



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**“PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO
DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO
IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI 5260 PARA
LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS”**

Heber Eduardo Par Cujcuy
Asesorado por el Ing. Carlos Alberto Garrido López

Guatemala, febrero de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN
LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI
5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

HEBER EDUARDO PAR CUJCUY

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ALBERTO GARRIDO LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V:	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR I:	Ing. Hernan Leonardo Cortez Urioste
EXAMINADOR II:	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
EXAMINADOR III:	Inga. Gladis Lorraine Carles Zamaripa
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI 5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Mecánica Industrial, con fecha noviembre de 2008.



Heber Eduardo Par Cujcuy

Guatemala 28 de septiembre del 2009

Ing. Francisco Gómez Rivera
Director de Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente me es grato comunicarle que se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI 5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS”** desarrollado por el estudiante Heber Eduardo Par Cujcuy.

Considero que el trabajo realizado cumple con los objetivos establecidos llenando los requisitos académicos y de práctica necesaria, en virtud de lo cual, lo doy por aprobado solicitando darle el trámite correspondiente.

Atentamente,

Carlos Alberto Garrido López

ING. MECANICO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 6,238



Ing. Carlos Alberto Garrido López
Colegiado No. 6238

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSD) KPI 5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS presentado por el estudiante universitario Heber Eduardo Par Cujcuy, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Luis González Castañeda".

Ingeniero Industrial
Luis Gerardo González Castañeda
Colegiado No. 7814

Ing. Luis González Castañeda
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, Noviembre de 2009.

/agrm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI 5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS**, presentado por el estudiante universitario **Heber Eduardo Par Cujcuy**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.


Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR
Escuela Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2010.

/mgp

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.051.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL INCREMENTO DE EFICIENCIA EN LA TRITURADORA DE TIPO IMPACTO CON EJE HORIZONTAL (HSI) KPI 5260 PARA LA FABRICACIÓN DE AGREGADOS**, presentado por el estudiante universitario **Heber Eduardo Par Cujcuy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, febrero 2010

/cc

DEDICATORIA:

- Dios** Por haberme dado la vida
- Mis padres** Eduardo Par y Faustina de Par, por ser la base de mi formación y darme su amor incondicional siempre.
- Mis hermanos** Walter Par y Cesiah Par, por apoyarme y darme fuerzas en los momentos más difíciles
- Mis amigos** Por acompañarme en el camino de la vida

AGRADECIMIENTOS A:

Mi padre

Por haberme dado la formación moral y haberme permitido la educación académica.

Mi madre

Por brindarme su amor y apoyo siempre en todas las facetas de la vida.

**Agregados de
Guatemala, S.A**

Por haberme permitido realizar este proyecto dentro de sus instalaciones, en especial al ingeniero Sergio Cortez y a mis amigos Marlon Argueta y Ernesto Figueroa.

Mis amigos

A todos los que me ayudaron y acompañaron hasta este momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS:	XV
INTRODUCCIÓN:.....	XVII
1 ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 Agregados de Guatemala, S.A. “AGREGUA”.....	1
1.1.1 Ubicación:.....	1
1.1.2 Breve reseña histórica de la empresa AGREGUA	1
1.1.3 Productos que fabrican.....	1
1.1.4 Misión	2
1.1.5 Visión 2015.....	2
1.1.6 Valores	2
1.1.7 Misión corporativa (Slogan):.....	3
1.1.8 Organigrama de planta zona 6	3
1.2 Definición de agregado.....	5
1.2.1 Calidad de los agregados	6
1.3 Proceso de fabricación de agregados	7
1.3.1 Extracción de la materia prima	9
1.3.2 Teoría de la conminución:	10
1.3.2.1 Relación de reducción.....	16
1.3.3 Proceso de trituración.....	17
1.3.4 Características de la piedra caliza.....	21
1.4 Tipos de trituradoras.....	21

1.5	Trituradora de impacto con eje horizontal KPI 5260.....	28
1.5.1	Descripción	28
1.5.2	Funcionamiento.....	29
1.5.2.1	Descripción de partes principales	31
1.6	Definición de eficiencia.....	33
1.6.1	Medición de eficiencia	35
2.	SITUACIÓN ACTUAL EN EL ÁREA DEL TRITURADOR:	37
2.1.	Operación actual de la trituradora	37
2.1.1.	Proceso de trituración actual.....	38
2.1.2.	Diagramas de Proceso:.....	41
2.1.3.	Insumos necesarios para la operación de la trituradora.....	45
2.1.4.	Producción de la trituradora	45
2.1.4.1.	Teórico	46
2.1.4.2.	Real:.....	47
2.1.5.	Relación de reducción actual	53
2.2.	Ajuste actual de las corazas.....	53
2.3.	Desgaste en blow bars.....	53
2.4.	Circuito de retorno	54
2.5.	Entrada de material	54
2.5.1.	Tamaño de material de entrada	55
2.5.2.	Faja de circuito de retorno.....	55
2.5.3.	Zaranda de alimentación.....	55
2.5.4.	Chifles	56
2.6.	Salida de material.....	58
2.6.1.	Tamaño de material en salida	58
2.6.2.	Faja de salida de material	59
2.6.3.	Compuertas.....	59
2.6.4.	Chifles	60
2.7.	Emisiones de ruido.....	61

2.8.	Emissiones contaminantes.....	62
3.	PROPUESTA DE MEJORAS AL PROCESO DE TRITURACIÓN.....	63
3.1.	Control de puntos críticos.....	63
3.1.1.	Rotor.....	63
3.1.2.	<i>Blow bars</i>	64
3.1.2.1.	Selección óptima de <i>blow bars</i>	64
3.1.2.2.	Disponibilidades en el mercado.....	64
3.1.3.	Corazas	65
3.1.3.1.	Puntos de desgaste máximos	65
3.1.3.2.	Calibración de distancias.....	65
3.2.	Medición de eficiencia del triturador	66
3.2.1.	Control de la relación de reducción	70
3.2.2.	Control de insumos.....	71
3.2.3.	Control de eficiencia	71
3.2.4.	Control de productividad.....	74
3.2.5.	Control de disponibilidad	75
3.3.	Reducción de ruido.....	76
3.3.1.	Reducción de ruido en el área.....	76
3.3.2.	Protección personal.....	78
3.4.	Reducción de polvo	78
3.4.1.	Reducción de polvo en el área	79
3.4.2.	Protección personal.....	81
3.5.	Iluminación	81
3.6.	Mejoras en la alimentación de material	82
3.6.1.	Tamaño de material de entrada.....	82
3.6.2.	Faja de circuito de retorno.....	83
3.6.3.	Zaranda de alimentación	84
3.6.4.	Chifles	85
3.7.	Mejoras en la salida de material	87

3.7.1.	Faja de salida de material	88
3.7.2.	Compuertas.....	88
3.7.3.	Chifles	89
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	93
4.1.	Inspecciones críticas diarias.....	93
4.1.1.	Revisiones antes de operar.....	93
4.1.1.1.	Desgaste de <i>blow bars</i>	94
4.1.1.2.	Distancias de corazas	95
4.1.1.3.	Equipo necesario para el operador	95
4.2.	Inspecciones rutinarias.....	96
4.3.	Charla al personal	96
4.4.	Seguridad operacional	97
4.4.1.	Precauciones de seguridad general.....	98
4.4.2.	Precauciones antes de operar	98
4.4.3.	Precauciones en el mantenimiento	99
4.4.4.	Áreas de peligro	99
4.5.	Procedimientos de ajustes	100
4.5.1.	Rotación de <i>blow bars</i>	100
4.5.2.	Ajustes de distancias	102
4.5.2.1.	Corazas de primera fase.....	104
4.5.2.2.	Corazas de segunda fase	105
4.5.3.	Rotación de corazas	106
4.6.	Lubricantes.....	107
4.7.	Vibraciones permitidas	107
4.8.	Medición del consumo eléctrico	110
4.9.	Medición de disponibilidad del equipo.....	111
4.10.	Herramientas para la administración de recursos.....	111
4.10.1.	Diagrama de Ishikawa	112
4.10.2.	Diagrama de Pareto.....	114

5. SEGUIMIENTO.....	119
5.1. Control de mejoras de eficiencias.....	119
5.2. Control de desgaste.....	119
5.2.1. <i>Blow bars</i>	120
5.2.2. Corazas	120
5.3. Control de ajustes (settings).....	120
5.4. Control de mantenimientos.....	121
5.5. Limpiezas al área.....	121
5.6. Mejora continua	122
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	141
APÉNDICE	143
ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1 Organigrama de planta zona 6.....	4
2 Circuito cerrado directo.....	20
3 Circuito cerrado inverso.....	20
4 Partes y funcionamiento de una trituradora tipo cono.....	22
5 Abertura de trituradora tipo cono.....	23
6 Trituradora de mandíbulas.....	24
7 Trituradora cónica secundaria.....	25
8 Diagrama de una trituradora de rodillos o martillos.....	25
9 Trituradora de impacto con eje horizontal.....	26
10 Trituradora de impacto con eje vertical.....	27
11 Medidas superficiales del HSI KPI 5260.....	28
12 Funcionamiento del HSI KPI 5260.....	31
13 Rotor de cuatro barras.....	31
14 Medida de <i>blow bars</i>	32
15 <i>Apron</i> de primera fase.....	32
16 <i>Apron</i> de segunda fase.....	33
17 Comparación en producción de finos.....	38
18 Diagrama de flujo de procesos.....	42
19 Diagrama de recorrido.....	44
20 Gráfica de análisis granulométrico teórico.....	46
21 Relación entre cantidad producida total y horas-máquina.....	50

