sets de chancadoras y aligeran cargas recirculantes con un producto más grueso a molienda.

Con toda seguridad, esto afecta los parámetros de flotación. Se indica que  $K''$  es 1.00 cuando el material es seco.

#### FACTOR DE ALIMENTACIÓN $K'''$

Depende del sistema de alimentación usado. La alimentación manual será efectiva que con alimentador de placas K". Vale 1.00 si el área de alimentación seta permanentemente copada. Para alimentador de placas el valor es de 0.75 a 0.85.

### TONELAJE DE REDUCCIÓN

Es el tonelaje efectivo que tritura la máquina. Se toma en cuenta el radio de reducción efectuado y además, para un diseño de equipo, debe considerarse la influencia de los factores de chancado, humedad y alimentación. Está expresado así:

$$Tr = T \times \frac{R80}{K^m K^n K^p}$$

Donde:

Tr =Tonelaje de diseño de chancadora de quijada

R80 =radio de reducción al 80%

K = factores de chancado, humedad y alimentación

T = tonelaje de mineral que se requiere chancar.

### POTENCIA REQUERIDA

Según (Manzaneda, 2005, p34), la chancadora de quijada no tiene un contacto de presión permanente con el mineral, se estima que pierde hasta un 50% de la energía entregada del motor.

La denominación de una chancadora de quijada se relaciona con las pulgadas del área de recepción de mineral. La tabla 3 es una lista de potencia de motores requeridos para determinadas chancadoras.

Tabla 3: Potencia de motores requeridos para determinadas chancadoras de mandíbulas:

CHANCADORAS	HP MOTOR
10X21	11 a 20

10X24	25
18X24	30 a 40
18X36	56 a 75
24X36	60 a 80
30X42	90 a 115
30X48	100 a 225
36X48	100 a 150
48X60	90 a 200
66X86	250 a 300
Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, p34.	

### DIMENSIONES BÁSICAS

Según (Manzaneda, 2005, p34), las dimensiones básicas son las aperturas de recepción en pulgadas. Si es el ancho de la quijada y G la separación entre forros de quijadas, entonces el área de recepción de mineral es L x G. Una relación normal entre ambos es 1.5: 1.0 y la mayor dimensión corresponde al ancho de la quijada en pulgadas.

### RELACIÓN ENTRE ÁREA DE RECEPCIÓN DE CHANCADORA Y MOTOR

Según (Manzaneda; 2005, p35), si no se cuenta con ningún tipo de catálogo, la siguiente es una buena aproximación de la potencia requerida por determinada chancadora de quijada. Ver tabla 4. Según cuadro del Manual de Taggart, Sec. 4 pág. 06.

Tabla 4: Potencia requerida para determinada chancadora de quijada

HP MOTOR	L X G
42	500
80	1000
115	1500
140	2000
165	2500
Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, pag.35.	

Considerando una relación X--Y (donde X es el HP del motor e Y es el área L x G), se establece una relación exponencial del tipo  $Y = CX^m$ ; la misma que transformada a recta y por mínimos cuadrados se determina que tiene la siguiente forma:

$$Hp = 0.21(L \times G)^{0.86}$$

La anterior será una buena aproximación, así una Chancadora se 24 x 36 debe tener un motor  $Hp = 0.21 (24 \times 36)^{0.86} = 70$ , que es un valor muy cercano al estimado por tablas.

### **2.2.1.3 CRITERIOS MÍNIMOS SOBRE CHANCADORAS SECUNDARIA GIRATORIA.**

Según (Manzaneda, 2005, p35), Son utilizadas en planta muy grandes para el chancado primario, secundario y el terciario. En plantas medianas y pequeñas se usan para chancados intermedios (chancado estándar) y productos finales (chancadoras cabeza corta).

De igual modo, se usan normalmente en circuitos cerrados con zarandas vibratorias conformando un circuito de chancado que actualmente (según la competencia del tipo de mineral) puede ser reemplazado por el sistema de molienda autógena donde la reducción es aprovechada por la consistencia del mineral para auto fragmentarse. En la Figura 3, se muestra una chancadora cónica de la serie HP de la marca METSO.



Figura 3: Chancado cónica serie HP, Metso.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Según (Manzaneda, 2005, p36), todas las chancadoras giratorias tienen un martillo o mantle que está soportado en un disco de bronce, el mismo que recibe el movimiento giratorio a través de una rueda dentada que encaja con el piñón cónico del contraeje principal y que recibe la transmisión desde un motor.

La parte inferior del mantle esta engastada en un cilindro de bronce en cuyo fondo tiene un orificio a un costado. De este modo, al quedar engastado, el mantle tiene un movimiento excéntrico de acercamiento y alejamiento de la parte fija denominada taza o bowl, quedando en su giro el mineral alimentado.

La superficie de contacto con el mineral, mantle y taza están protegidas con forros para evitar el contacto directo.

Estos forros son de aceros especiales y son fijados con babbit (aleación de estaño y zinc de bajo punto de fusión), en algunos casos usan pegamentos especiales.

La lubricación de las piezas móviles se realiza constantemente durante la operación de la chancadora. El sistema de bombeo está encajado en la transmisión del contraeje principal de modo que al arrancar la chancadora, inicia el bombeo de aceite para lubricación. La recirculación de aceite es hacia un tanque cuyo nivel es el control general de posibles fugas.

El contacto de aceite con mineral es una causa muy importante de pérdida de valores en flotación de sulfuros, por ello es importante prestar mucha atención a los estándares de consumo de aceite en el chancado.

Según (Nuñez, 1986, p69), la trituración en el caso de las trituradoras cónicas (Short Head, Symons, Gyradisc), ocurre por compresión, pero el cono viaja cerca de 05 veces más rápido que el cono de una giratoria igualmente, la amplitud de oscilación del cono puede llegar a sobrepasar 4 veces el valor de la abertura de descarga en posición cerrada. Estos dos aspectos, generan un mecanismo de trituración original, en el que el mineral luego de ser comprimido y triturado no cae directamente hacia la abertura de descarga, sino al cono según la siguiente secuencia. Ver figura 4.

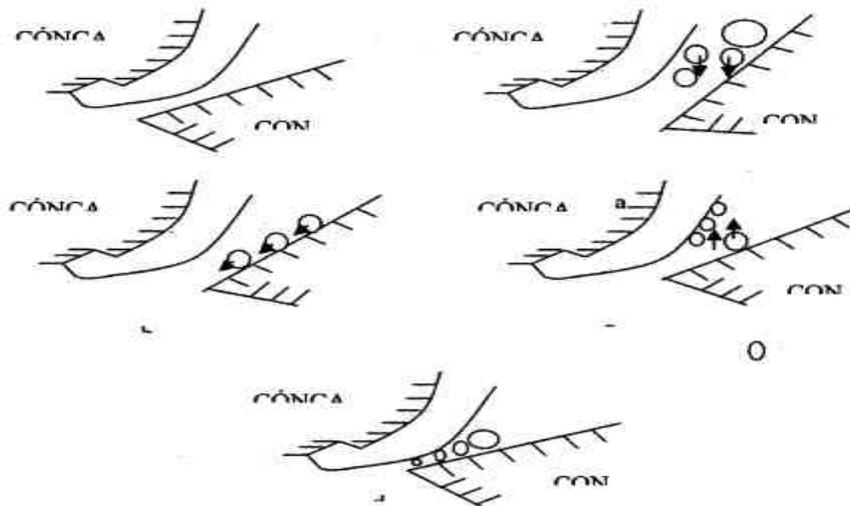


Figura 4: Proceso de trituración en una chancadora cónica.

Fuente: Quiroz Nuñez, Ingeniería metalúrgica

- a) Luego de una compresión, el cono se separa hacia la abajo con una aceleración mayor que la aceleración de la gravedad. Por esto, el material comprimido entre el cóncavo y el cono puede caer libremente.
- b) En una segunda fase el cono reduce su velocidad y es alcanzado por el material, el cual se desliza a lo largo de su pared.
- c) El cono se mueve en la tercera fase aceleradamente hacia arriba y proyecta el mineral hacia el cóncavo.
- d) Se inicia una nueva fase de compresión entre el cono y el cóncavo.

Este mecanismo origina un mayor tiempo de retención en la trituradora y produce reducción de tamaño por efectos secundarios, tales como choques de trazos impulsados contra las fases triturantes, originan una apreciable proporción de finos mejorando la eficiencia global de la trituración.

Se recomienda que la abertura de alimentación de las cónicas sea cuando menos tres veces mayor que la abertura de descarga en posición abierta (máxima oscilación) de la trituradora que se encuentra en la etapa de trituración inmediata anterior. Por ejemplo, si el producto de una trituradora inmediata anterior. Por ejemplo, si el producto de una trituradora de mandíbula es 8", la abertura de alimentación de la cónica secundaria no deberá ser menor a 24".

No se recomienda que 1as trituradoras trabajen con aberturas de descarga mínimas, ya que el desgaste se incrementa notablemente e igualmente la capacidad (tonelaje horario), cae en forma drástica.

### CAPACIDAD DE LAS TRITURADORAS CÓNICAS EN OPERACIÓN

Según (Nuñez, 1986, p70), generalmente el circuito de operación primaria es abierto en el caso de la trituración secundaria y/o terciaria. Los circuitos pueden ser abiertos o cerrados, y, en cada caso se tendrá una capacidad diferente, Así en la figura 2 se presenta tres formas de determinar la capacidad de las trituradoras según el circuito sea abierto o cerrado.

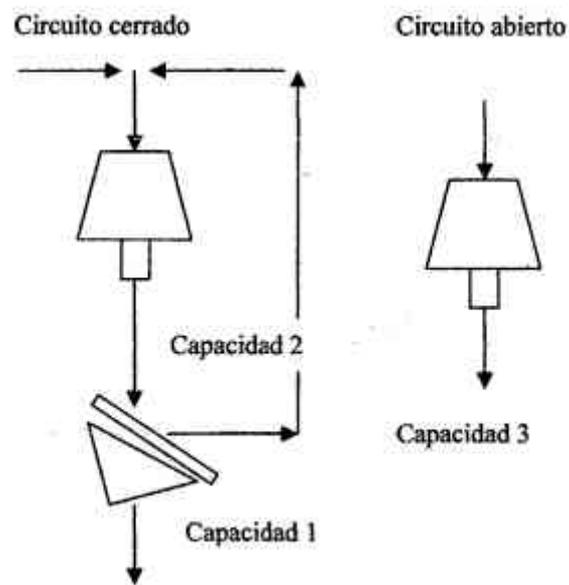


Figura 5: Capacidades de las trituradoras

Fuente: Quiroz Nuñez, Ingeniería Metalúrgica.

La capacidad 1, se refiere a la de un circuito cerrado de trituración que opera en estado estacionario y es igual al tonelaje fresco alimentado. Obsérvese que la capacidad del circuito dependerá del tamiz y su eficiencia.

La capacidad 2 se refiere, para el mismo circuito, exclusivamente a la capacidad de la trituradora que deberá procesar el alimento fresco y adicionalmente sobre el tamaño del tamiz (oversize).

La capacidad 3, es igualmente la capacidad de la trituradora. puesto que se trata de un circuito abierto.

Algunos de los factores que afectan estas capacidades son las siguientes (Según Motz, 1980, cap 11.).

### AUMENTAN LA CAPACIDAD DE LAS TRITURADORAS Y MEJORAN SU PERFORMANCE:

Según (Nuñez, 1986, p70):

Adecuada selección de la cavidad triturante como función de las características del material a ser triturado.

Adecuada distribución de tamaños en el alimento. Un exceso de finos, es decir, de tamaño menor a la descarga de la trituradora, resta la eficiencia de trituración por lo que es preferible tamizarlos si se exceden de 1 O 6 15 % del peso total.

Control en la velocidad de flujo de la alimentación, lo que se logre mediante tolvas reguladoras que. permiten evitar la intermitencia típica de la producción de material triturado en la etapa primaria. (Ver figura 2.5)

Distribución correcta de la alimentación a lo largo de los 360° de la cavidad triturante.

Dimensionamiento correcto de las fajas de transporte de la descarga para lograr un máximo de capacidad .de trituración.

Diseño adecuado de los tamices.

### DETERIORAN LA PERFORMANCE Y LA CAPACIDAD DE LAS TRITURADORAS

Según (Nuñez, 1986, p71):

Finos en el alimento

Exceso de humedad en la alimentación

Segregación de la alimentación, es decir alimentos intermitentemente-grosos o finos.

Alimentación inadecuada alrededor de la abertura de alimentación.

Mala clasificación en los tamices.

Ineficiente conexión de la potencia instalada

Operación de trituración a velocidades menores que las recomendadas

### POTENCIA REQUERIDA

Según (Manzaneda, 2005, p37), es una función exponencial de la dimensión básica, en este caso es el diámetro de recepción de la taza en pies. La tabla 5 expresa algunas características de mayor importancia en chancadoras giratorias:

Tabla 5. Características de chancadoras giratorias.

CHANCADORAS (diámetro de taza)	MOTOR HP	RPM	PESO lbs.
2.0´	20 a 25	700	10,000
3.0´	50 a 60	580	21,000
4.0´	75 a 100	485´	35,000
4.5´	125 a 150	485	45,000
5.5´	150 a 200	485	85,000
7.0	250 a 300	435	130,000

Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, p37.

### RELACIÓN DE POTENCIA Y DIMENSIONES BÁSICAS

Según (Manzaneda, 2005, p37), esta aproximación permite verificaciones rápidas de diseño, la función exponencial entre el diámetro (pies) de la taza y la potencia requerida de motor es:

$$\text{Diam.} = 0.36(\text{HP})^{0.53} \quad (2.3)$$

Esta relación fue lograda de manera similar que es el caso de las chancadoras de quijada. Otra relación de catálogo indica:

$$\text{Diam.} = 1.1 (\text{HP})^{0.25} \quad (2.4)$$

#### **2.2.1.4 SELECCIÓN DE TRITURADORAS**

Según (Nuñez, 1986, p73), Los circuitos de trituración son diseñados generalmente en base a la experiencia de los ingenieros y a datos de plantas pilotos. Básicamente tienen dos o tres etapas según se indicó en la sección anterior pudiendo intercalarse etapas

de tamizado que permiten cerrar circuitos o eliminar material fino que ingresaría innecesariamente a las trituradoras. Un circuito típico se muestra en la figura 6 y mediante él se explicará las consideraciones básicas que se debe tener en cuenta para seleccionar la trituradora adecuada para cada etapa.

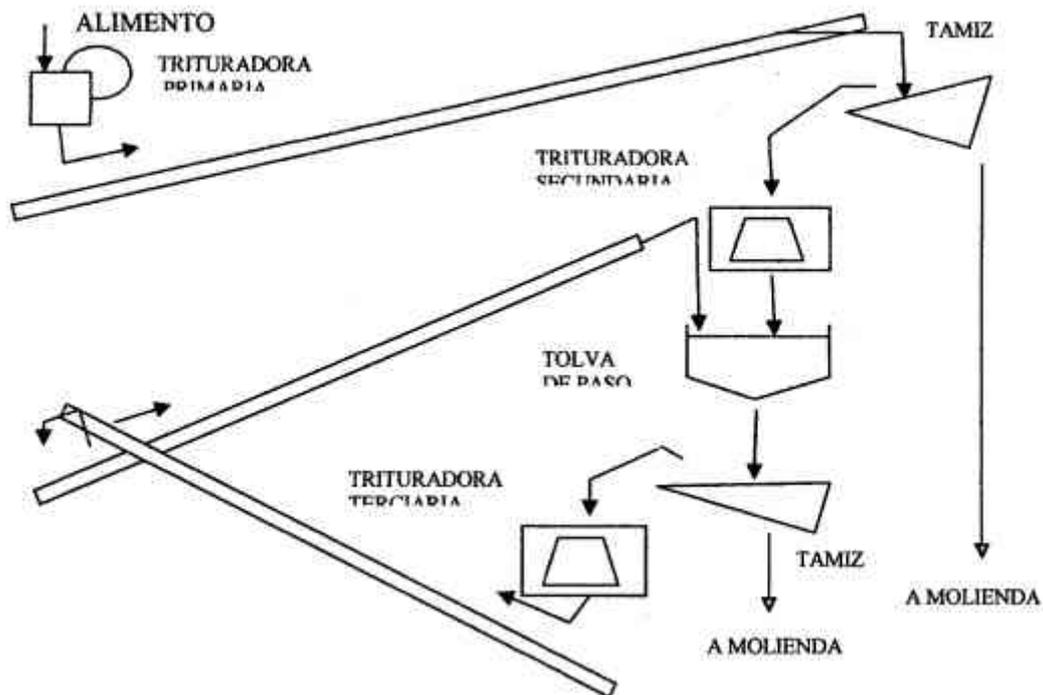


Figura 6: Circuito de trituración típico.

Fuente: Quiroz Nuñez, Ingeniería Metalúrgica.

### TRITURADORA PRIMARIA

Según (Nuñez, 1986, p74), Para esta etapa existe una regla básica, la cual es escoger preferentemente una trituradora de mandíbulas siempre que con la abertura de alimentación se tenga la capacidad requerida. Si se necesitara más de una trituradora de mandíbula, es preferible elegir una giratoria. De lo anterior se infiere que las trituradoras giratorias, serán utilizadas en operaciones de gran tonelaje. Complementando la regla enunciada; según (Taggart, 1954), se puede establecer una comparación con fines de selección, entre las trituradoras de mandíbulas y las giratorias en dos posibilidades.

Igualdad de capacidad, aberturas de alimentación y tamaño de productos. En este caso, si los requerimientos de capacidad de producción de mineral triturado caen dentro de los límites de la trituradora de mandíbula, esta tiene una ventaja indiscutible, ya que pesa la mitad y su costo es aproximadamente 1/3 del costo de una giratoria con una abertura de alimentación equivalente.

Igualdad de potencia instalada, en este caso la ventaja de la giratoria es indiscutible ya que la capacidad de producción de material triturado es, de hasta 3.5 veces mayor que el de una de mandíbula.

Algunas otras ventajas o desventajas se citan a continuación:

La forma rectangular de la abertura de alimentación facilita la alimentación de rocas grandes.

Tienen superficies triturantes (forros de las mandíbulas) que pueden ser reversibles lo que permite su uso por mayores periodos de tiempo. Esto compensa el hecho de que consuma más acero que las trituradoras giratorias.

Tienen piezas adecuadas de ruptura (toggles) en su mecanismo de transmisión de esfuerzos, lo que simplifica su mantenimiento.

La alimentación a estas trituradoras debe ser regulada por algún mecanismo de manera que sea continua y no intermitente.

El costo de instalación es menor que el de una trituradora giratoria.

Requieren una potencia para trabajo en vacío bastante alta (del 45% - 50% de la energía total).

Son ideales para triturar materiales muy duros y resistentes como ferroaleaciones y abrasivos.

Las aberturas de descarga pueden ser reguladas de forma simple.

## TRITURADORA SECUNDARIA

Según (Nuñez, 1986, p75), como se aprecia en la figura 6, la trituración secundaria propiamente dicha puede realizarse después de tamizar el producto de la trituradora primaria, si es que este tiene más del 10 -15 % del peso alimentado a la etapa secundaria con una granulometría inferior a lo que sería el tamaño máximo de la descarga de la trituradora secundaria.

En caso contrario, todo el producto de la trituración primaria deberá pasar a través de la trituradora secundaria, la cual en la mayoría de los casos es una cónica en cualquiera de sus variaciones.

## TRITURACIÓN TERCIARIA

Según (Nuñez, 1986, p75), en una gran mayoría de plantas concentradoras; la terciaria es la última etapa de trituración y generalmente trabaja en circuito cerrado con un tamiz que además puede recibir el undersize del tamiz secundario (En algunos casos este undersize pasa directamente a molienda, ver figura 6).

El circuito cerrado permite una alimentación homogénea a la molienda, la trituración terciaria se realiza mediante maquinas del tipo short head.

### 2.2.2 TAMIZADO INDUSTRIAL

Según (Nuñez, 1986, p91 ), el tamizado es la separación por el tamaño o por el volumen de un conjunto de partículas en dos o más fracciones. Constituye una operación unitaria esencial en los procesos de concentración de minerales, especialmente durante la trituración, donde actúa como etapa controlante en la eliminación de material menor a cierta dimensión, que no requiere de reducción adicional y se encuentra preparado en tamaño para una etapa siguiente.

También tiene importantes aplicaciones durante la molienda de minerales friables y de alta densidad como la casiterita, wolframita y galena, en la eliminación de lamas en circuitos de trituración alimentados por minerales alimentados con alto porcentaje de humedad y en el desaguado de pulpas conteniendo partículas de tamaño medio.

La inclinación de la superficie en su movimiento, hará que el material fluya y al mismo tiempo sufra una estratificación en la que las partículas grandes se sitúen en la parte superior, mientras que las finas pasarán el lecho de partículas gruesas por los espacios vacíos y llegaran a la superficie del tamiz atravesándola si las aberturas son mayores en ellas. Esta acción origina dos productos, uno de partículas más gruesas que la abertura del tamiz, llamada rechazo u overzise y otro de partículas de tamaño menor a la abertura llamada pasante o undersize.

En la figura 7 se explica gráficamente el fenómeno; se aprecia que en la primera sección del tamiz se produce la estratificación y el tamizado no es efectivo. En la segunda zona es donde la separación entre rechazos y pasantes es más efectiva, mientras que, en la tercera zona, las partículas tienen mayor dificultad para ser tamizadas debido a que se encuentran mucho más cerca en tamaño, a la abertura del tamiz siendo su probabilidad de atravesarla mucho menor. Esta zona es la que determina el tamaño de corte del tamiz y su eficiencia.

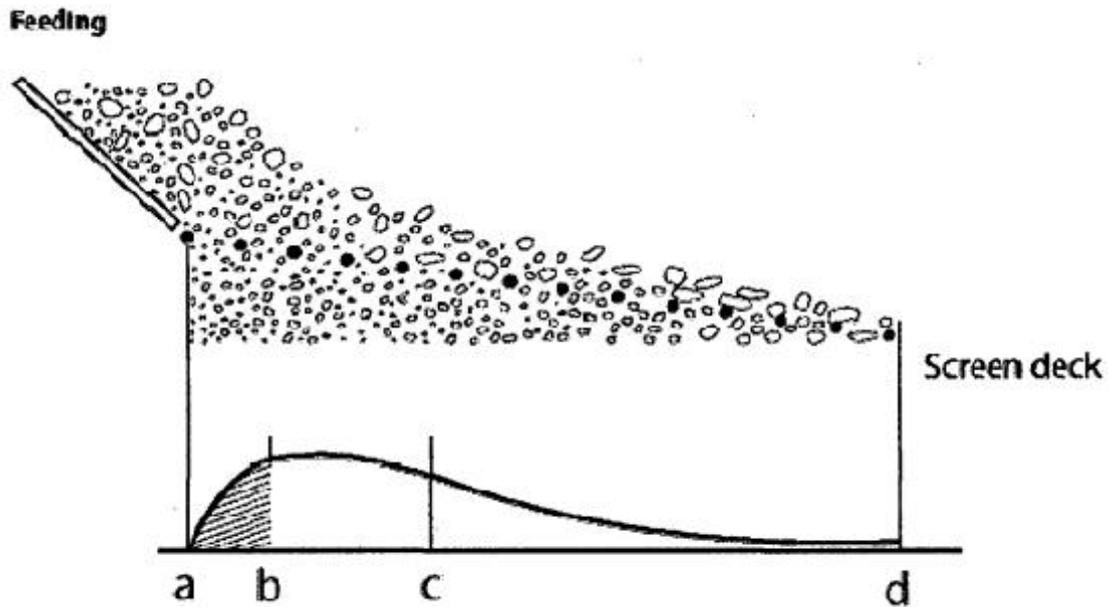


Figura 7: Estratificación durante el tamizado

Fuente: Metso Minerals, Manual de Trituración y Cribado.

Según (Nuñez, 1986, p92), la estratificación solo puede ser efectiva si la altura de la cama de material sobre el tamiz, es adecuada. Una altura excesiva, produce deterioro en la eficiencia del tamiz. En forma práctica, se recomienda que la altura en la descarga del tamiz no sea mayor a cuatro veces la abertura para material de densidad 1 00 lb/pie<sup>3</sup> y de tres veces para material de densidad 50lb/pie<sup>3</sup> . Esta recomendación es de carácter general ya que si el material contiene una apreciable proporción de finos, que no presentan problemas durante el tamizado, la altura puede ser mucho mayor.