22 Gráfica producción/horas-máquina.....	52
23 Análisis Granulométrico real de entrada de material	55
24 Zaranda de alimentación	56
25 Chifle de entrada de material.....	57
26 Desgaste en <i>blow bars</i>	57
27 Análisis granulométrico material de salida HSI.....	59
28 Compuerta para mantenimiento	60
29 Zonas de impacto en la salida de material	61
30 Gráfica de eficiencias	73
31 Efectividad de las medidas correctoras del ruido	76
32 Planta de trituración carenada.....	77
33 Capotaje de banda transportadora	79
34 Captadores de polvo.....	80
35 Análisis asumiendo la eliminación de material menor de 1 ½"	83
36 Propuesta para separación de material menor a 1 1/2".....	85
37 Entrada actual Vrs. Propuesta vista de frente	86
38 Entrada actual Vrs. Propuesta vista de lado.....	86
39 Entrada actual Vrs propuesta vista isométrica.....	86
40 Entrada actual Vrs. Propuesta vista dimétrica	87
41 Funcionamiento de la cama de piedra.....	87
42 Salida actual Vrs. propuesta vista de frente	90
43 Salida actual Vrs. Propuesta vista en perfil	90
44 Salida actual Vrs propuesta vista en planta.....	90
45 Salida actual Vrs. Propuesta vista isométrica.....	91
46 Boceto final de chifles.....	91
47 Localización de pernos de sujeción.....	100
48 Trituradora en posición abierta	101
49 Conformación de ensamble de <i>blow bar</i>	102
50 Partes del <i>apron</i> de primera fase	103

51 Partes del <i>apron</i> de segunda fase	103
52 Tuercas de seguridad en <i>apron</i> de primera fase	104
53 Tuercas de ajuste en <i>apron</i> de primera fase.....	104
54 Embolo de <i>apron</i> de segunda fase	105
55 Rotación de corazas	106
56 Ejemplo de aplicación para el diagrama de Ishikawa.....	113
57 Ejemplo de diagrama de Pareto.....	117
58 Ciclo de Shewhart - Deming	123
59 Ejemplo de diagrama de Gantt	129
60 Ejemplo de diagrama PERT.....	130
61 Diagrama Ishikawa para diagnóstico	132
62 Regla 80-20 para diagnóstico	132
63 Diagrama de Gantt para solución del problema.....	135
61 Propuesta de hoja de control para operarios	144

TABLAS

I Granulometría del agregado fino, ASTM C33	6
II Requisitos granulométricos del agregado grueso, ASTM C33.....	8
III Valores de W_i para algunos materiales.....	14
IV Propiedades de la piedra caliza.....	21
V Especificaciones técnicas HSI KPI 5260	29
VI Producción y utilización de máquina	48
VII Producción por día	51
VIII Desgaste de martillos	54
IX Conversiones de mallas de mm a pulg.....	58
X Medidas de amperajes	67

XI Operaciones para hallar la eficiencia	69
XII Ejemplo de tabla para diagrama de Pareto	116
XIII Paso uno de la planificación: definición de objetivos.....	131
XIV Paso dos de la planificación: recopilación de datos.....	131
XV Paso tres de la planificación: diagnóstico	131
XVI Paso cuatro de la planificación: pronóstico	133
XVII Paso cinco de la planificación: planificar cambios	133
XVIII Evaluación del proceso.....	134
XVI Análisis granulométrico eliminando material fino de entrada.....	143
XVII Datos del análisis granulométrico material de entrada	145
XVIII Selección de ancho de la faja	146
XIX Velocidades máximas recomendadas	146
XX Capacidad de banda plana	147
XXI Consumo de energía para diferentes operaciones en una planta de trituration.....	147

GLOSARIO

Banco:	Módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de mineral.
Caminamiento:	Término dado a los andamios hechos para movilización en la planta.
Cantera:	Término que se utiliza para las explotaciones pequeñas de rocas, industriales y ornamentales, próximas a los centros de consumo.
Cascajo	Desecho que se obtiene del material directo de cantera compuesto por arcillas entre otros, en la producción de agregados.
Chifle:	Conducto que comunica distintas máquinas por donde pasa el material triturado.
Chute	Palabra en lengua inglesa equivalente a chifle.
Conminución:	Término genérico, que se utiliza para designar procesos de reducción de tamaño.
Cuerpo sólido ideal:	Cuerpo homogéneo, isotrópico y sin fallas.

- Diagrama de flujo:** Muestra satisfactoriamente la secuencia de las operaciones en la planta.
- Ganga:** Material no valioso en la extracción de rocas minerales.
- Guarda:** Protección que se coloca a las piezas en movimiento que representan un riesgo potencial para los trabajadores.
- Impactador:** Nombre dado también a una trituradora de impacto.
- Mineral:** Es el producto de explotación de una mina, ya sea que tenga o no valor comercial.
- Nivel de reducción:** Es la relación entre alimentación y producto de la máquina de trituración.
- Trituración:** Es la operación cuya función es la reducción de grandes trozos de rocas a fragmentos pequeños.
- Voladura:** En la mina es la primera etapa de la primera fase de la conminución del mineral. Se realiza con explosivos en la cantera.

RESUMEN

La industria de producción de agregados da la impresión a simple vista de ser rústica y no poseer mayor ciencia. Pero esta impresión está lejos de la realidad. En la actualidad la producción de agregados es una industria competitiva, tecnológica y en crecimiento en el país.

Un punto clave y corazón del proceso de producción de agregados son las máquinas que se encargan de triturar el material, las cuales llevan grandes adelantos tecnológicos.

Estas máquinas deben llevar un control en cuanto su aprovechamiento de capacidad, ya que al ser un trabajo pesado el que realizan es fácil olvidarse de este.

La medición de la eficiencia es el primer paso para determinar cuán bien se está aprovechando la máquina. Además de dar pautas para poder incrementarla y ser la base para proponer mejoras al sistema.

La correcta medición de la eficiencia de la trituradora depende de los parámetros que se utilicen, ya que estos deben ser de fácil medición, ser fiables y tener una directa relación con esta.

Una vez lograda la medición de eficiencia en la trituradora, se puede medir cualquier aumento en esta. Para esto se seleccionan las mejoras claves seleccionadas en base a criterios de mayor impacto. Esto se logra con herramientas de administración útiles para la toma de decisiones.

OBJETIVOS:

General:

Localizar fallas de producción para proponer soluciones, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema de trituración en el área del triturador de impacto de eje horizontal.

Específicos:

1. Definir qué es un agregado, así como conceptos generales relacionados con el proceso de producción.
2. Describir con claridad el proceso general de trituración de los agregados.
3. Detectar problemas que afecten la eficiencia de la trituración en el área del triturador.
4. Proponer mejoras al sistema de producción actual, que aumenten la productividad de la trituradora.
5. Proponer formas de seguimiento para la detección de fallas en la trituradora.
6. Establecer un criterio simple para medición de eficiencia del triturador.
7. Medir la eficiencia del triturador para incrementar la producción.

INTRODUCCIÓN

La trituración es todo una arte que permite extraer de las montañas o causes de los ríos los agregados necesarios para la construcción de casas, carreteras, puentes, y todo lo relacionado con la construcción. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso en ingeniería, y sus características dependen de la necesidad de las empresas.

La selección del tipo de trituradora a utilizar para la fabricación de agregados depende de la fase de trituración en que se encuentre, el material que se este triturando y que tecnología se requiera. Al seleccionar una trituradora de tipo impacto de eje horizontal o HSI por sus siglas en inglés, se busca obtener una buena cubricidad en el material y una gran producción de agregados “finos”. Estos tienen también la ventaja de poseer menos partes móviles, con lo cual minimizan las fallas mecánicas que podrían presentar, simplificando el mantenimiento.

Para aprovechar todas las ventajas que ofrece una trituradora de este tipo, se necesita medir su eficiencia, así como lograr establecer y localizar las fallas en el sistema para proponer soluciones factibles a éstos. De esta forma se logrará el incremento de producción y se disminuirán los costos, logrando así un aumento de rentabilidad.

El siguiente trabajo fue realizado en la planta zona 6 de Agregados de Guatemala o Agregua. Se enfocó en la trituradora tipo HSI marca Kolber Pioneer Inc modelo 5260.

Al momento de haber sido realizado el presente estudio, la trituradora no poseía mucho tiempo de funcionamiento, por lo que se carecía de la experiencia necesaria en el manejo de ésta. Además ésta fue el reemplazo de dos trituradoras de tipo cono, con lo cual su montaje fue adaptado al área donde operaban.

Por estos y otros motivos no se poseía una forma específica de medir la eficiencia de operación, con lo cual no se podía hablar de mejoras, o simplemente no se podía medir un incremento en la eficiencia de ésta.

Plantear una solución simple y factible a este problema es lo que se busca en este trabajo, para lo cual se emplean técnicas de medición e investigaciones hechas previamente por estudiosos en trituración.

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Agregados de Guatemala, S.A. “AGREGUA”

Agregados de Guatemala, S.A. o “AGREGUA”, es una empresa líder en Guatemala, creada para satisfacer las exigencias de los agregados para la construcción. Trabaja bajo las normas ASTM, para brindar a los clientes el mejor servicio y materiales de la más alta calidad.

1.1.1 Ubicación:

La planta zona 6 de AGREGUA, donde se ha realizado el estudio, se encuentra ubicada donde fue antiguamente La Pedrera, en la 15 avenida 22-01 zona 6, interior finca la Pedrera, Guatemala.

1.1.2 Breve reseña histórica de la empresa AGREGUA

Agregua es una nueva empresa dedicada a la producción de agregados. Surgió el 04 de marzo del 2004 luego de la unión de tres líderes en trituración como respuesta al crecimiento del sector de la construcción. Gracias a ello, a pesar de ser una nueva empresa, posee la experiencia y capacidad de grandes empresas como La Pedrera y Cementos Progreso.

1.1.3 Productos que fabrican

a) Piedrín: se siguen las normas ASTM para cumplir con las siguientes granulometrías:

- 1 ½ “ número 4
- 1” número 56
- 1” número 57

- 3/8" número 8
- b) Arena: Arena triturada de caliza o basalto; puede ser sometida a un tratamiento de lavado para eliminar partículas finas; cumpliendo con las normas internacionales para las arenas. Se produce:
- Arena triturada lavada
 - Arena natural
 - Arena triturada
- c) Base triturada: se obtienen bases trituradas desde diversas medidas hasta 0 pulg.
- d) Otros productos: También se ofrece el servicio de trituración de otros productos como yeso, cerámica, etc. y cualquier otro material que requiere reducción de diferentes dimensiones.

1.1.4 Misión

Su misión es: "Proveer a los mercados de la región con los mejores agregados, productos y servicios relacionados, basándonos en los principios de responsabilidad social, integridad y excelencia para satisfacer las necesidades de nuestros clientes y de la comunidad"

1.1.5 Visión 2015

Su visión es: "Ser el proveedor líder en la región de agregados, productos y servicios relacionados."

1.1.6 Valores

- ✓ Trabajo en equipo
- ✓ Alegría
- ✓ Justicia (dar a cada quien lo que le corresponde)
- ✓ Integridad, ética, honestidad, respeto, confianza, lealtad
- ✓ Fortaleza (capacidad de superar obstáculos)
- ✓ Tenacidad y esfuerzo

- ✓ Excelencia
- ✓ Responsabilidad
- ✓ Personal, institucional y comunitaria

1.1.7 Misión corporativa (Slogan):

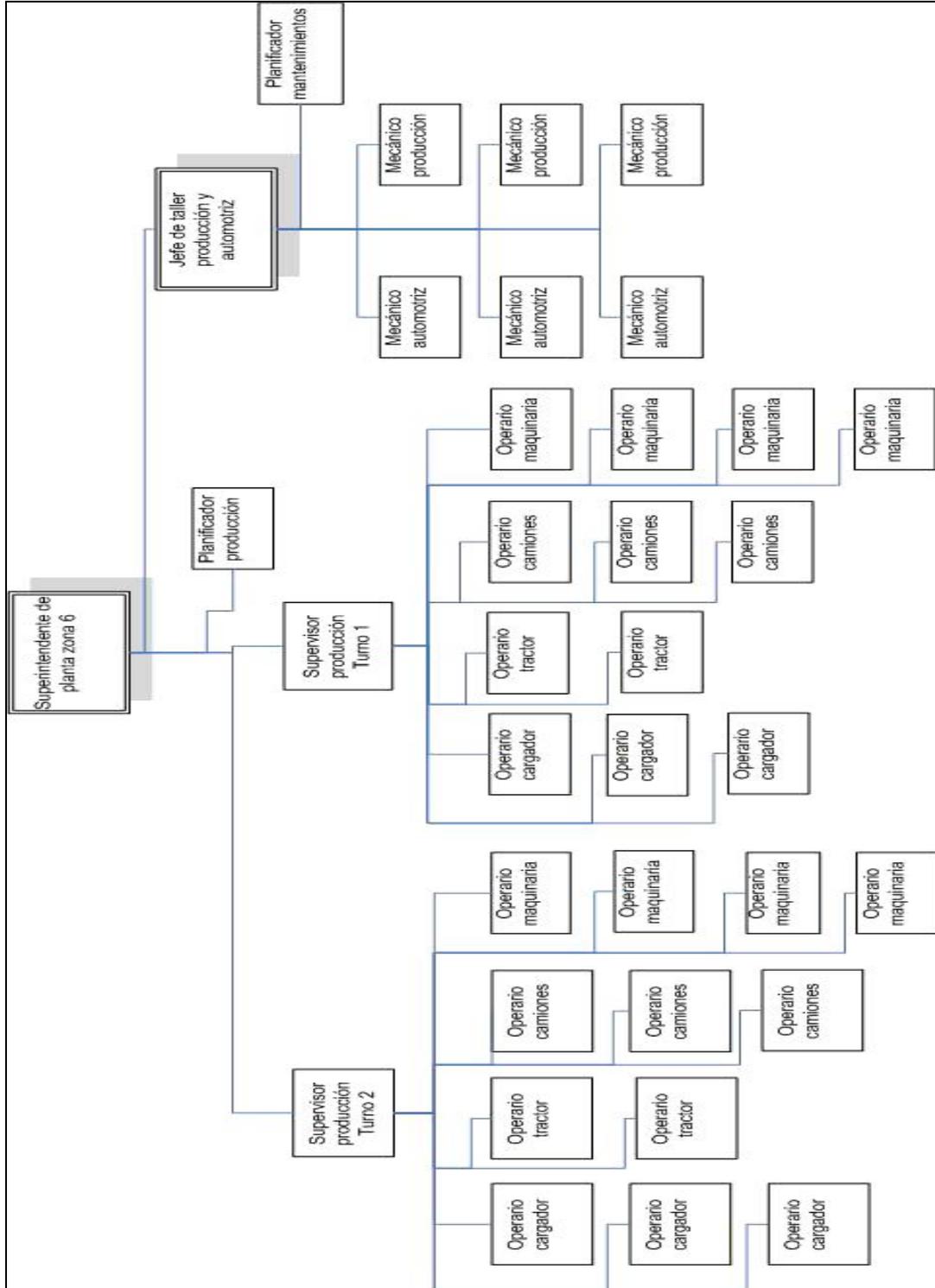
“Agregamos Valor.”

1.1.8 Organigrama de planta zona 6

Se presenta una breve descripción de los puestos de trabajo y el organigrama de la planta.

- Superintendente de planta: El superintendente de planta tiene a su cargo la producción; esto implica velar para alcanzar o superar la meta de producción por los medios necesarios. Es jefe inmediato de los supervisores de producción, el jefe de taller, y los planificadores (producción y mantenimiento).
- Jefe de taller de producción y automotriz: Esta a cargo de solucionar los problemas relacionados con la maquinaria, ya sean de producción o automotriz. También tiene a su cargo la instalación de nuevas máquinas o cambios en las líneas de producción.
- Planificadores (producción y mantenimiento): Tienen a su cargo la planificación de actividades en su área (producción o mantenimiento). Llevan los registros de horas extras, permisos, vacaciones y lo relacionado con el personal de su área; a demás registran el uso de recursos que se usan en la planta según su área.
- Supervisores: Supervisan al personal operativo para que el plan de mantenimiento se lleve cabo.

Figura 1 Organigrama de planta zona 6



1.2 Definición de agregado

Generalmente se entiende por agregados o áridos a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. Son un conjunto de partículas de origen natural o artificial que pueden ser tratados o elaborados. El concreto es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen, de una mezcla típica de concreto. Los agregados deben de cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser materiales minerales
- Ser de origen natural o artificial
- Ser de carácter sólido e inerte
- Ser dimensionado en la granulometría y forma adecuada
- Ser utilizados, mediante su mezcla íntima con aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos, para la fabricación de: Hormigones, productos artificiales resistentes, aglomerados asfálticos, zahorras para la construcción de bases granulares, bases estabilizadas, etc. en construcción de obras de infraestructura.

El consumo de agregados está íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada país y, consecuentemente, con la calidad de vida alcanzada en la sociedad. Los agregados suponen hasta un 50% de la producción minera mundial, a pesar de que su dispersión no permite conocer con buena precisión las producciones.

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos son una combinación de material triturado cuyas partículas son mayores de 5mm.

1.2.1 Calidad de los agregados

El agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.
- El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados:

Tabla I Granulometría del agregado fino, ASTM C33

Tamiz Especificación E 11	Porcentaje que pasa
3/8 in (9.5 mm)	100%
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1,18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600- μ m)	25 a 60 %
No. 50 (300- μ m)	10 a 30 %
No. 100 (150- μ m)	2 a 10 %

Fuente: Normas ASTM C33 para agregados de concreto

El agregado grueso puede consistir de grava natural, triturada, piedra partida, agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos puede ser natural o artificial. El agregado grueso deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.

- Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4".
- El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la tabla II.

1.3 Proceso de fabricación de agregados

Para la obtención de los agregados se sigue un proceso de minería y trituración. Esto se consigue con la conminución del material, en la cual el mineral es paulatinamente reducido hasta que las partículas de mineral limpio puedan ser separadas por los métodos disponibles. A continuación se describe un proceso general para la extracción de agregados.

Tabla II Requisitos granulométricos del agregado grueso, ASTM C33

Nº A.S.T.M	TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 Mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	
		4"	3.5"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	
1	31/2" a 11/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	21/2" a 11/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	2" a Nº 4				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	11/2" a ¾"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	11/2" a Nº 4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	1" a ½"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	1" a 3/8"						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	1" a Nº 4						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	¾" a 3/8"							100	90 a 10	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	¾" a Nº 4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	½" a Nº 4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
9	3/8" a Nº 8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

Fuente: Normas ASTM C33 para agregados de concreto

1.3.1 Extracción de la materia prima

En las canteras a cielo abierto se utilizan dos métodos para extraer la roca:

- a. Voladuras: Se utilizan barrenos de cadenas para perforar la tierra. Luego estas perforaciones son llenadas con explosivos para ser detonados con corriente eléctrica y así lograr que la piedra se fragmente a un tamaño idóneo para luego ser llevado al proceso de trituración.
- b. Ripeo y corte: En algunas canteras por su naturaleza se puede obtener el producto a través de maquinaria que pueda mover la tierra como son las excavadoras, tractores de orugas y/o cargadores, ya que la masa de roca no esta conformada en bloques grandes. En estas canteras sí es posible solo cortar y desgarrar para obtener el producto deseado para llevar al proceso de trituración.

Luego de estos dos métodos se sigue con el uso de maquinaria pesada, por ejemplo martillos hidráulicos de cadenas, para romper la roca en partes que sean transportables. Los cargadores frontales son los encargados de cargar a los camiones de volteo que llevan el material a través de la cantera hacia la planta trituradora

La calidad final de los productos no va a depender de la utilización de alguno de estos métodos. La calidad de la roca viene desde su cantera y no puede ser mejorada por ningún proceso, ya que sus propiedades físicas como químicas vienen desde su origen. Lo que se puede mejorar en el proceso de trituración, la forma del producto final el cual es sumamente importante para la calidad.

1.3.2 Teoría de la conminución:

Para la extracción de rocas minerales hay que desarrollar todo un proceso de separación del material valioso y no valioso; esto se debe a que la cantidad de material que no es valioso, llamado ganga, supera en volumen al valioso lo que da en consecuencia una alta relación de desperdicio.

Debido a que la mayoría de los minerales se encuentran diseminados y muy ligados con la ganga, ellos tienen que ser liberados antes de ser separados. Esto se consigue con la conminución.

La conminución o reducción de tamaño de un material, es normalmente la primera etapa en el procesamiento de minerales. Los objetivos de la conminución pueden ser:

1. Producir partículas de forma y tamaño adecuados para su utilización directa.
2. Liberar materiales valiosos de la ganga, de modo que puedan ser concentrados.
3. Aumentar el área superficial por unidad de volumen.