A pesar de los progresos que se ha logrado en la comprensión de los fenómenos de tamizado, esta operación aún constituye más un arte que una ciencia principalmente a la infinita variedad de materiales que deben ser tratados; de sus características mineralógicas y de sus distribuciones granulométricas.

### TIPOS DE TAMICES

Según (Nuñez, 1986, p92), en forma general, los tamices pueden ser clasificados en dos tipos:

Tamices fijos, en los cuales las partículas toman contacto con la superficie debido a su pendiente.

Tamices dinámicos, en los cuales se favorece la estratificación de las partículas mediante el movimiento de las superficies tamizante. Son los tamices que mayor aplicación encuentran en el procesamiento de minerales; es tan constituidos por telas metálicas o placas perforada, montadas sobre armazones que vibran a gran velocidad (1000 a 3600 ciclos por minuto), con oscilaciones desde 1/8" á 1/2" (fue originan movimientos circulares, elípticos o de vaivén en un plano oblicuo a la superficie del tamiz. El movimiento permite que -las partículas puedan estratificarse y entrar en contacto con la superficie tamizante y al mismo tiempo que le material pueda avanzar sobre la superficie.

De acuerdo a su disposición respecto a la horizontal, los tamices vibratorios se clasifican en:

Horizontales, en los cuales el movimiento de la superficie tamizante ocurre en una dirección oblicua a sus superficies (ver figura 8), Este movimiento produce le avance del material; se utilizan en operaciones de desaguado.

Inclinados, en los cuales el movimiento de la superficie tamizante se encuentra instalada con una pendiente que puede oscilar entre 15° y 35°. La inclinación juntamente con el movimiento elíptico o circular del tamiz originan un desplazamiento que se ilustra gráficamente en la figura 9.

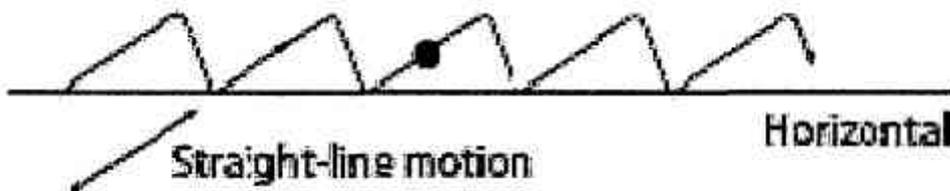


Figura 8: Tamices horizontales

Fuente: Metso Minerals, Manual de trituración y Cribado .

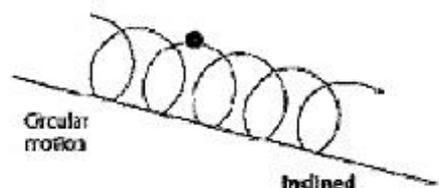


Figura 9: Tamices inclinados

Fuente: Metso Minerals, Manual de Trituración y Cribado.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Según (Manzaneda, 2005, p39), es una malla montada en un bastidor, que puede o no tener inclinación, sostenida por un juego de resortes, dotado de un movimiento vibratorio de gran frecuencia y poca amplitud causada por un eje excéntrico que recibe transmisión de movimiento por un motoreductor.

Cualquiera que fuera el sistema excéntrico que produce la vibración, un aspecto de suma importancia es tener la posibilidad de variar frecuencias y amplitudes de vibración.

El número de pisos puede ser más de uno. En caso de haber varios el primero será el superior, tiene la mayor apertura, el orden de pisos hacia abajo. Los rechazos de cada piso podrían tener diferentes destinos según su calidad y tamaño: En la Figura 10, se observa el principio de funcionamiento.

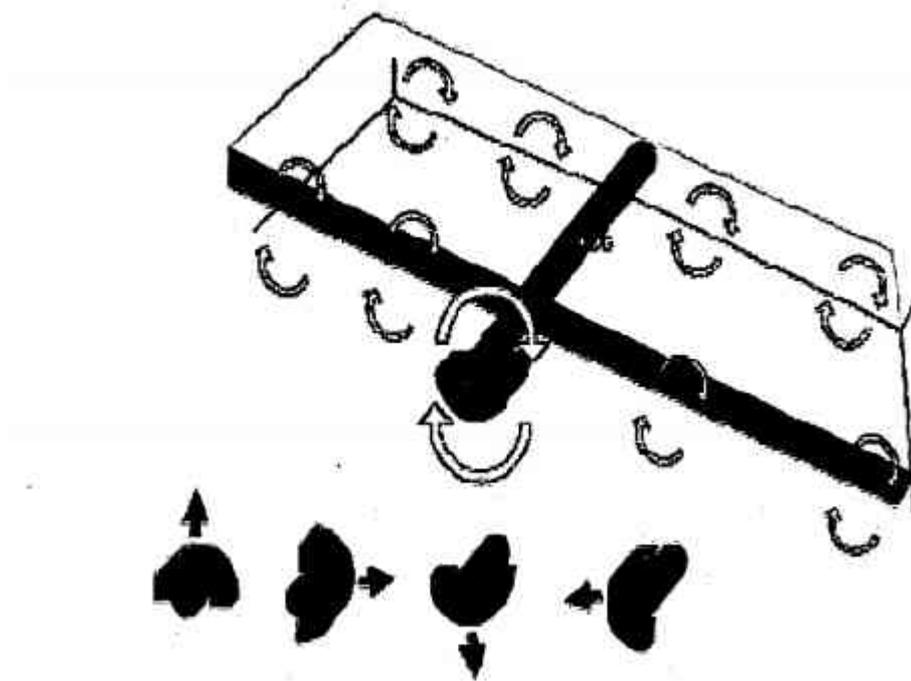


Figura 10: Principio de funcionamiento

Fuente: Metso Minerals, Manual de trituración y Cribado.

## INCLINACIÓN DE ZARANDA

Según (Manzaneda, 2005, p39), podría ser necesaria para garantizar la fluidez de la carga. La inclinación depende de la granulometría y humedad del mineral, alimentaciones gruesas · podrían requerir mayor inclinación que las aplicadas en productos finos.

Ayuda en la clasificación el sentido de rotación de la excéntrica; en sentido contrario al avance de la carga, podría ser mayor el tiempo-de de permanencia y mayor la eficiencia de clasificación.

En cuanto a la humedad del mineral, si hay mucho material arcilloso es probable que se requiera de una clasificación en húmedo con ayuda de chisguetes de agua a presión. La pulpa generada alimenta un clasificador helicoidal que opera en circuito cerrado, retornando las arenas al punto correspondiente del chancado y los finos, generalmente a flotación.

## SUPERFICIES TAMIZANTES O MALLAS

Según (Manzaneda, 2005, p40), la aplicación en minería es mediante mallas tejidas de alambre y planchas perforadas. de caucho. Las primeras, pueden ser reparadas en las zonas de· desgaste; las otras, reemplazando un plano necesariamente. Los huecos pueden ser cuadrados, rectangulares o redondos. La duración de las mallas perforadas es mayor que las de alambre tejido, pero el costo de las primeras es mayor.

## CAPACIDAD DE UNA ZARANDA VIBRATORIA

Según (Manzaneda, 2005, p40), es el rateen toneladas de mineral que rinde satisfactoriamente el tamaño deseado de separación; por tanto, el tamaño de partícula que pasa el tamiz debe ser en tonelaje, similar al requerimiento de la capacidad de molienda.

La fracción gruesa que es rechazada y enviada a chancado para su reducción, se considera carga recirculante.

## EFICIENCIA DE CLASIFICACIÓN

Según (Manzaneda, 2005, p40), la definición más precisa es la referida a la relación entre el material fino pasante y el material fino contenido en alimentación a la zaranda; se estima por análisis granulométrico.

La eficiencia de clasificación no alcanza a 100%; un buen rango será entre 60 a 70 %.  
 La relación matemática que sintetiza el criterio de eficiencia es el siguiente:

$$E = \frac{10,000(e-v)}{e(100-v)} \quad (2.5)$$

Donde:

E = Eficiencia de clasificación

e = % de peso del material clasificable en la alimentación

v = % en peso del material clasificable en el rechazo

El punto de costo referencial es la apertura del tamiz, los tamaños mayores en la alimentación estarán representados en porcentaje en peso por "e", y "v" serán los correspondientes en el rechazo del tamiz.

### CARGAS CIRCULANTES EN TAMIZADO

Según (Manzaneda, 2005, p41), el criterio de carga circulante en zarandas significa: El peso rechazado como grueso, relacionado al peso de alimentación fresca al circuito.

$$\text{Carga Circulante} = \frac{\text{Peso rechazado}}{\text{Peso alimentado}} = \frac{R}{F} \quad (2.6)$$

Para estimar el peso de carga que está recirculando (R) es necesario analizar el criterio de eficiencia de clasificación  $\epsilon$ , que como sabemos significa:

$$E = \frac{\text{Material clasificado}}{\text{Material clasificable}} \quad (2.7)$$

$$\text{Luego: } 1 - E = \frac{\text{Material clasificable pero rechazado}}{\text{Material clasificable en el alimento}} \quad (2.8)$$

### DIMENSIONAMIENTO DE TAMICES:

(Metso Minerals, 2017)

Se selecciona el tamaño de la criba basándose en el área de cribado.

#### CALCULO DEL ÁREA -DE CRIBADO:

El área de cribado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Area = \frac{Q_u}{Q_{spec}} \cdot S [m^2] \quad (2.9)$$

Donde;  $Q_u$  es la cantidad (t/h) de partículas subdimensionadas en la alimentación.

$Q_{spec}$  = Capacidad específica de cribado.

$S$  = Factor de fuente asumir valores entre 1 y 1.4, siendo una función del conocimiento y confianza que se tenga en los datos disponibles sobre el material a ser cribado.

En planta de minería donde los datos de material, tamaño de la abertura de la malla de cribado y capacidad son muy bien conocidos y fiables se puede adoptar un factor  $S$  de 1.

$$Q_{spec} = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G \cdot H \cdot I \cdot J \cdot K \cdot L \quad (2.10)$$

Donde;

$A$  = capacidad básica para la separación requerida en toneladas métricas por hora y metro cuadrado del área de la criba.

$B$  = Factor dependiente del porcentaje de material retenido.

$C$  = Factor relacionado con el porcentaje en la alimentación de material con tamaño inferior a la mitad del tamaño de separación requerido.

$D$  = Posición del piso.

$E$  = Cribado en húmedo.

$F$  = Peso del material.

$G$  = Área abierta de la superficie de cribado.

H = Forma de la abertura de malla.

I = Forma de las partículas.

J = Eficiencia.

K = Tipo de criba

L = Humedad.



Figura 11 (a): Capacidad básica para la separación requerida para separaciones menores a 25 mm

Fuente: Metso Minerals, Manual de Trituración y Cribado.

Tamaño de producto	Tipo de malla y forma de la abertura			
	Metálica / cuadrada	Metálica / rectangular (1/3)	Plástico, goma, placa de acero /cuadrada	Plástico, goma, placa de acero/ rectangular (1/3)
mm	mm	mm	mm	mm
2	3	1,5 x 5	4,5	7 x 6
3	4	2 x 6	6	2,5 x 8
4	5	3 x 9	7	4 x 11
5	6,5	4 x 12	8,5	5 x 15
6	8	5 x 15	9,5	6 x 18
8	10	6 x 18	12	8 x 24
10	12,5	8 x 24	14,5	10 x 30
12	15	9,4 x 30	17	12 x 36
14	17	11 x 33	19	14 x 42
16	19	12 x 36	21,5	16,5 x 50
18	21	13,5 x 40	23,5	18,5 x 58
20	23	15 x 45	25,5	21 x 60
22	25	16,5 x 50	27	22 x 65
24	27	18 x 54	31	24 x 70
26	30	19,5 x 60	34	26 x 75
28	32,5	21 x 63	36,5	28 x 85
30	35	22,5 x 70	39	31 x 90
32	37		41	
34	40		44	
36	42		48	
40	50		50	
44	51		55	
48	56		59	
52	60		65	
56	65		70	
60	70		75	
64	75		80	
68	80		85	
72	84		90	
76	88		94	
80	94		100	
84	98		105	
88	103		110	
92	107		115	

100	117		125
-----	-----	--	-----

Para pulgadas dividir por 25,4

Tabla 6: Relación aproximada entre el tamaño de producto y abertura de malla de la criba.