La conminución en su etapa inicial se lleva a cabo en la mina o cantera con la voladura. Los explosivos se usan para liberar los minerales que se encuentran en las entrañas de la tierra. Luego de este proceso, el mineral se somete a las siguientes etapas: trituración y molienda. Dependiendo del tamaño de las partículas la conminución se acostumbra a dividir en:

- a) Triturado: para la entrada de partículas gruesas mayores que 2"
- b) Molienda: para la entrada de partículas menores de 1/2" - 3/8"

Las operaciones de conminución se caracterizan por su elevado consumo de energía en comparación a otras operaciones y son ineficientes desde el punto de vista de la utilización de la energía en los equipos. Gran parte de la energía mecánica suministrada a un proceso de conminución, se consume en vencer resistencias propias del material o al generar fuerzas no deseadas como:

- a. Deformaciones elásticas de las partículas
- b. Deformaciones plásticas de las partículas
- c. Fricción entre las partículas
- d. Inercia de las piezas de la máquina
- e. Deformaciones elásticas de la máquina
- f. Generación de ruido
- g. Generación de calor
- h. Generación de vibraciones no deseadas de la instalación
- i. Pérdidas de eficiencia en la transmisión de energía eléctrica y mecánica

Por este motivo es necesario establecer relaciones entre la energía específica [Kwh. ton] consumida en un proceso de conminución y la reducción de tamaño alcanzado en el proceso. En este sentido existen tres grandes teorías:

- **Principio de Rittinger (1867) (primera ley de la conminución)**

“La energía específica consumida en la reducción de tamaño de un sólido, es directamente proporcional a la nueva superficie específica creada.”

Este principio considera solamente la energía necesaria para producir la ruptura de cuerpos sólidos ideales. A continuación se presenta la expresión de energía consumida:

1.3.2.a)

$$E_c = K_R \left[\left(\frac{1}{S_{80}} \right) - \left(\frac{1}{A_{80}} \right) \right]$$

Donde:

E_C = Energía específica de conminución (Kwh. /ton).

K_R = Constante de Rittinger.

S_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

A_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

- **Principio de Kick (1885) (segunda ley de la conminución)**

“La energía requerida para producir cambios análogos en el tamaño de cuerpos geoméricamente similares, es proporcional al volumen de estos cuerpos.”

Esto expresa que iguales cantidades de energía producirán iguales cambios geoméricos en el tamaño de un cuerpo. Aquí se considera que la energía utilizada en la fractura de un cuerpo sólido ideal, es sólo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura; despreciando la energía adicional para producir la ruptura del mismo. La expresión de energía consumida es:

1.3.2.b)

$$E_K = K_K \log\left(\frac{A_{80}}{S_{80}}\right)$$

Donde:

E_K = Energía específica de conminución (Kwh. /ton).

K_K = Constante de Kick.

S_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

A_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

Aún cuando el principio de Kick y de Rittinger carecen de suficiente respaldo experimental; se ha demostrado en la práctica, que para molienda de partículas finas el principio de Kick es mejor aplicado. Y para la etapa de triturado de material, el principio de Rittinger se adapta mejor.

La ley de Kick como la de Rittinger han demostrado ser aplicables para rangos muy limitados de tamaños y sus constantes K_K y K_R se deben determinar experimentalmente en ensayos con la máquina y el material que se utilizara. Por tanto, la utilidad de estas leyes es muy limitada y su interés es más histórico, aunque todavía son utilizados en algunos libros o manuales.

- **Principio de Bond (1952) (tercera ley de la conminución)**

“La energía consumida para reducir el tamaño de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño; siendo éste último igual a la abertura del tamiz (en micrones) que deja pasar el 80% en peso de las partículas.”

La tercera teoría de la conminución considera que no existen rocas ideales ni iguales en forma y que la energía consumida es proporcional a la longitud de las nuevas grietas creadas.

Bond definió la constante K_B en función del índice de trabajo del material (WI). El índice de trabajo es una constante que representa el trabajo necesario, (expresado en $Kwh. /tonelada-corta$), para reducir una tonelada corta de material desde un tamaño teóricamente infinito hasta partículas que sean un 80% inferior a $100 \mu m$. El principio de Bond tiene 3 grandes ventajas:

- Existe una gran cantidad de datos disponibles.
- Funciona bien para cálculos iniciales.

- Alternativa simple para medir la eficiencia mecánica de equipos de conminución.

1.3.2.c)

$$E_B = 0.3162 * WI \left(\frac{1}{\sqrt{S_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{A_{80}}} \right)$$

Donde:

E_B = Energía específica de conminución (Kwh. /ton. corta).

WI = Índice de trabajo (Kwh. /ton. corta).

S_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto en mm.

A_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación en mm.

1 tonelada corta = 907.18747 Kg. 1 tonelada métrica = 1016.0469088 Kg.

1 tonelada métrica = 1.12 Toneladas cortas

El parámetro WI depende tanto del material como del equipo de conminución utilizado, debiendo ser determinado experimentalmente para cada aplicación requerida; también representa la dureza del material y la eficiencia mecánica del equipo como se explicara más adelante.

Tabla III Valores de Wi para algunos materiales

Material	Wi KWh/ton. Corta	Material	Wi KWh/ton. Corta
Barita	4.73	Fluorita	8.91
Bauxita	8.78	Granito	15.13
Carbón	13.00	Grafito	43.56
Dolomía	11.27	Piedra caliza	12.74
Emery	56.70	Cuartita	9.58
Silicón férrico	10.01	Cuarzo	13.57

Fuente: Mineral processing technology, an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral

El índice de trabajo para diferentes materiales se ha obtenido por medio de pruebas de triturabilidad en diversos tamaños y en varios tipos de equipo, usando materiales idénticos de alimentación. El valor de los índices del trabajo obtenidos son indicadores de la eficiencia de las máquinas. Los consumidores más pequeños de energía son las máquinas que aplican una tensión constante, continua y compresiva en el material.

El equipo que tiene el índice de trabajo más alto, tiene por lo tanto el consumo más grande de energía. Según estudios de Lowrison en 1974 las trituradoras de quijadas y la de cono giratorio resultan ser las de índices más altos, las de índices intermedios son las trituradoras de impacto y las de rodillo son los de índice más bajo.

Hay otro factor que resulta de utilidad para estimar la eficiencia de trituración, este el índice de funcionamiento del trabajo (WIo). El valor del WIo se puede utilizar para evaluar el efecto de las variables de funcionamiento, tales como la velocidad de trituración, tamaño de la trituradora, tipo de revestimiento, etc. Cuanto más alto es el valor de WIo, más baja es la eficiencia de trituración.

El WIo se puede obtener usando la ecuación de la tercera ley de conminución (Bond), definiendo E_c como la energía específica que esta siendo utilizada (nivel de energía entrada/salida), A y S como los tamaños reales del 80% de la alimentación y del producto y W_i como el índice de funcionamiento del trabajo, W_{Io} . Corregida la fórmula quedaría así:

$$E_c = 0.3162 * W_{Io} * \left(\frac{1}{\sqrt{S_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{A_{80}}} \right)$$

1.3.2.d)

$$W_{Io} = \frac{E_c}{0.3162 * \left(\frac{1}{\sqrt{S_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{A_{80}}} \right)}$$

Donde:

E_c = Energía específica que esta siendo utilizada (Kwh. /ton-corta).

W_{Io} = Índice de funcionamiento de trabajo (Kwh. /ton-corta).

S_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante real de producto en mm.

A_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante real de alimentación en mm.

Una vez corregida la fórmula para el uso particular, W_{io} permite realizar una comparación directa de la eficacia en la trituración. Idealmente W_i debería ser igual a W_{io} . Se puede utilizar una comparación de razones porcentual para la comparación de eficiencia. La expresión quede de la siguiente manera:

1.3.2.e)
$$\frac{W_i}{W_{Io}} \times 100\%$$

Debe ser observado que el valor de W es la energía aplicada al eje del piñón de la trituradora. La energía de entrada del motor tiene que ser convertida así a la energía en el eje del piñón de la trituradora, a menos que el motor este directo al eje del piñón.

1.3.2.1 Relación de reducción

La energía consumida en los procesos de trituración, molienda, y clasificación, se encuentra estrechamente relacionada con el grado de reducción de tamaño alcanzado por las partículas en la correspondiente etapa de conminución.

Cuando una trituradora comienza a funcionar, su rendimiento va de acuerdo a la reducción de tamaños entre la alimentación de material y la descarga. Cuando un equipo triturador con su ajuste más pequeño no presente la posibilidad de reducir el material al específico, será necesario otro equipo con el cual alcanzar la granulometría deseada.

Fundamentalmente, la reducción de tamaños consiste en la separación de una partícula en dos o más partes, lo que significa la formación de superficie adicional. Esta nueva superficie es por lo menos igual al doble del área sobre la cual se efectuó la separación.

El cambio en el área superficial de un sólido triturado es una medida del cambio de tamaño de las partículas que componen el sólido. En el fondo es una medida de la reducción de tamaños. En otras palabras, se podría decir que el resultado de la conminución se puede medir a través de una razón de reducción (R).

Esta razón es igual a el tamaño de la entrada dividido el tamaño de salida. Por esto R siempre es mayor que 1. Como las partículas no se rompen en iguales tamaños o formas, conviene utilizar el criterio de aceptar el 80% del material.

$$R = \frac{De}{Ds}$$

1.3.2.1.a)

$$R = \frac{De80}{Ds80}$$

Donde

R: Razón de reducción.

De80: Diámetro del material de entrada del 80 % pasante acumulado.

Ds80: Diámetro del material de salida del 80 % pasante acumulado.

1.3.3 Proceso de trituración

El objetivo de la conminución es la reducción del tamaño de las rocas y, según esto, la primera pregunta que surge es por qué la acción no se hace de una sola vez. Es decir, que un equipo tome un trozo de material y lo convierta en arena en un solo paso.

Desafortunadamente, no se ha podido desarrollar una máquina capaz de realizar el proceso de una sola vez para todos los tipos de materiales. Por esto, en la mayoría de las aplicaciones, son necesarias varias etapas de fragmentación y más de un equipo.

La trituración es aquella operación unitaria o grupos de operaciones concernientes a la reducción de trozos grandes de rocas hasta fragmentos, donde las partículas más grandes en el producto son del orden de 1/4" a 3/8". Esta se divide por etapas, según sea el tamaño del producto que se requiera. Estas etapas se denominan trituración primaria, secundaria, terciaria, cuaternaria, etc.

Estas etapas, junto con otros factores, se relacionan con la selección de la maquinaria que se emplea. Estos equipos de trituración pueden clasificarse en diferentes categorías en función de la naturaleza de las fuerzas que actúan, estas son:

- **Por impacto:** Estos aparatos utilizan el hecho de que la energía cinética de un cuerpo en movimiento es integralmente transformada, partir de un choque, en energía de deformación, afectando al cuerpo y al obstáculo. Los aparatos más utilizados en el mundo son los molinos de impacto y los molinos de martillos.
- **Por compresión:** Estos son aparatos que utilizan la fuerza de compresión para fracturar el material. La fractura ocurre cuando la energía aplicada es suficiente, de forma que pocas regiones se fracturan, produciéndose pocas partículas cuyos tamaños son relativamente iguales al original.
- **Por fricción:** Estos aparatos tienen por principio el someter el material a esfuerzos de frotamiento o fricción, obligándolo a pasar entre dos superficies lisas o rugosas. Siendo una de las piezas fija y la otra móvil, o donde ambas son móviles, animadas de velocidades diferentes. La acción

de fricción o de atracción está siempre combinada con una acción de aplastamiento o comprensión.

- **Mixtos:** Este tipo de máquinas producen la reducción del tamaño de las partículas por una combinación de compresión, fricción e impacto. Se encuentran representados por los molinos de bolas y de barras que trabajan en medio húmedo y seco. Estos molinos están constituidos por tambores cilíndricos o cónicos de eje horizontal, provistos, en su interior, de blindajes y parcialmente rellenos de cuerpos de molienda (bolas de acero, barras cilíndricas de acero, etc.).
- **Autógenos:** Consisten en máquinas que, en lugar de utilizar las barras o bolas como medio de trituración, usan bien las propias partículas como agentes de trituración (autógenos), o partículas mezcladas con una pequeña cantidad de bolas de acero (semi-autógenos). Estas máquinas en general presentan un coste de capital inferior, menores trabajos de mantenimiento y un consumo en material de molienda menor.

Las diferencias entre unos y otros equipos son importantes, aunque la característica más importante es el tipo de fragmentos que generan. Por ejemplo un aparato que actúa por compresión produce una menor cantidad de finos que otro que actúa por impacto y éste a su vez, menor cantidad de material fino que los que actúa por fricción.

Entre el tipo de maquinaria y la etapa de trituración existen también criterios importantes a tomar en cuenta. Se puede mencionar que en la primera fase se suele seleccionar a los equipos que actúan por compresión, al ser éste el mejor método de generar una fractura en partículas de tamaños grande. Al contrario, para etapas de molienda es más frecuente la utilización de equipos que actúan por fricción y percusión.

La trituración se realiza en lo que se le denomina un circuito. En general, se tienen 2 tipos de circuito:

- **Circuito abierto:** Es el circuito que deja pasar el producto final sin clasificación o sin retorno hacia la trituradora en el proceso.
- **Circuito cerrado:** es el circuito en donde, el producto, al salir de la trituradora es clasificado por tamaños. El material que no posee el tamaño requerido es regresado de nuevo a la trituradora o a una trituradora especial para el circuito. El material pasante sigue hacia la etapa de trituración siguiente. Este circuito a su vez se clasifica en :
 - *Circuito cerrado directo:* El material de entrada se combina con el retorno
 - *Circuito cerrado inverso:* Existe una trituradora específica para el retorno.

Figura 2 Circuito cerrado directo

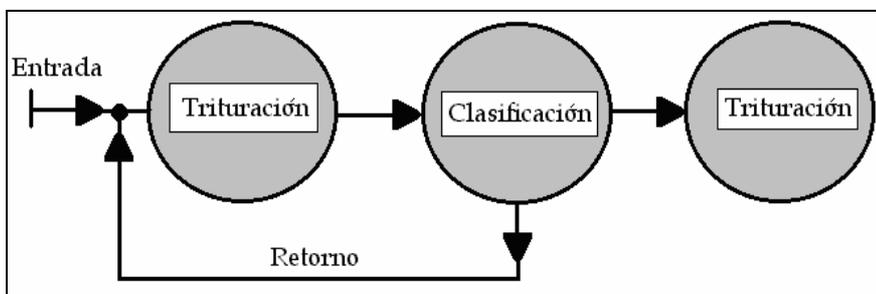
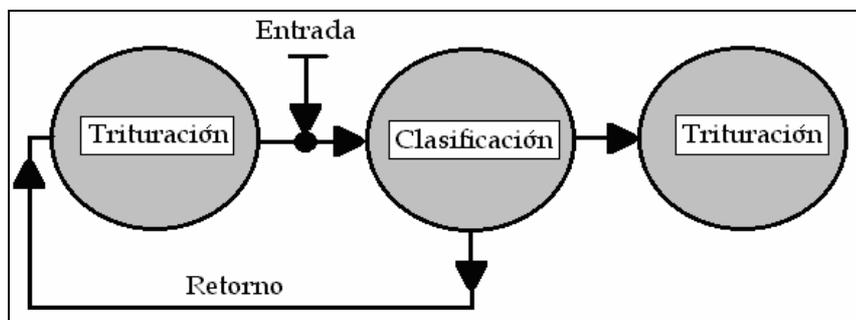


Figura 3 Circuito cerrado inverso



1.3.4 Características de la piedra caliza

La caliza es una roca sedimentaria porosa formada principalmente por carbonatos de calcio. Cuando esta tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomía. Posee una matriz de grano fino y textura regular, con un sistema cristalino trigonal o romboédrico.

En la industria de la construcción, esta se utiliza como materia prima para el Cemento Pórtland, cal hidratada, agregados pétreos, etc. Posee una dureza de 3 a 4 en la escala de Mohs, una densidad relativa de 2.66 y un índice de trabajo de 12.74 Kwh. /Tc. Se resume a continuación, en la siguiente tabla, sus propiedades más importantes:

Tabla IV Propiedades de la piedra caliza

Mineral	Escala de Mohs	Referencia aproximada de dureza	Densidad relativa	WI Kwh. /Tc
Piedra Caliza	3-4	Moneda de cobre	2.66	12.74

1.4 Tipos de trituradoras

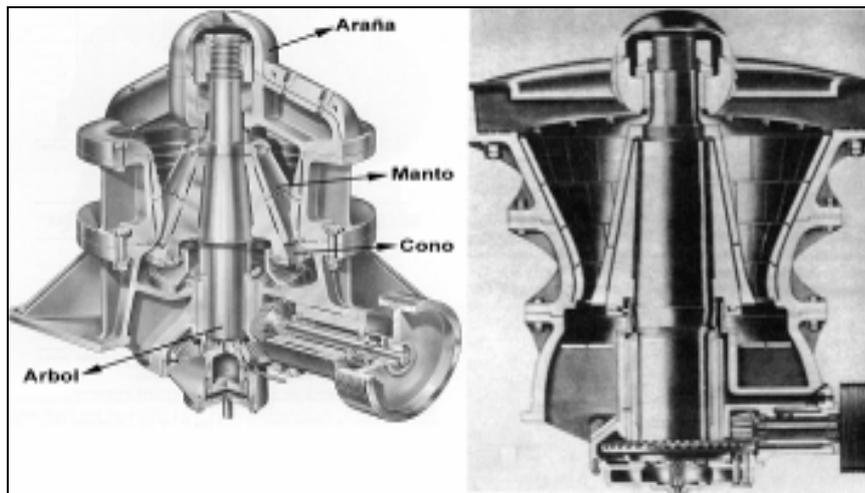
Existe una variedad respecto a los tipos de trituradoras existentes, cada una con uso y características específicas. La selección del tipo de máquina esta muy relacionado con la etapa de trituración, tamaño de material de entrada y flujo de material. A continuación se da una breve descripción de algunos equipos más usados clasificados por etapa:

Trituradoras primarias: Fracturan el material de alimentación proveniente de la mina o cantera, desde 60" hasta bajo 8" a 6" de producto. Entre las trituradoras primarias más utilizadas tenemos:

Trituradora giratorias: Está constituido por un eje vertical (árbol) con un elemento de molienda cónico llamado cabeza, recubierto por una capa de material de alta dureza llamado manto. La cabeza se mueve en forma de elipse debido al efecto de movimiento excéntrico que le entrega el motor. Esta máquina tritura durante el ciclo completo, por lo que se le prefiere en plantas que tratan altos flujos de material.

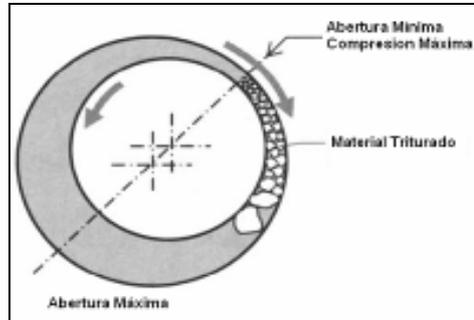
La cámara de trituración es el espacio comprendido entre el cono triturador y el cóncavo, en su movimiento rotatorio va aprisionado a las partículas que entran a la cámara de trituración y las tritura por compresión.