Fuente: Metso\_Minerals, Manual de Trituración y Cribado.

Malla	Tipo ligero			Tipo Estándar			Tipo pesado		
	Alambre	Peso de la malla kg/m <sup>2</sup>	Abertura libra-%	Alambre	Peso de la malla kg/m <sup>2</sup>	Abertura libra-%	Alambre	Peso de la malla kg/m <sup>2</sup>	Abertura libra-%
3	1,2	4,4	51	1,6	7,1	43	1,8	8,6	39
4	1,6	5,8	51	2,0	8,5	44	2,5	12,2	38
5	2,0	7,3	51	2,5	10,8	44	3,0	14,3	39
6	2,0	6,4	56	2,5	9,3	50	3,0	12,7	44
8	2,0	5,1	64	2,5	7,6	58	3,0	10,4	53
10	3,0	8,8	59	3,5	11,5	55	4,0	14,5	51
12	2,5	5,5	69	3,0	7,8	64	4,0	12,7	56
14	2,5	4,8	72	3,5	8,9	64	4,5	13,9	57
16	3,0	6,0	71	4,0	10,2	64	5,0	15,1	58
19	4,0	8,8	68	5,0	13,2	63	6,0	18,3	58
22	4,0	7,8	72	5,0	11,8	66	6,0	16,3	62
25	4,0	7,1	74	5,0	11,0	70	6,0	14,8	65
28	5,0	9,5	72	6,0	13,3	68	8,0	22,1	60
32	5,0	8,6	75	6,0	12,0	71	8,0	20,5	64
36	5,0	7,7	77	6,0	10,7	73	8,0	18,2	67
40	6,0	9,8	76	8,0	16,6	70	10,0	25,9	64
45	6,0	8,9	78	8,0	13,0	72	10,0	23,4	67
50	6,0	8,0	80	8,0	14,2	74	10,0	20,9	70
56	8,0	12,8	77	10,0	19,7	72	12,0	26,6	68
63	8,0	11,9	79	10,0	17,3	75	12,0	24,9	71
71	10,0	16,0	77	12,0	23,1	73	15,0	33,5	68

Figura 12: Alambres recomendados y aberturas de mallas.

Fuente: Metso Minerals, Manual de Trituración y Cribado.

### **2.2.3 FAJAS TRANSPORTADORAS**

Según (Manzaneda, 2005, p21), es un sistema compuesto por una faja continua que pasa sobre dos poleas, una denominada de cabeza y la otra de cola. Todo el sistema es soportado en un bastidor de fierro con polines guías, de retorno y de avance, que están convenientemente separados. La descarga del mineral es por la polea de cabeza. Pueden ser horizontales o inclinadas dependiendo del servicio que presten. Se muestra una faja transportadora en la Figura 2.18.



Figura 13: Faja transportadora

Fuente: Elaboración propia.

## MATERIAL DE LA FAJA

Según (Manzaneda, 2005, p21), las fajas pueden ser de lona y jebe en varios pliegues, algunas veces entre pliegue llevan un alma de acero. La duración de la faja depende tanto del material como del cuidado de operación. En general una faja de menor longitud dura más que una larga; la que lleva material fino dura más de la que lleva material grueso; a mayor velocidad las fajas duran menos; también la duración depende del sistema de alimentación y descarga.

## POLINES

Según (Manzaneda, 2005, p21), son rodillos sobre los cuales se apoya la faja, generalmente los de mejor calidad tienen una superficie recubierta de lona. Son de tres tipos:

Polines de avance; Es un conjunto compuesto por tres polines pequeños: uno central horizontal y los laterales inclinados 20 grados. Esta disposición incrementa la capacidad de acarreo por la curvatura que proporcionan a la faja, el Conjunto de POLI N DE AVANCE es un bastidor de fierro que está fijado a la estructura de soporte general de la faja.

Polines de retorno, Son los que soportan a la faja durante su retorno. Son de forma cilíndrica, cubiertos con lona y es una sola pieza que está fijada a la estructura de soporte de faja mediante ejes laterales.

Polines guía, Son polines del mismo tamaño que los de avance, pero son de una sola pieza colocada verticalmente. en la zona lateral, al borde de la faja. Se colocan alternadamente en ambos bordes de la faja.

## POLEAS

Según (Manzaneda, 2005, p22), son cilindros que transmiten el movimiento a la faja. Está conformada por dos: el de cabeza y el de cola; 1a primera recibe generalmente la transmisión de movimiento desde un motoreductor por un sistema de cadena y piñón dentado.

El diámetro de ambas poleas es igual. La recomendación indica que el diámetro será entre 1 S a 24 pulgadas si la longitud de faja es entre 100 y 200 pies; y de 30 a 36

pulgadas para fajas de mayor longitud. La longitud del cilindro de la polea debe medir dos pulgadas más que el ancho de la faja.

### ANCHO DE LA FAJA TRANSPORTADORA

·Según (Manzaneda, .2005, p22), está en función de la capacidad que es necesario transportar por la granulometría del material y la velocidad recomendada. Ver tabla 2.6.

El ancho mínimo es de 14 pulgadas, y el sistema de carga no debe ser mayor a 2/3 del ancho de la faja, el ancho máximo en el mercado es 60°. El siguiente es un cuadro resumen para un criterio aproximado respecto del ancho de faja.

Tabla 7: Ancho de faja según la capacidad y tamaño de partícula.

ANCHO DE FAJAS (pulgadas)	CAPACIDAD Toneladas/hora (100 pies/min)	TAMAÑO DE PARTICULAS (pulgadas)
12	3 a 17	2.0
14	3 a 29	2.5
16	16 a 53	3.0
18	22 a 92	4.0
24	14 a 145	8.0
30	17 a 200	14.0
36	80 a 290	18.0
48	157 a 450	24.0
60	240 <sup>a</sup> 293	30.0
Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, p23.		

### CAPACIDAD DE FAJA TRANSPORTADORA

Según (Manzaneda, 2005, p23), la capacidad de una faja transportadora depende de su ancho, su velocidad, inclinación; tamaño, peso específico y el ángulo de reposo del material a transportar. Una relación muy aproximada para determinar el ancho necesario, está relacionada a la capacidad requerida:

$$V = KW^2$$

(2.11)

Donde:

V = pies cúbicos/hora alimentados a 1 00 pies/minuto

W = ancho de faja en pulgadas

K= constante 3.14 para fajas de 14", 4.11 para 60".

Según (Flores, 2005, p21), el caudal horario de material que es capaz de transportar una cinta se calcula con la expresión:

$$Q_v \left( \frac{m^3}{h} \right) = 3600 \cdot S \cdot v \cdot K \quad (2.12)$$

Ó

$$Q_m \left( \frac{t}{h} \right) = 3600 \cdot S \cdot v \cdot K \cdot \rho \quad (2.13)$$

Donde;

S= Área de la sección transversal de la carga (m<sup>2</sup>).

v=Velocidad de transporte (m/s) K= Coeficiente de reducción según la inclinación de la cinta. Ver Tab1a2.7.

p =Densidad del material suelto (t/m<sup>3</sup>).

La sección "S" queda definida por las dimensiones reflejadas en la Figura 2.19.

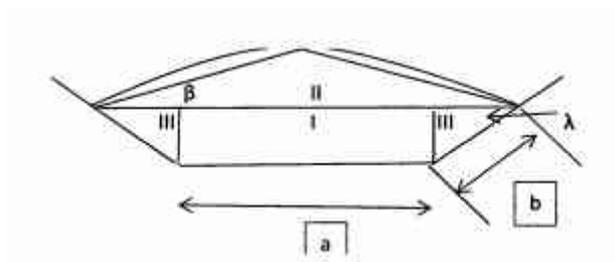


Figura 14: Sección "S" de material transportado en una banda.

Fuente:- Flores, Manual de Cálculo y Selección de Cintas Transportadoras.

En dicha sección se tiene una serie de áreas parciales cuya suma es:

$$S = S_I + S_{II} + 2S_{III} \quad (2.14)$$

De Donde se obtiene:

$$S = a \cdot b \cdot \text{sen}\lambda + b^2 \cdot \text{sen}\lambda \cdot \text{cos}\lambda + \frac{(a+2b \cdot \text{cos}\lambda)^2}{4} \cdot \text{tan}\beta \quad (2.15)$$

Donde:

a= longitud del rodillo central (m)

b = longitud de trabajo de los rodillos laterales (m)

A= Ángulo de artesa. los ángulos utilizados son: 20°, 25°, 30°, 35°, 40° y

J3 = Ángulo de talud dinámico del material. Este se determina en función del. ángulo de reposo del material según la Tabla 2.8.

Tabla 8: Valores de "K" según ángulo de cinta.

ANGULO DE LA CINTA ASCENDENTE/DESCENDENTE (Grados)	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (K)
2	1
4	0,99
6	0,98
8	0,97
10	0,95
12	0,93
14	0,91
16	0,89
18	0,85
20	0,81
21	0,78
22	0,76
23	0,73
24	0,71
25	0,68
26	0,66
27	0,64
28	0,61
29	0,59
30	0,56

Fuente: Flores, Manual de Cálculo y Selección de Cintas Transportadora

Tabla 9: En función del ángulo de reposo.

	ÁNGULO DE REPOSO
5°	0 – 20 °
10°	20 – 30°
20°	30 – 34°
25°	35 – 40°
30°	40°

Fuente: Flores, Manual de Cálculo y Selección de Cintas Transportadoras

## VELOCIDAD DE FAJA TRANSPORTADORA.

Según (Manzaneda, 2005, p24), depende del tamaño de las partículas, el ancho de faja y pendiente de inclinación, pero existe un criterio de velocidad límite. "Es aquella a la cual el material está siendo transportado y es desplazado en la faja por la resistencia del aire".

Las velocidades mínimas recomendadas son entre 100' a 150 pies por minuto, la máxima (400 pies/minuto) no es muy recomendable por la menor duración de los polines.

En la práctica la velocidad de faja es importante para calcular el tonelaje/hora acarreado y se estima haciendo varias mediciones del tiempo que tarda en recorrer una distancia prefijada, o también midiendo las revoluciones de la polea por polea por minuto.

Es un asunto importante en las secciones de molienda conocer las velocidades de faja ya que un cambio de piñón con diferente número de dientes altera la velocidad y podría desequilibrar una operación controlada.

## INCLINACIÓN DE FAJA TRANSPORTADORA

Según (Manzaneda, 2005, p24), el máximo permisible varía con el tamaño de partícula, sistema de carga, velocidad, ángulo de reposo y humedad del material. Como recomendación, la tabla 2.9 es útil para estimar posibilidades de inclinación de faja:

Tabla 10: Posibilidades de inclinación de faja.

<b>MATERIAL</b>	<b>Pendiente de grados</b>	<b>Pulg/pie longitud de</b>
CEMENTO	20	1.3/8
ARCILLA	23	5.5/32
CARBÓN COQUE	20	4.3/8
PIEDRA CHANCADA	18	3.7/8
CONCRETO HÚMEDO	15	3.1/32
GRAVAS	18	3.7/8
GRAVA TAMIZADA	15	3.7/32
MENA CHANCADA	20	4.3/8
ARENA SECA	15	3.7/32

En la práctica la inclinación de la faja debe ser por lo menos 15 grados menos que el ángulo de reposo del material a transportar.

### PESO DE FAJA

Según (Manzaneda, 2005, p26), los pedidos de stock se hacen en peso; la tabla 2.10 puede guiarnos al respecto:

Tabla 11: Libras por pie de longitud y pulgadas de ancho.

PLIEGUES	LONA DE 28 Ozs.	LONA DE 32 Ozs.
4	0.180	0.190
5	0.201	0.214
6	0.255	0.240
7	0.247	0.266

*Fuente: Manzaneda, Procesamiento de minerales, 2005, p25.*

La lona que se indica, es la que va entre pliegue y pliegue.

### POTENCIA DEL MOTOR PARA UNA FAJA.

Según (Manzaneda, 2005, p26), es necesario tener un criterio práctico para confirmar - el tamaño del motor necesario. El más común es el siguiente:

$$Hp = \frac{LSd (X+Y+33\frac{T}{S})}{100000 D} \quad (2.16)$$

Donde:

L =Longitud en pies de polea a polea

S = Velocidad en pies/minuto D = diámetro de polines en pulgadas

D = diámetro de polea de cabeza en pulgadas

Y = peso en libras de 2 pies de faja

T = Toneladas/hora de carga

X = peso de polines por pie de longitud de faja

## MUESTREO Y PESADO DE MINERALES

Según (Rivera; 2003, p68):

Para determinar la composición química, la distribución de tamaños y los flujos de alimentación, es necesario tomar una muestra representativa.