Figura 4 Partes y funcionamiento de una trituradora tipo cono



Fuente: Mineral processing technology, an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral

Figura 5 Abertura de trituradora tipo cono



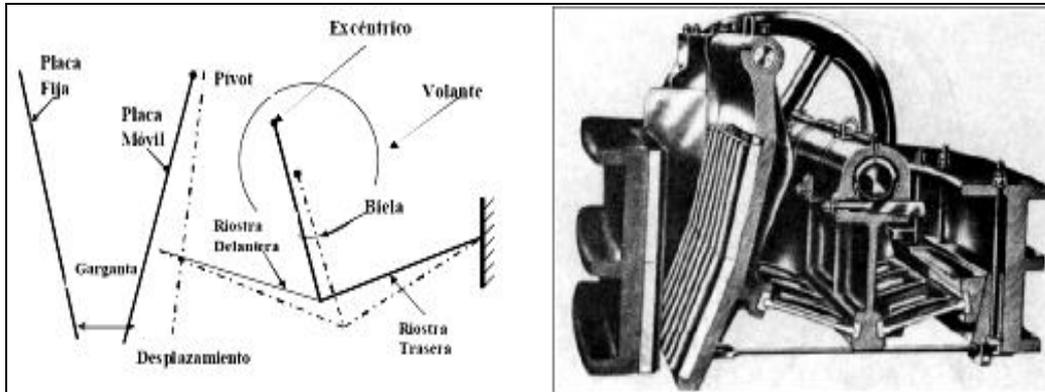
Fuente: Preparación Mecánica de Minerales

Tritrador de mandíbulas: Consta de dos placas de hierro instaladas de tal manera que una de ellas se mantiene fija y la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija. Durante este movimiento se logra fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos placas (cámara de trituración).

El movimiento de vaivén de la mandíbula móvil es accionado por el movimiento vertical (ascendente y descendente) de una biela (pitman) la cual esta articulada a un eje excéntrico en la parte superior y a dos travesaños por la parte inferior. Debido a éste movimiento de vaivén de la mandíbula móvil, las partículas que entran al espacio comprendido entre ambas mandíbulas se fragmentan principalmente por fuerzas de compresión.

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

Figura 6 Trituradora de mandíbulas



Fuente: Manual de entrenamiento en concentración de minerales

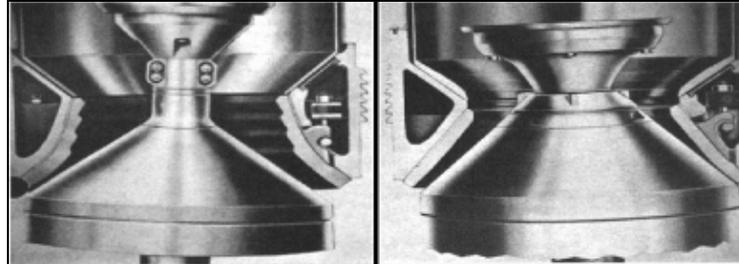
Trituradoras secundarias: Fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3" a 2". Este tipo de máquinas son las mismas que las terciarias, cuaternarias, etc. Con la diferencia del tamaño de abertura y de salida. Entre estas máquinas tenemos:

Trituradoras giratorias: En este caso se usan las trituradoras giratorias descritas anteriormente, pero con menor tamaño y menos potencia. Esto es con el objeto de producir un tamaño adecuado de producto.

Trituradoras cónicas: La trituradora cónica es una trituradora giratoria modificada. La diferencia principal es que el eje y cono triturador no están suspendidos de la araña sino que están soportados por un descanso universal ubicado por debajo.

Como ya no es necesaria una gran abertura de alimentación el cono exterior ya no es abierto en la parte superior. El ángulo entre las superficies de trituración es el mismo para ambas trituradoras, esto proporciona a las trituradoras cónicas una mayor capacidad.

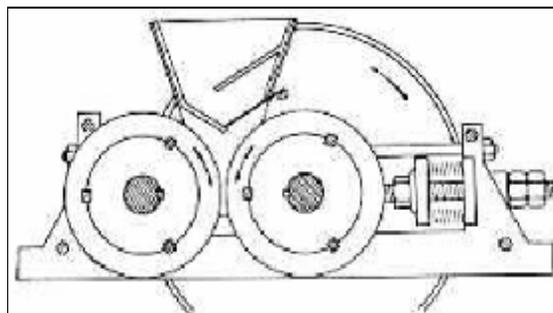
Figura 7 Trituradora cónica secundaria



Fuente: Mineral processing technology, an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral

Trituradora de rodillos o martillos: El modo de operación es muy simple. Consiste en dos rodillos horizontales, los cuales giran en direcciones opuestas. El eje de una de ellas esta sujeta un sistema de resortes que permite la ampliación de la apertura de descarga en caso de ingreso de partículas duras. La superficie de ambos rodillos esta cubierta por forros de acero al manganeso, para evitar el excesivo desgaste.

Figura 8 Diagrama de una trituradora de rodillos o martillos



Fuente: Manual de entrenamiento en concentración de minerales

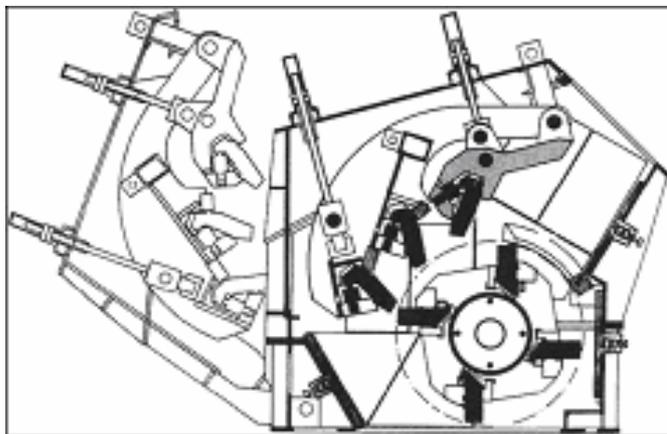
Trituradoras de impacto: En este tipo de máquinas, la trituración es por fuerza de impacto en vez de compresión, aplicado por barras denominadas “*blow bars*” o impactadoras. Los *blow bars* aplican velocidad a la roca que cae libremente en la entrada. Estas barras móviles hacen también de martillos, transfiriendo algo de su energía cinética a las partículas del mineral que entran en contacto con ellas.

Esto crea grandes tensiones internas en las partículas, lo cual hace que se rompan. Estas fuerzas son aumentadas haciendo que las partículas choquen sobre una placa en la cámara de trituración denominados *aprons*.

Hay una diferencia importante entre los productos triturados por tensión y por impacto. En un material sometido a tensión quedan esfuerzos internos residuales que pueden causar grietas más adelante. La fuerza de impacto causa una fractura inmediata sin tensiones residuales. Esta condición libre de esfuerzos es particularmente valiosa en la piedra usada para la fabricación de ladrillos, edificios, carreteras, etc.

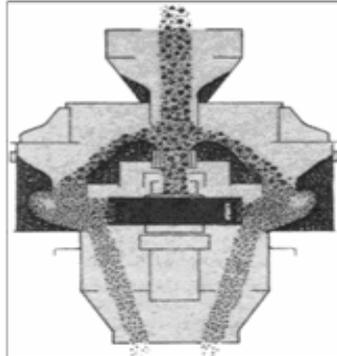
Las trituradoras de impacto se dividen por la posición de su eje, siendo así de impacto con eje horizontal (HSI) o con eje vertical (VSI).

Figura 9 Trituradora de impacto con eje horizontal



Fuente: Mineral processing technology, an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral

Figura 10 Trituradora de impacto con eje vertical



Fuente: Mineral processing technology, an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral

La eficiencia y / o rendimiento de las trituradoras, no importando la fase en que se encuentre, esta influenciada en su mayoría por los siguientes factores:

- ✓ Velocidad de alimentación
- ✓ Tamaño del mineral que se alimenta
- ✓ Dureza del mineral
- ✓ Humedad del mineral
- ✓ Tamaño del mineral que se reduce
- ✓ Desgaste de las corazas
- ✓ Potencia de trabajo requerido
- ✓ Control de operación
- ✓ Insuficiente zona de descarga del triturador
- ✓ Falta de control en la alimentación
- ✓ Controles de automatización

Para calcular el consumo energético por tonelada de mineral triturado de cualquier trituradora, no importando a que fase pertenezca, se emplea las siguientes relaciones:

1.4.a)

$$P = \frac{V * I * \sqrt{3} * \cos \phi}{1000}$$

1.4.b)

$$W = \frac{P}{T}$$

Donde:

P = Potencia realmente suministrada

W = Consumo de energía (Kwh. /ton)

V = Voltaje suministrado al motor, se toma de la placa

I = Amperaje realmente suministrado al motor. Se determina realizando un promedio de mediciones.

Cos Φ = Factor de potencia

T = Tonelaje de mineral alimentado (ton / hr.)

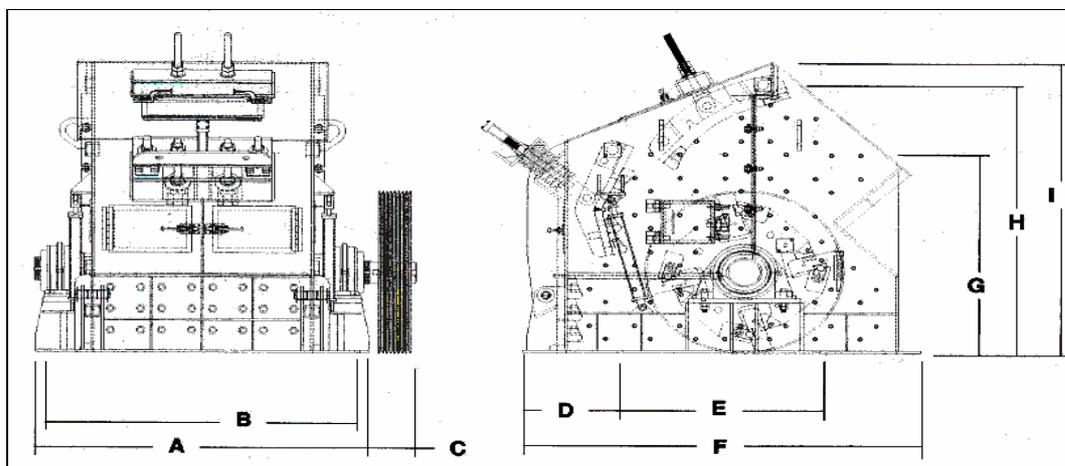
1.5 Trituradora de impacto con eje horizontal KPI 5260

La trituradora de impacto con eje horizontal utiliza la fuerza centrífuga, impactos de martillos e impactos de roca contra roca para lograr la fragmentación de esta. Debido a esto se dice que esta trituradora es semiautógena.