Los métodos de muestreo de pilas de almacenamiento y transportadores a granel están reglamentados por las normas.

El tamaño mínimo de --las muestras para investigación de laboratorio se puede determinar con la ayuda de la figura 15.

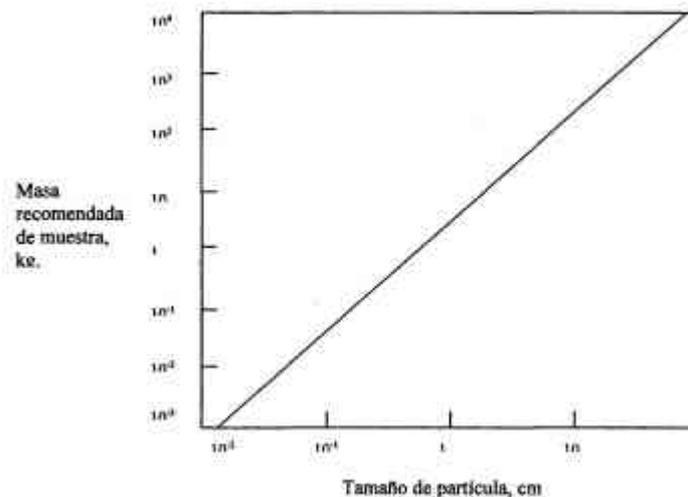


Figura 15: Cantidad mínima recomendada de muestra basada en el tamaño mayor de partícula. (Según Taggart).

Fuente: Rivera, Compendio de conminución, 2003, p68

### TOMA DE MUESTRAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Según (Rivera, 2003, p68):

El balance de metalúrgico se calcula con peso de minerales si considerar su contenido de humedad.

Las muestras para la determinación de la humedad--se toman al final de la faja transportadora después de que el material ha pasado por-el dispositivo de pesado.

Las muestras húmedas se deben de pesar y secar inmediatamente a temperaturas menores de 105°C y pesarlas nuevamente.

El contenido de humedad se calcula con la relación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100 \quad (2.23)$$

### 2.3 Definición de términos básicos

El presente trabajo de investigación se compone de una variable dependiente que es configuración del circuito de chancado y la variable independiente incremento de producción.

#### Configuración del circuito de chancado.

La configuración del circuito de chancado consiste en definir y/o modificar las posiciones y dimensiones de componentes del circuito de chancado. Sus dimensiones son: Chancadoras, transportadores y clasificadores del circuito.

Chancadoras: -Son equipos encargados de la trituración del mineral, pueden ser de mandíbulas o cónicas, las de mandíbulas utilizadas como chancadoras primarias y las cónicas como secundarias, terciarias e incluso cuaternarias.

Clasificadores: Son quipos que mediante un movimiento oscilatorio clasifican el mineral según el tamaño a través de mallas, esta clasificación evita la sobrecarga en circuitos aguas abajo o determina el tamaño de mineral para la sección molienda en un circuito cerrado.

Fajas transportadoras: Son las encargadas del traslado del material de un punto a otro del circuito.

#### Incremento de producción.

El incremento de producción consiste en lograr- que le circuito de chancado trate el mineral necesario para la nueva demanda de la planta concentradora. Sus dimensiones son: Capacidad, humedad y tamaño del mineral.

Capacidad: Referido a producción es el máximo nivel de actividad que puede alcanzar.

Humedad: Es la cantidad de agua presente en el mineral se mide en %.

Tamaño de mineral: Es la dimensión de material en cada sección del circuito.

### 2.4 Formulación de la hipótesis

#### 2.4.1 Hipótesis general:

El estudio tuvo como hipótesis: Si se realiza la configuración del circuito de chancado de manera adecuada, mediante análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de

componentes, entonces se podrá lograr el incremento de producción en la Planta de Beneficio El Inka.

#### 2.4.2 Hipótesis específicos:

Debido a que las máquinas con las que se cuentan en operación, aún no han obtenido su límite máximo de utilidad, permite que podamos lograr la optimización del circuito con pequeños cambios que nos permitan lograr el objetivo trazado.

#### 2.5 Operacionalización de variables

<p>Hipótesis: Si se realiza la configuración del circuito de chancado de manera adecuada, mediante análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes, entonces se podrá lograr el incremento de producción en la Planta de Beneficio El Inka.</p> <p><math>Y = f(X)</math></p> <p>Y = Incremento de producción.</p> <p>X = Configuración del circuito de chancado.</p>		
Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional
Circuito chancado.	<p>La configuración del circuito de chancado consiste en definir y/o modificar las posiciones y dimensiones de componentes del circuito de chancado.</p> <p>Basándonos en las capacidades de diseño, sus dimensiones son:</p> <p>Chancadoras, transportadores y clasificadores del circuito</p>	<p>Para lograr la configuración del circuito de chancado nos basaremos en las capacidades de los equipos en toneladas por hora (Ton/Hora) centrándonos en 03 dimensiones, chancadoras, transportadores y clasificadores. Las capacidades de diseño de los 03 grupos se obtiene de los manuales de los fabricantes y/o de indicaciones de ellos previa coordinación, las capacidades en</p>

		<p>operación se obtendrán de los reportes de laboratorio metalúrgico, los cuales se obtienen de las muestras tomadas en los puntos de ingreso y salida de mineral, en base a ello se optará por la configuración adecuada.</p> <p>Chancadoras, Los datos obtenidos son comparados con tablas. Fajas transportadoras, Los datos obtenidos son comparadas con tablas. Clasificadores, Los datos obtenidos son comparados con tablas.</p>
Producción.	<p>El incremento de producción consiste en lograr que le circuito de chancado trate el mineral necesario para la nueva demanda de la planta concentradora. De 480 toneladas métricas secas por día a 960 toneladas métricas secas por día. Sus dimensiones son: Capacidad, humedad y tamaño del mineral.</p>	<p>La producción se medirá en TMSD (toneladas métricas secas por día), tomando muestras en los puntos necesarios para el balance correspondiente, (en las fajas transportadoras), comparándolos antes y después de la configuración.</p> <p>Capacidad de</p>

		<p>producción, Se obtiene de las muestras tomadas al final del circuito.</p> <p>Humedad, se obtiene con el pesado de las muestras antes y después de ser secadas. Tamaño del mineral, se obtiene por las mallas de las muestras tomadas.</p>
--	--	--

Con la finalidad de completar la comprensión de la hipótesis y de sus variables, se incluye una sinopsis de las variables que describe la variable, el indicador, el instrumento y la fuente de donde se tomará la información.

Variables	Indicador	Instrumento	Fuente
Circuito de Chancado	Capacidad de Chancadoras (Ton/Hora)	Balanza electrónica Estufa	Datos obtenidos de los reportes de laboratorio metalúrgico de las muestras tomadas en las fajas transportadoras en el ingreso y salida de los equipos.
	Capacidad de Fajas transportadoras (Ton/Hora)	Flexómetro Cronometro Balanza electrónica Estufa	
	Capacidad de Clasificadores (Ton/Hora)	Balanza electrónica Estufa Mallas	
Producción	Tonelaje Tratado (Ton/Hora)	Balanza electrónica	Datos obtenidos de los reportes de laboratorio metalúrgico de las muestras tomadas en la última fase del circuito.
	Tamaño de mineral (pulgadas)	Mallas	
	Humedad (%)	Balanza electrónica Estufa	

Tabla 12: Indicadores de Procesos

<u>VARIABLES</u>	<u>FACTORES</u>	<u>INDICADOR</u>
Circuito de Chancado	Capacidad de Chancadoras	Ton/Hora
	Capacidad de Fajas Transportadoras	Ton/Hora
	Capacidad de Clasificadores	Ton/Hora
Producción	CAPACIDAD	Ton/Hora
	HUMEDAD	%
	TAMAÑO DE MINERAL	mm o pulgadas

### **Soporte**

Esta investigación tiene como soporte los procedimientos de cálculo y selección de componentes, recomendados en bibliografía de procesamiento de minerales.

Satisfacción del usuario

La satisfacción del usuario en este caso del área de planta es notable al lograr el incremento de producción de la sección chancado de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) a 960 toneladas métricas secas por día (TMSD), el incremento logrado fue de cien por ciento (100 %), lo cual satisface la demanda del área de molienda y por lo tanto el incremento de producción de concentrados. Logrado con la reutilización de equipos lo cual abarato los costos de ejecución, además de que los trabajos se realizaron sin detener el circuito aprovechando las paradas de planta para las inserciones de equipos.

## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Diseño metodológico**

El tipo de investigación que se llevó a cabo por su naturaleza fue del tipo TECNOLÓGICO y el nivel fue APLICATIVO; a continuación, se expondrá en que se basaron y porque nuestra investigación correspondió a cada una de ellas.

#### **3.1.1 Investigación tecnológica.**

Nuestra investigación correspondió a este tipo, ya que se buscaba solucionar problemas de producción con la configuración del circuito de chancado. Considerando el análisis del circuito anterior 480 Toneladas métricas secas por día (TMSD); basado en los reportes de laboratorio, la evaluación de los equipos para determinar su participación en el nuevo circuito de 960 toneladas métricas secas por día (TMSD), finalmente el

dimensionamiento y selección de equipos nuevos que cumplan los requisitos de las evaluaciones para el tratamiento de 960 toneladas métricas secas por día.

### 3.1.2 Nivel aplicativo

En la presente investigación, se utilizó, la investigación de nivel aplicativo, toda vez que se internalizó en situación real las mejoras planteadas en el circuito de chancado y sus respectivos componentes. Las acciones tomadas fueron ejecutadas y ellas nos permiten realizar mediciones para compararlas con los parámetros o valores anteriores. Entre parámetros de las configuraciones de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) y 960 toneladas métricas secas por día (TMSD).

De acuerdo a Castañeda (1995), el diseño de investigación es un plan estructurado de actividades que de manera anticipada guían el proceso de investigación. Su fin es el de aclarar, tanto el investigador como a sus lectores, el camino a recorrer para contestar las preguntas de investigación. El diseño a utilizar según el tipo y nivel de investigación es: DISEÑO DE SOLUCIONES

Donde:

EE X 01

EC -- 02

EE: Configuración Nueva.

EC: Configuración Anterior.

01: Tonelaje Proyectado.

02: Tonelaje Anterior.

X: Funcionamiento de la configuración nueva A la configuración anterior del circuito de chancado se evaluó y observó de manera minuciosa con fines de extraer los datos de producción y las deficiencias de cada componente; luego se planteó las mejoras y se estableció la configuración nueva.

### **3.2 Población y muestra**

Para el presente estudio la población fue el objeto de estudio. Circuito de chancado de la Planta de Beneficio El Inka.

#### Criterios de Inclusión

- En las chancadoras se consideró la evaluación de la capacidad de producción según la granulometría. (fijada por el área de operaciones).
- En los clasificadores se consideró la evaluación de la capacidad de producción y granulometría. (fijada por el área de operaciones).

- En las fajas transportadoras se consideró la evaluación de capacidad, velocidad, potencia y granulometría. (fijada por el área de operaciones).

### Criterios de Exclusión

- No se consideraron estudios de .la parte eléctrica y control, ya que fueron elaboradas por otras áreas.
- El alimentador de rodillos, fue adquirido en conjunto con la chancadora Gator 10"x39", a criterio del fabricante.
- No se consideraron electroimanes, detectores de metales, tolvas de gruesos, tolva de finos.
- No se consideraron detalles de fabricación ni estructuras.
- No se consideraron obras civiles, cimentación de equipos.
- No se consideraron la evaluación de costos.

### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

Se realiza una investigación tanto cuantitativa como cualitativa.

Fichas de datos técnicos: Para la obtención de datos y características de los equipos.

Fichas de historial de equipos: Para la obtención de características de los equipos.

Hojas de cotejo. Para comparar datos y valores.

Balances metalúrgicos. Para datos de humedad, tonelaje, tamaño de mineral.