1.5.1 Descripción

La trituradora consta con las siguientes medidas y especificaciones:

Figura 11 Medidas superficiares del HSI KPI 5260



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

A:	8'	(2.45m)	F:	8' 10"	(2.70 m)
B:	7' 5"	(2.27 m)	G:	61 3/4"	(1.58 m)
C:	13 3/4"	(336 mm)	H:	7' 3 1/4"	(2.23m)
D:	26"	(660 mm)	I:	8'	(2.45 m)
E:	54"	(1.38 m)			

Tabla V Especificaciones técnicas HSI KPI 5260

Eje:	Acero SAE 4140 de 9" de diámetro
Cojinetes:	Esféricos con auto alineación lubricados con grasa.
Abertura de alimentación:	36" altura x 60" ancho (914 mm x 1523 mm)
Dimensiones de rotor:	52" Diámetro x 60" ancho (1320 mm x 1523 mm)
Peso del HSI:	39,000 Lb. (17,691 Kg.)
Revoluciones por minuto (Rpm):	330-600
Pies por minuto (Fpm):	4000-8000
HP recomendado:	300-400 para motor eléctrico
Capacidad aproximada:	300-450 ton-h
Tamaño máximo de entrada:	36" x 36" x 12" Material reciclado
	0"- 12" Piedra caliza
	8"- 10" Piedra sólida
Ajustes mínimos de aprons:	Primario 3"
	Secundario 1 1/2"
Barras de Impacto:	4 <i>blow bars</i> con alto contenido de cromo de 950 lb. cada una.

Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

1.5.2 Funcionamiento

La trituración comienza cuando el material es introducido en la entrada o "boca" de esta. El material llega hacia el interior de la cámara de trituración con una velocidad inicial proporcionado por la inclinación del "chifle" de entrada. Adentro de la cámara se encuentra el rotor girando a gran velocidad; el cual esta provisto de "*blow bars*", martillos o barras de impacto.

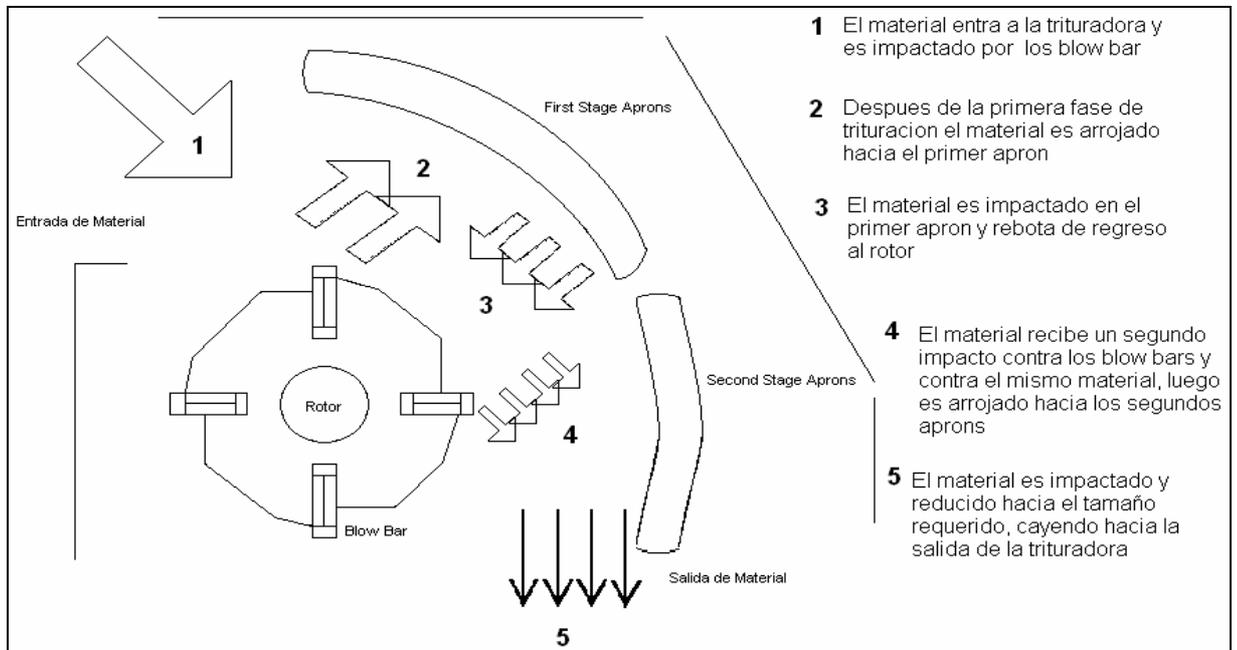
Estas barras provocan la fragmentación inicial cuando el material es golpeado por ellas en una acción parecida al golpe de un martillo. Estas transmiten también energía cinética al material. Debido a esta energía, el material es lanzado con gran fuerza hacia unas corazas, diseñadas especialmente para sufrir impactos y quebrar el material, denominadas “*aprons*” (por su nombre en inglés).

Existen dos clases o fases de *aprons*, la primera es denominada “*first stage apron*” o *aprons* de primera fase. Luego el material rebota nuevamente al rotor recibiendo otro golpe de los *blow bars* y el material mismo, triturándose aún más.

De nuevo en el rotor, el material, es lanzado hacia otras corazas denominadas “*second stage aprons*” o *aprons* de segunda fase. Es aquí en donde el material es triturado con la medida deseada. El producto final cae entre los *blow bars* y los *aprons* de segunda fase.

La siguiente figura muestra de forma simple el recorrido del material y el proceso de trituración que sufre dentro de la trituradora. La flecha grande representa el material entero o de gran tamaño. Se muestra que a medida que avanza por la trituradora va disminuyendo su tamaño. Esta es solamente una figura explicativa y no se encuentra a escala o da idea de las medidas reales.

Figura 12 Funcionamiento del HSI KPI 5260

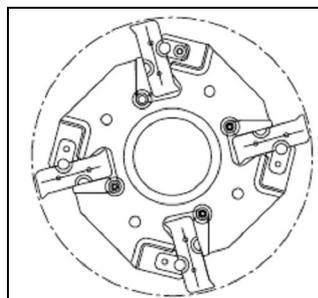


1.5.2.1 Descripción de partes principales

A continuación se presenta una descripción de las partes principales de la trituradora y sus funciones:

Rotor: El rotor es el corazón de la trituradora, aquí se genera la fuerza centrífuga necesaria para fragmentar la roca. Esta versión de la trituradora consta de 4 *blow bars* y tiene un diámetro de 52"

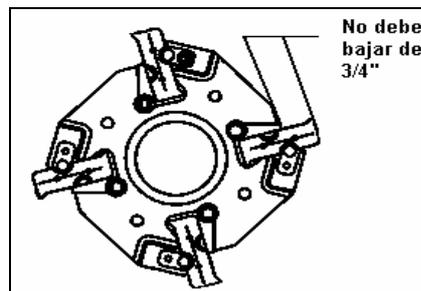
Figura 13 Rotor de cuatro barras



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

Blow bars: Los *blow bars* son barras de metal que están sujetas al rotor; estas se encargan de impactar el material como un martillo y propulsarlo hacia los *aprons* para reducir su tamaño o triturarlo. El grosor mínimo tolerado para estas, medido desde el rotor, es de $\frac{3}{4}$ ".

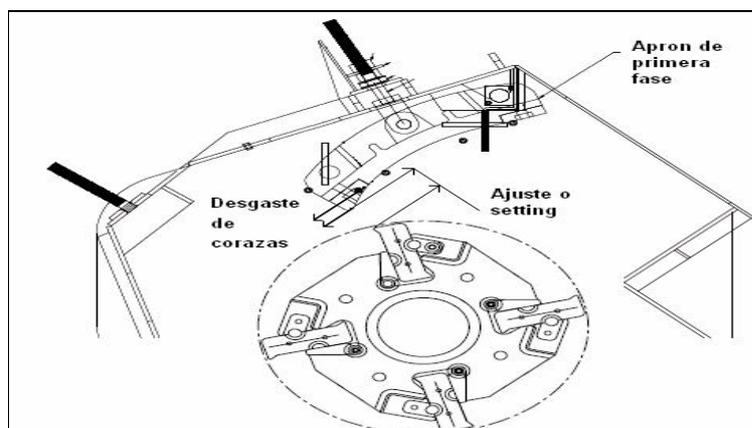
Figura 14 Medida de *blow bars*



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

Aprons de primera fase: Los *aprons* de primera fase reciben parte de la fuerza inicial que se le transmite al material por medio del rotor. Estos *aprons* rebotan el material que no se ha triturado devuelta hacia el rotor. El *setting* o ajuste de este *apron* es la distancia medida del *blow bar* hacia la punta de la coraza. Este *setting* no debe bajar de 3". El desgaste de las corazas no debe ser mayor de $\frac{1}{2}$ ".

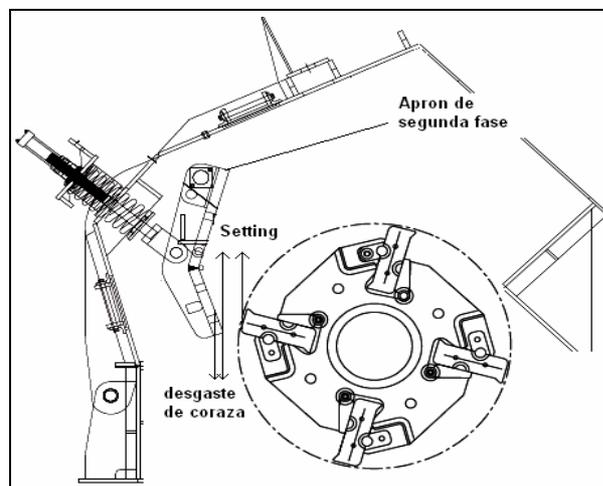
Figura 15 *Apron* de primera fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

Aprons de segunda fase: En estos *aprons* de segunda fase es en donde la mayor parte de la trituración ocurre. Este *apron* esta hecho con placas curvas especiales de impacto las cuales maximizan el proceso de fragmentación. El *setting* o ajuste de este *apron* es la distancia medida del *blow bar* hacia la punta de la coraza. Este *setting* no debe bajar de 1 1/2". El desgaste de las corazas no debe ser mayor de 1/2".