### **3.4 Técnicas de procesamiento de datos**

Proceso electromecánico y electrónico.

La unida a medir es la variable independiente que es el circuito de chancado constituida por los siguientes equipos: chancadoras, clasificadores y fajas transportadoras, y cuyo indicador es la capacidad de cada uno, obtenido de los reportes de balance de laboratorio metalúrgico. Estos datos se plasman en el formato de datos técnicos de equipos.

#### 3.4.1 Instrumento de análisis documental

Para obtener el marco teórico y los datos para la configuración del circuito de chancado se ha utilizado la ficha bibliográfica tal como se muestra en la Tabla 12.

AUTOR:	Manzaneda Cabala, J.
TITULO Y SUBTITULO.	Procesamiento de Minerales.
EDICION:	-----
LUGAR DE EDICION:	Lima
AÑO DE EDICION:	NUMERO DE PAGINAS:
2005	126
PUBLICACION:	Lima – Perú.

Tabla 13: Ejemplo de ficha bibliográfica

Fuente: Elaboración Propia.

## 4. RESULTADOS.

### 4.1 Resultados de la Investigación

#### 4.1.1 Resultados del Diagnóstico. (480 TMSD)

En la figura 16, se observa el flow sheet de la sección chancado de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD), con los balances respectivos, entrada y salida de cada material y los equipos que lo componen. Para la asignación del tonelaje a tratar se toma como referencia 12 horas de operación para un tonelaje con 20% adicional por cuestiones de tiempos para mantenimiento, cambio de guardias, humedad del mineral entre los puntos más resaltantes. Con una granulometría final de mineral de 3/4". En este caso el diseño solo contempla el 23.2 % adicional.

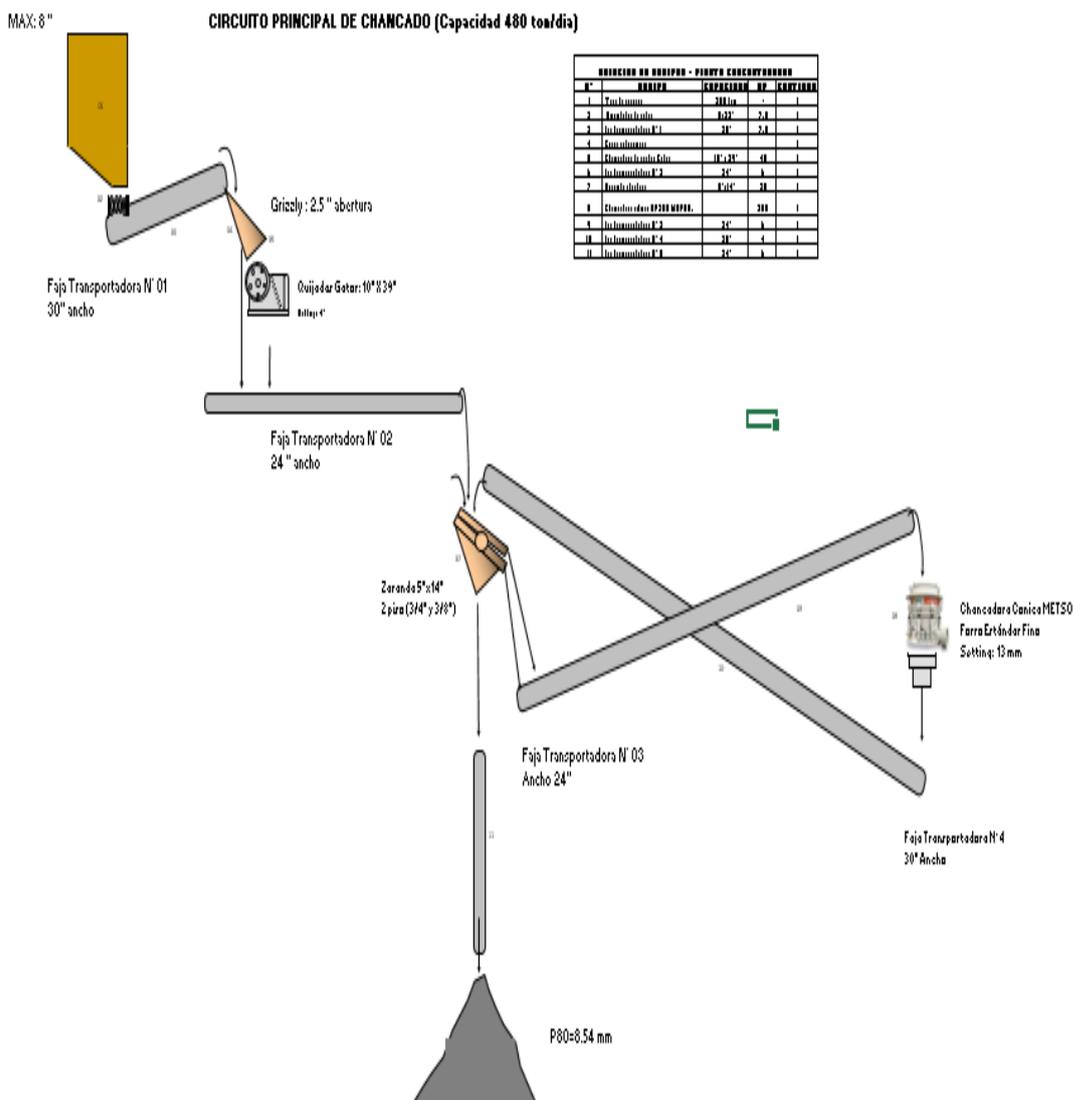


Figura 16. Flow Sheet Planta Beneficio 480 TMSD.

#### 4.1.2 BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL CIRCUITO DE 480 TMSD.

Esta sección constaba de una tolva de gruesos y 03 etapas de chancado, así como una loza de finos y una cancha de acopio de mineral.

Esta sección tenía una capacidad de chancado de 480 TMSD.

##### TOLVA DE GRUESOS

La tolva de gruesos tiene 200 TM de capacidad y la abertura entre riel es de 8". Esta tolva tiene un alimentador de rodillos el cual extrae el mineral de la tolva y descarga a la faja N°01 de 30".

##### CHANCADO PRIMARIO (480 TMSD)

La faja N°01, alimentaba al grizzly de 2' x 6' de 2.5" de abertura en la que el mineral grueso ingresaba a la chancadora de quijada Gator 10" x 39" con un set de 4" el producto de chancado se unía con el mineral fino de la faja N° 02 de 24".

##### CLASIFICACIÓN PRIMARIA Y CHANCADO SECUNDARIO (480 TMSD)

El mineral proveniente de la faja N° 02 se sometía a una clasificación en la zaranda vibratoria Gator 5' x 14' DD. de 02 pisos, provista de mallas de 3/4" x 3/4" y 3/8" x 3/8", el mineral grueso (+1") ingresaba a la chancadora Metso HP-200 estándar con 11 mm de set.

El producto de chancado se transporta a través de la faja N° 04 y une con la alimentación de ingreso de la Faja N 02. EL material fino se trasladará por medio de la faja N° 05 hacia la loza de finos y el grueso retornará al circuito. El material en la loza de finos tiene una capacidad de 250 Toneladas, es por ello empezar a trasladar el material chancado hacia la cancha para evitar rebaleses o que éste último tope con la faja y haga retornar carga hacia la cola u origine una parada.

#### **4.2 CAPACIDAD REAL DE LOS EQUIPOS (480 TMSD):**

Según el balance del circuito de 480 toneladas métricas secas por día(TMSD) (Figura 16), podemos observar las capacidades de los equipos en operación Tabla 14 chancadoras, Tabla 15 clasificadores y Tabla 16 fajas transportadoras.

Tabla 14. Capacidad de chancadoras para 480 TMSD.

<u>EQUIPO</u>	<u>TONELAJE DE ALIMENTACION</u>	<u>SET ABIERTO</u>
Chancadora Quijadas Gator	44.21 TMSH	4"
Chancadora Cónica Metso	42.34 TMSH	11 mm

Tabla 15. Se indica el área efectiva de la Zaranda obtenidas.

<u>EQUIPO</u>	<u>TONELAJE ALIMENTACION</u>	<u>TONELAJE CLASIFICADO</u>	<u>TAMAÑO DE ALIMENTACION</u>	<u>TAMAÑO DE FINOS</u>	<u>AREA EFECTIVA</u>
Zaranda	68.25	27.45	4"	3/8	3.42
5'x14'	134.25	68.67	1"	3/4	7.68

Tabla 16. Capacidad de las Fajas transportadoras para 480 Toneladas.

	MARCA	MOTOR	REVOLUCION	SPROCKTES
FAJA N° 1	Delcrosa	10 HP	1700 RPM	18/57
FAJA N° 2	Sew Eurodrive	7 HP	1700 RPM	18/57
FAJA N° 3	Delcrosa	10 HP	1700 RPM	18/36
FAJA N° 4	Delcrosa	10 HP	1700 RPM	16/36
FAJA N° 5	Delcrosa	6 HP	1700 RPM	16/32

#### **4.3 Resultados de Análisis, Evaluación, Dimensionamiento y Selección de Equipos (960 TMSD)**

Para la asignación del tonelaje a tratar se toma como referencia 12 horas de operación para un tonelaje con 20% adicional por cuestiones de tiempos para mantenimiento, cambio de guardias, humedad del mineral entre los puntos más resaltantes. La granulometría final del mineral fue planteada en P80= 5.5 mm, según las necesidades de operación.

Al evaluar los equipos del circuito antiguo se decidió lo siguiente:

##### CHANCADORAS:

CHANCADORA GATOR 10"x 39": Queda aprobada para el nuevo circuito basándonos en la tabla X en la cual se observa que su capacidad de fábrica si

cumple con la nueva demanda. Al equipo hay que cerrarle el set a 2.5" para brindarle al chancado secundario menos desgaste en los forros (es más económico el cambio de los primarios que los del secundario) y lograr que el zarandeo sea más efectivo y obtener el P80 solicitado.

CHANCADORA HP 200 (secundaria): Queda aprobada para el nuevo circuito basándonos en que ésta está trabajando casi al 40% de su capacidad efectiva debido a que no se han realizado los ajustes necesarios para lograr su máxima capacidad. Es necesario modificar las velocidades en la Faja N° 1 y 2; cambiar las mallas de la zaranda vibratoria y humedecer el material de a 4% a 6%.

### CLASIFICADORES

ZARANDA 5' X 14': El equipo será reutilizado en el nuevo circuito ya que su capacidad de diseño satisface las necesidades planteadas según la tabla originándose un cambio en las mallas del piso superior como inferior. (De  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{3}{8}$ " por  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{1}{4}$ ").

### FAJAS TRANSPORTADORAS

FAJA N° 02, 03, tendrán que ser estandarizadas a 30 pulgadas con respecto al ancho de la banda transportadora, las Fajas N° 1 y 2 se les va regular la velocidad en los motores reductores para que ambas vayan a la par y que la alimentación a la Cónica sea constante y no origine un desgaste por un solo lado al forro y origine un desbalance en el proceso.

Evaluados los equipos disponibles para la nueva configuración y evaluando la granulometría final, se optó por elegir el cambio de forro en la Chancadora Cónica HP-200 de la marca Metso, que en un principio se utilizaba Forro Estándar Fino con una granulometría de 11 mm a pasar a Forro Short Head con una granulometría de 6.5 mm por dos motivos:

Al estar trabajando por debajo del 50% de la capacidad máxima, debemos obtener mayor carga circulante en el circuito, lo que nos permitirá que el chancado sea uniforme en toda la sección del forro, originando atracción de manera eficiente.

Segundo, apoyados en el cambio de mallas en la zaranda, ésta última me permitirá ajustar el set a 6.5 mm para lograr el P80= 5.5 mm, obteniéndose un producto fino y que el chancado se incremente a 80 Toneladas por hora y de un buen producto.

Los nuevos equipos que se utilizaron en dicha modificación son los siguientes:

- ✚ Se cambió el grizzly de la Chancadora de Quijadas a 2" (antes 2.5")
- ✚ Se aumentó la velocidad en la Faja N° 01.
- ✚ Se aumentó el ancho a 30" de la Faja N° 02.
- ✚ Se cerró el setting de la Quijada a 2.5" (antes 3")
- ✚ Se aumentó el ancho a 30" de la Faja N° 03.
- ✚ Se cambió el Forro de la Cónica Metso HP-200 a Short Head.
- ✚ Se cerró el setting de la Cónica Metso HP-200 a 6.5 mm.
- ✚ Se cambiaron las dos mallas de la Zaranda Gator 5´x14´ a ¼" y ½" (antes ¾" y 3/8").

De lo descrito anteriormente se coordinó con operaciones el proceso que seguirá el nuevo circuito. El cual detallamos a continuación:

#### Tolva de Gruesos (960 TMSD)

La tolva seguirá con la misma capacidad del diseño inicial de 200 TMSH.

#### Chancado primario (960 TMSD)

El mineral de la tolva alimenta al alimentador de rodillos, en la que el mineral gruesos (<8") ingresa a la chancadora de quijadas Gator 10"x39" con un set de 2.5" a través de la Faja N° 1, el producto de chancado se une con el mineral fino en la faja N° 2 de 30".

#### Clasificación primaria y chancado secundario (960 TMSD)

El mineral proveniente de la faja N° 2, descarga en la Zaranda 5´x14´ donde ocurre la clasificación a través de los pisos con mallas de ½" y ¼", el producto fino es transportado a través de la Faja N° 05 hacia la loza de finos; mientras el grueso es transportado por la Faja N° 3 con un ancho modificado a 30" hacia la chancadora cónica Metso HP-200.

La chancadora Cónica Metso HP-200 recibirá un producto igual o menor a 2.5" y reducirá a un tamaño igual o menor a 6.5 mm que será transportado a través de la faja N° 4; ésta y la faja N° 2 se unirán en un chute para alimentar a la zaranda y se cerrará el proceso nuevamente.

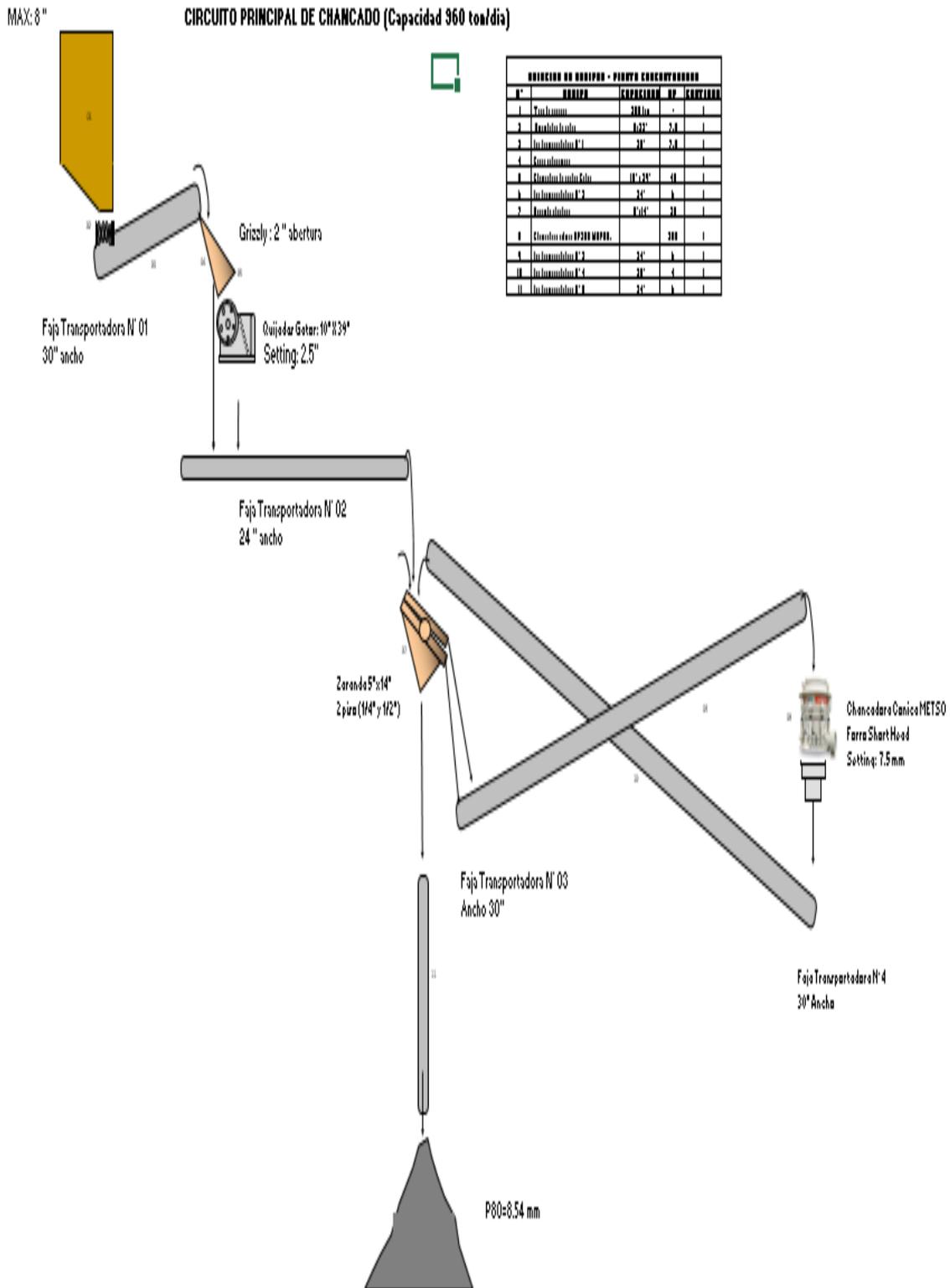


Figura 17. Flow Sheet Planta Beneficio con ampliación a 960 Toneladas.

Al comparar ambos diagramas de flujo, se observa las modificaciones realizadas. Y las capacidades actuales de producción de los equipos se muestran en las tablas de Capacidades de chancadoras en operación; Capacidades de clasificadores en operación; Capacidades de fajas transportadoras.

#### 4.4 Modificación y Selección de Equipos y Componentes (960 TMSD).

Al llevar a cabo la puesta en marcha las fajas N° 2 y N° 5 cuyo dimensionamiento inicial era de 24" al flujo de alimentación y luego en la descarga de finos, ésta última comenzaron a perder eficiencia:

Primero, la carga se desbordaba por los lados de éstas últimas debido al incremento del flujo.

Segundo, debido a que los motores reductores estaban diseñados para un parámetro inicial se debió ajustar (se cambiaron los sprokets tanto del motor reductor como de la polea para aumentar la velocidad).

Y por último se ajustaron las mallas de la zaranda para reducir los productos finales y así poder obtener el P80 solicitado.

En coordinación con la Superintendencia de Planta se ha acordado muestrear los lotes con ayuda de la malla 7/32" para poder ayudarnos a calcular el P80.

#### 4.5 Análisis Estadístico de los resultados.

En la Tabla 17, muestra el tonelaje mensual tratado en la planta de Beneficio El Inka En el periodo Enero 2015 hasta Setiembre 2018.

Tabla 17: Tonelaje Mensual tratado en la Planta de Beneficio El Inka de Enero 2015- Setiembre 2018.

MES	AÑO			
	2015	2016	2017	2018
ENERO	7425.25	8002.20	8020.45	14569.8
FEBRERO	7365.12	8006.22	8014.25	11129.3
MARZO	8006.14	8004.66	8021.02	16212
ABRIL	8004.99	8001.99	8014.15	14187.6
MAYO	7999.25	8001.22	8011.03	17017.6
JUNIO	8001.44	8007.02	8015.15	14976.7
JULIO	7899.02	7999.58	8013.22	13709.2

AGOSTO	7788.25	8001.25	8011.25	14556.9
SETIEMBRE	7980.14	8000.93	8013.22	14578.25
OCTUBRE	7963.22	8000.78	8011.77	15248.01
NOVIEMBRE	8001.01	7985.02	8014.14	
DICIEMBRE	8003.14	8001.77	8022.14	

Fuente: Elaboración Propia.

Del cuadro estadístico podemos observar que la producción se incrementa a casi el doble de lo de la inicial con respecto a los tres últimos años por dos factores:

- A. La primera porque se logró la ampliación del circuito, modificando los componentes en determinadas piezas
- B. Se logró optimizar su rendimiento, ya que en un primer análisis se determinó que se operaba al 50% de su capacidad real y con los ajustes se logró duplicar el rendimiento.

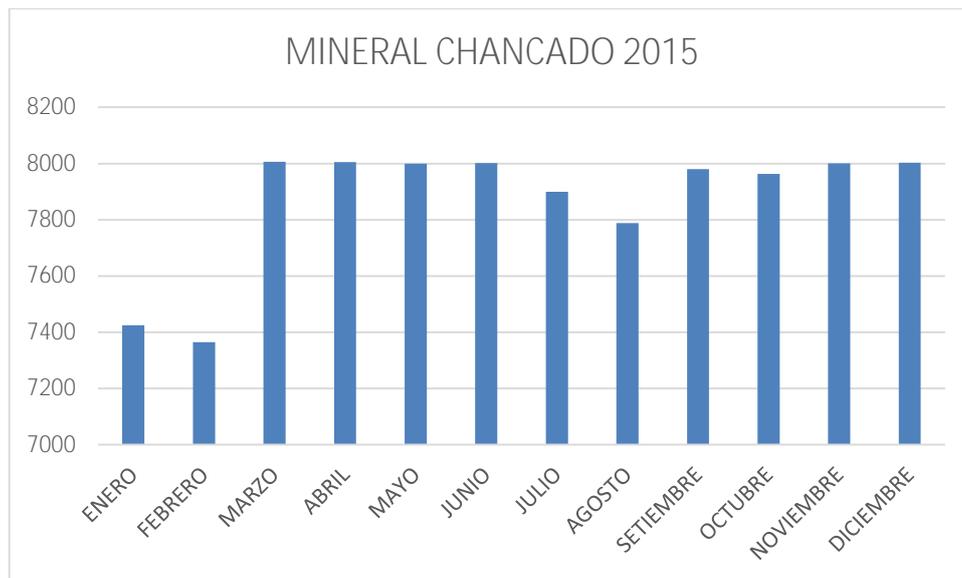


Figura 18.

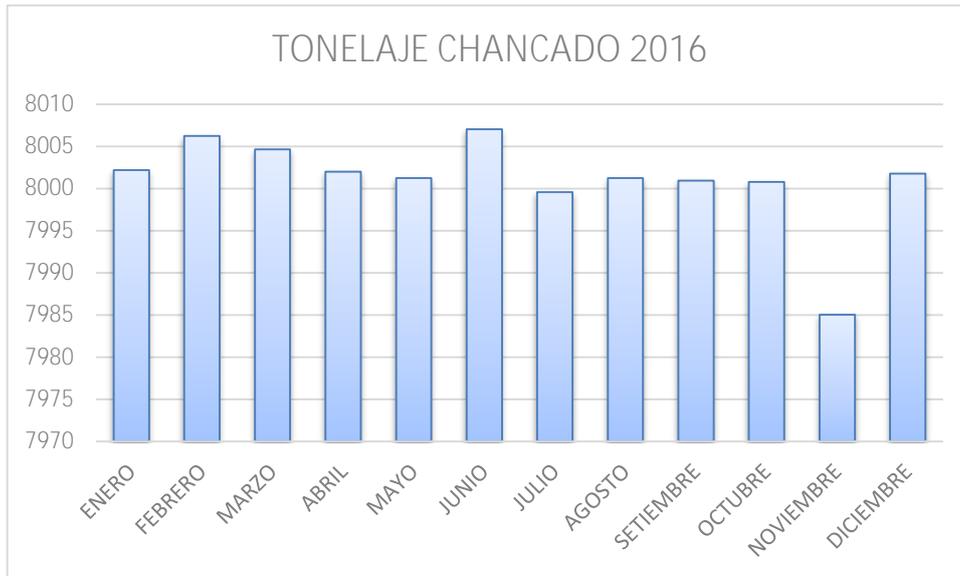


Figura 19.

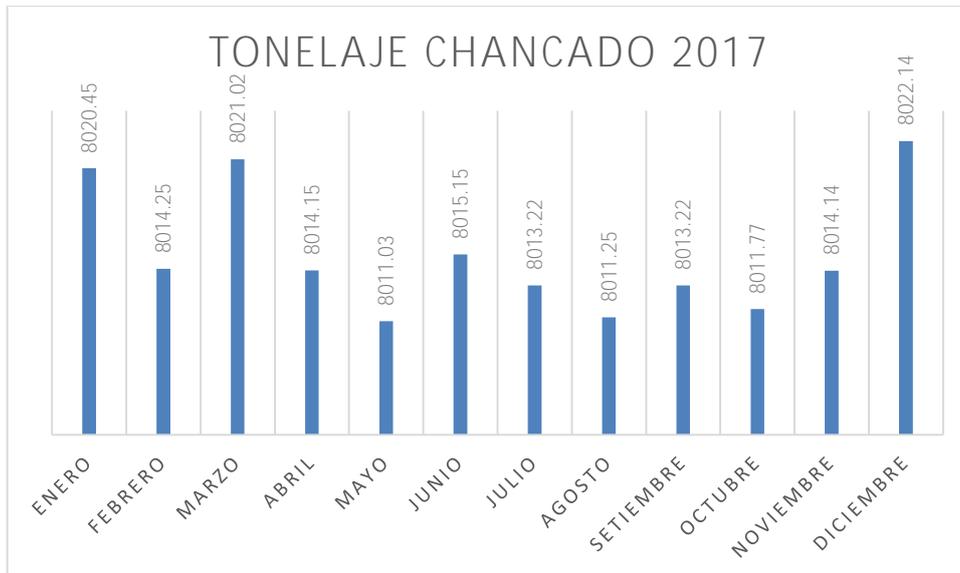


Figura 20.



Figura 21.

Antes de la configuración se tiene dos puntos que debemos considerar:

El promedio del tonelaje chancado era de 8001.25 toneladas mensuales

Luego de la optimización es de 14582.89 toneladas mensuales

Por ser una Planta de Beneficio que procesa minerales de pequeños y medianos productores, esta chanca según la necesidad de la operación.

También se observa que chancamos en menos horas de operación debido al incremento de la capacidad y de la optimización, por lo que nos beneficiará en que se consumirá menos energía y que habrá mayor control en los mantenimientos (predictivos, correctivos y general).

#### 4.6. Prueba de Hipótesis.

Si se realiza la configuración del circuito de chancado de manera adecuada, mediante análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes, entonces se podrá lograr el incremento de producción en La Planta de Beneficio El Inka S.A.

$H_0$ = Hipótesis nula, Tonelaje después de la configuración menor que tonelaje antes de la investigación.

$H_1$ = Hipótesis de la investigación. Tonelaje antes de la investigación menor que tonelaje después de la investigación.

$\theta_2$ = Tonelaje anterior.

$\theta_1$ = Tonelaje proyectado.

Con los datos de O obtenidos antes y después de la nueva configuración se prueba la hipótesis.

Hipótesis de la investigación  $\mu_2 < \mu_1$

Se considera el 95% de intervalo de confianza.

En la Tabla 18: Mostramos los valores del tonelaje pasado por mes y el promedio por día antes del inicio de los trabajos indicados en la configuración del circuito de chancado.

MESES	2017	2018
ENERO	8020.45	14569.8
FEBRERO	8014.25	11129.3
MARZO	8021.02	16212
ABRIL	8014.15	14187.6
MAYO	8011.03	17017.6
JUNIO	8015.15	14976.7
JULIO	8013.22	13709.2
AGOSTO	8011.25	14556.9
SETIEMBRE	8013.22	14578.25
OCTUBRE	8011.77	15248.01
NOVIEMBRE	8014.14	
DICIEMBRE	8022.14	
MEDIA	8001.58	15243.22
N	12	10
VARIANZA	65214.25	34254.25

Fuente: Elaboración Propia.

Fórmula para la Prueba T:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

De las tablas antes mencionadas, reemplazaremos y obtendremos el siguiente cuadro:

Tabla 19. Tabla de Cálculos

GL	44
T calculado	42.55
T tabular	3.01

Fuente: Elaboración Propia.

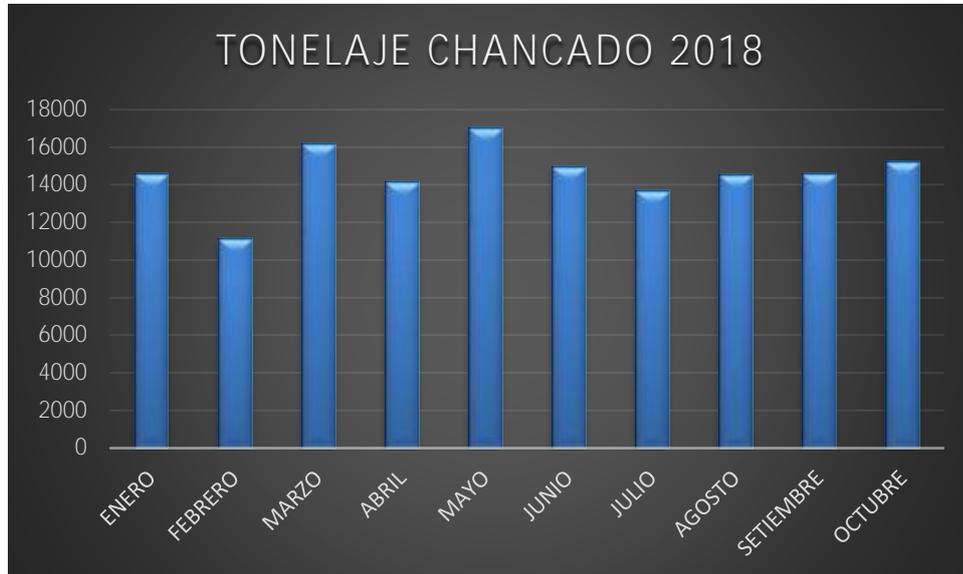
#### **4.7. Nivel de satisfacción de usuarios.**

La satisfacción del usuario en este caso del área de planta es notable al lograr el incremento de producción de la sección chancado de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) a 960 toneladas métricas secas por día (TMSD), el incremento logrado fue de cien por ciento (85 %), lo cual satisface la demanda del área de molienda y por lo tanto el incremento de producción de concentrados.

Logrado con la reutilización y adecuación de equipos lo cual abarato los costos de ejecución, además de que los trabajos se realizaron sin detener el Circuito aprovechando las paradas de planta para las inserciones de equipos.

## 5. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con la nueva configuración del circuito de chancado se cumple con el incremento de producción (de 480 TMSD a 960 TMSD) esto se deduce de la figura 21, al empezar el mes de enero 2018 fecha en la cual se culmina con los trabajos en el circuito de chancado.



En la figura 21 se observa que la producción no es pareja debido a que se chanca según lo que requiera la Planta.

Se observa que los tonelajes bordean las 14 mil toneladas y alcanza su pico más alto de rendimiento en mayo debido a que se chanco materiales suaves provenientes de la zona de Huarato.

De la figura, se observa que durante el periodo de configuración del circuito de chancado el porcentaje de cumplimiento es con mayor frecuencia cercano al 100%, debido a que los equipos reemplazados responden mejor a las necesidades de operaciones, pero no se pueden explotar al máximo por la limitación del área de molienda, que no estaba preparada para el incremento de producción. En este periodo el porcentaje de cumplimiento aún estaba en 960 TMSD.

En la prueba de hipótesis se ha validado la investigación, toda vez que se obtiene que el  $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabulado}}$ , ( $40.26 > 2.01$ ) con un intervalo de confianza del 85%, en consecuencia se logra el incremento de producción, con la configuración del circuito de chancado en la Planta de Beneficio El Inka S.A. Logrando el tratamiento de 960 toneladas métricas secas por día (TMSD), de las 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) tratadas antes de la configuración, Representando un 100% en incremento de producción.

## 5.1 CONSECUENCIAS TEÓRICAS

La granulometría final del circuito de chancado menor a 7/32", exige contar con un chancado cuaternario, por la instalación en serie de los equipos actuales y la capacidad a tratar (960 toneladas métricas secas por día).

Esta cuarta sección no es común en muchas plantas, para nuestro caso aplica por la configuración en serie de los equipos y los equipos de clasificación disponibles.

Al incrementar el área de clasificación se reduce la carga de alimentación al circuito siguiente, esto se observa con la reducción de la carga en la cónica, después de instalar una banda transportadora de 30".

El uso de una zaranda de doble piso en una clasificación primaria no aprovecha el máximo del área disponible, esto se deduce debido a que no se habían realizado el cambio de las mallas de los pisos.

Debido al tamaño del mineral de alimentación. En el primer piso las aberturas son de 1/2" promedio, lo cual alivia la carga a la chancadora secundaria, y este fino es nuevamente clasificado en el segundo piso con una abertura de malla de 1/4" de donde se envía el fino a la sección molienda.

Las zarandas con inclinación tienen un menor tiempo de retención de material lo cual permite una mejor clasificación de finos. Esto se observó durante la operación. Al observar que la eficiencia de la zaranda es de 82% promedio.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **CONCLUSIONES**

La hipótesis de la investigación es aceptada ya que  $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabulado}}$ , ( $40.26 > 2.01$ ), utilizando un intervalo de confianza de 85%. Siendo la hipótesis: "Si se realiza la configuración del circuito de chancado de manera adecuada, mediante análisis, evaluación, dimensionamiento y selección de componentes, entonces se podrá lograr el incremento de producción en la Planta de Beneficio El Inka S.A, la cual valida la configuración para 960 toneladas métricas secas por día. Con la nueva configuración se logró pasar de un tratamiento de 480 toneladas métricas secas por día (TMSD) a 960 toneladas métricas secas por día lo cual equivale a un 100% en incremento de producción.

El 30% adicional que se asigna para la configuración de circuitos de chancado, garantiza el tratamiento constante de mineral, ya que con las 480 toneladas métricas secas solamente se consideró el 23.2 %. Debiendo ser 624 TMSD. notándose en el promedio de tonelaje tratado antes de la configuración menor al 100%. Y siendo validado en el circuito de 960 TMSD, cuyo promedio de tonelaje supera el 100% planteado.

Uno de los factores claves para lograr tratar 960 toneladas métricas secas por día (TMSD), fue el cambio de forros short head a la chancadora cónica de marca METSO modelo HP-200, ya que esta supera en eficiencia de clasificación a las convencionales, siendo su eficiencia del 90 %, frente a las otras que llegan al 60%. Logrando optimizar el tonelaje por hora y obteniendo un mejor producto final.

## **RECOMENDACIONES**

Al superar el 100% de incremento de producción (960 TMSD), se recomienda evaluar la automatización del circuito de chancado, ya que en el presente trabajo no fue considerado. Y así optimizar el proceso. Previo análisis de costo beneficio. Se recomienda cumplir con el 30% adicional para configuraciones de circuitos de chancado, con el fin de garantizar el tonelaje tratado.

Para mejorar la eficiencia de las zarandas se recomienda el uso de mallas de materiales más resistentes a la abrasión, ya que si se reduce el diámetro del hilo, se obtienen mayor área de clasificación, previo análisis de costos.

# BIBLIOGRAFIA

## FUENTES DE INFORMACION BIBLIOGRAFICAS

### 5.1 Fuentes documentales:

I Congreso Internacional de Conminucion 2017, Lima – Perú.

### 5.2 Fuentes bibliográficas:

#### 5.2.1 Fuentes primarias:

Espinoza Montes, Ciro. 2010. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA. PENSANDO EN SISTEMAS. 1ra edición. Huancayo, Perú: Imagen Gráfica.

Manzaneda Cabala, J. 2005. PROCESAMIENTO DE MINERALES, lima, Perú.

Metso Minerals. 2007. Manual de Trituración y Cribado, Finlandia.

Flores Ramos, Omar. 2005. MANUAL DE CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CINTAS TRANSPORTADORAS. Huancayo, Perú.

#### 5.2.2 Fuentes secundarias:

Quiroz Nuñez, I. 1986; INGENIERÍA METALÚRGICA, OPERACIONES UNITARIAS EN PROCESAMIENTO DE MINERALES. Cuzco, Perú.

Rivera Zevallos, J. 2003. COMPENDIO DE CONMINUCIÓN, Lima, Perú: Centro de producción Editorial e Imprenta UNMSM.

### 5.3 Fuentes hemerograficas:

-Editorial. Revista Rumbo Minero. Sección 1, página 03

### 5.4 Fuentes Electrónicas:

<http://www.encuentrometalurgia.com/conminucion-minerales-2017/>

<https://www.metso.com/>