Figura 16 Apron de segunda fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

Acceso principal hidráulico: Este sistema permite abrir la carcasa de la trituradora, dando acceso al rotor y/o a los componentes internos.

1.6 Definición de eficiencia

A la eficiencia se le ha dado muchas definiciones y su campo de aplicación abarca todo lo relacionado con la transformación de insumos en productos o servicios.

La eficiencia esta muy ligada a varios conceptos, lo que hace que se confunda fácilmente. La eficiencia y la eficacia son índices importantes de la productividad, el cual es la base para mejorar el diseño del trabajo. Por lo tanto, antes de entender el concepto de eficiencia, se debe tener claro el concepto de productividad y cual es el objetivo de su estudio.

Roberto G. Criollo en el libro estudio del trabajo, define a la productividad como “el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos determinados”. Esto implica que la productividad no solo relaciona el producto final con costos, sino que relaciona todos los recursos que se han utilizado. También se infiere que la productividad no es solamente para una empresa manufacturera, sino se aplica a cualquier empresa que busque alcanzar un objetivo determinado sea lucrativa o no lucrativa.

El objetivo de estudiar la productividad es simplemente poder incrementarla. Esto llevara a la empresa a reducir costos y aumentar la calidad de los productos, lo que representará un salario más justo para los trabajadores y un mayor desarrollo para la comunidad.

La eficiencia es la forma en que se usan los recursos de la empresa, es producir bienes en el menor tiempo posible a un mínimo costo. La eficiencia evalúa recursos utilizados particulares y los compara con los resultados logrados. Por lo tanto se puede decir también que la eficiencia es el grado de rendimiento que se logra por un trabajo comparado con una norma preestablecida.

Algunos factores que afectan a la eficiencia son lo tiempos muertos, los desperdicios, el porcentaje de utilización de la capacidad instalada. Cabe resaltar que este es más un factor cuantitativo.

Finalmente como definición de la eficacia se tiene que es la obtención de los recursos deseados. Este concepto no implica costos ni tiempo y representa valor para el cliente, este es mas bien un factor cualitativo. La eficacia mira el grado de cumplimiento de los programas establecidos.

Una relación simple de las tres definiciones anteriores es: producir el mayor número de exumos con insumos mínimos en el menor tiempo (eficiencia), con calidad y el menor número de defectos, cumpliendo las metas de producción (eficacia), es trabajar con productividad.

1.6.1 Medición de eficiencia

Sabiendo ahora qué es y para que sirve la eficiencia; es necesario poder cuantificarla. La eficiencia (e) se expresa matemáticamente como la razón entre lo real obtenido y el insumo utilizado. Como porcentaje (e%) se calcula como la razón de lo obtenido y un estándar ya establecido por cien.

$$1.6.1.a) \quad e = \frac{\text{Obtenido}}{\text{Insumo}}$$

$$1.6.1.b) \quad e\% = \frac{\text{resultado_obtenido}}{\text{es tan dar_establecido}} \times 100$$

Si fuera eficiencia de consumo realizado:

$$1.6.1.c) \quad e\% = \frac{\text{Es tan dar_establecido}}{\text{Consumo_realizado}} \times 100$$

Donde:

e= eficiencia

e%= eficiencia porcentual

Esto aplica para cualquier operación que produzca un insumo que se quiera medir, incluso si fuera una operación de servicio.

2. SITUACIÓN ACTUAL EN EL ÁREA DEL TRITURADOR:

2.1. Operación actual de la trituradora

La operación de trituración actualmente produce distintas granulometrías de agregado, no es compleja y consta de 3 etapas. Dos de ellas se encuentran en circuito cerrado. Esto permite una versatilidad y flexibilidad a la hora de hacer modificaciones, lo que es vital en la industria.

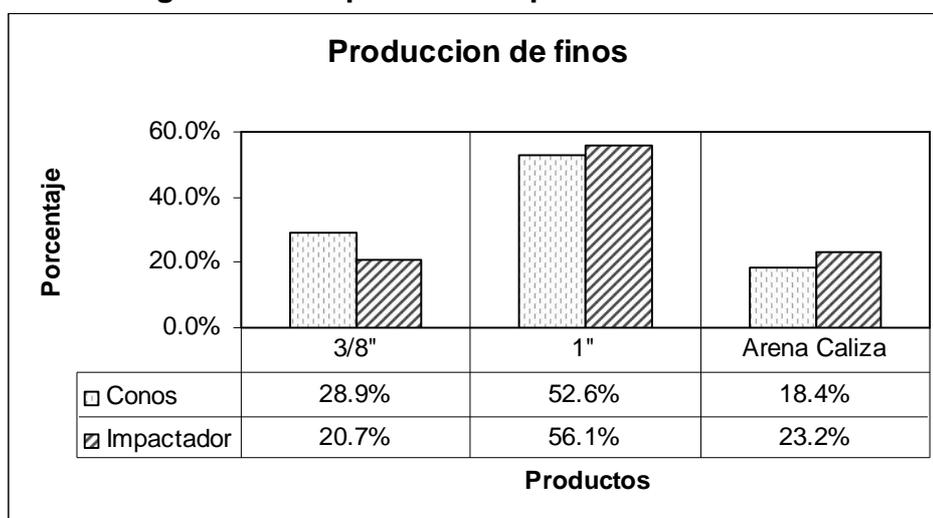
Esta flexibilidad también permite que al momento de fallar alguna máquina, no crítica, se pueda continuar trabajando con el resto del equipo. El diseño del proceso está abierto a modificaciones y mejoras, dependiendo de los recursos disponibles.

Aunque el proceso presenta grandes ventajas como las anteriores, también presenta puntos claves de los cuales no se puede prescindir. De estos puntos claves depende gran parte de la producción y la productividad en la planta. Uno de estos puntos es la trituradora de la segunda etapa de trituración, o trituradora secundaria. En esta etapa se encuentra la trituradora de impacto con eje horizontal (HSI) de marca Kolberg Pioneer Inc. (KPI) modelo 5260.

La trituradora se encuentra instalada en el área donde trabajaban dos trituradoras giratorias de cono, habiendo sido modificada y reforzada según se hubo requerido. Esto representa que la trituradora de impacto tiene que realizar el trabajo de dos trituradoras de cono que trabajaban en circuito cerrado inverso.

Este cambio se realizó con el motivo de incrementar la producción de agregados finos, lo cual las trituradoras de conos no hubieran podido lograr. A continuación se muestra las relaciones porcentuales de producciones obtenidas antes y después de la instalación del impactador.

Figura 17 Comparación en producción de finos



Fuente: Historial de producción Agregua

Se muestra un incremento de 4.8% de arena caliza y una reducción de 8.2% de piedra de 3/8". El material sometido a trituración, es piedra caliza en un tamaño máximo aproximado de 10"-12" de diámetro y un tamaño requerido a la salida de 1 1/2" máximo.

2.1.1. Proceso de trituración actual

El proceso de trituración inicia cuando un camión de volteo, proveniente de cantera, descarga el material bruto hacia un dosificador de piedra para la trituradora primaria. Este dosificador es del tipo vibratorio y alimenta directamente la trituradora. En la entrada de la trituradora se encuentra un martillo neumático con el cual se fragmentan las piedras que son demasiado grandes, o que causan atascos en la entrada. La trituradora primaria es de tipo mandíbulas.

La dosificación de la entrada y el control del martillo son realizados por un solo operador que se encuentra en una cabina junto a la trituradora primaria. Este proceso es continuo, no hay diferenciación entre una piedra y otra, parecido a un flujo; que sufre interrupciones cuando la entrada esta saturada, la piedra es muy grande o se atora y no hay material.

Luego el material cae hacia una recorrido de bandas transportadoras que llevan el material hacia una zaranda de despolve. Esta zaranda es la encargada de limpiar el material y separar el cascajo de la piedra. Después de ser limpiado el material, pasa de nuevo por una serie de bandas que apilan el material en forma de montaña. Este material apilado recibe el nombre de pulmón.

El pulmón es una reserva o almacenamiento de material que permite que el proceso continúe aunque la trituradora primaria no este en funcionamiento. Esta pila de material se forma por encima de un túnel que esta directamente conectado por una compuerta en el cielo de este. El material cae hacia un dosificador de placas que lleva el material hacia una nueva banda transportadora.

Esta banda transportadora lleva el material hacia una zaranda vibratoria pequeña, la cual se encuentra por encima de la trituradora secundaria. Esta zaranda tiene la función limpiar el material del cascajo que todavía se encuentre en el material. Esto se hace debido a que cualquier material fino o relativamente pequeño en la trituradora altera el funcionamiento de esta, aumenta el desgaste de las piezas e incrementa el consumo de energía.

Después que el material pasa por la zaranda cae hacia un chifle con dos entradas de material, y una descarga hacia la abertura de la trituradora secundaria. Esta trituradora es la de impacto con eje horizontal o HSI. A la

salida se encuentra con un chifle en forma de embudo que lleva al material hacia otro recorrido de bandas transportadoras. Esta serie de bandas llevan al material hacia una nueva zaranda para clasificar de nuevo el material.

Esta zaranda tiene la función de clasificar el retorno para trituración secundaria, el material apto para la tercera etapa de trituración y los materiales finos. El material clasificado como retorno llega de nuevo a la trituradora secundaria a través de una banda transportadora que se une con el material de entrada a través del chifle de doble entrada, que se había mencionado anteriormente.

La piedra pasante para la tercera etapa de trituración, con medida media de 1 1/2", se apila en una segunda montaña de pulmón. El material clasificado como fino pasa directamente hacia la zaranda clasificadora de material terminado o de productos finos.

Este segundo pulmón de piedra de 1 1/2" se apila por encima de un segundo túnel, el cual también dosifica el material como el primero. Este túnel descarga la piedra hacia un nuevo recorrido de bandas transportadoras que llegan hacia la trituración terciaria.

Un detector de metales atrapa cualquier metal que se encuentre entre el material triturado esta colocado antes de la trituradora terciaria. Esto debido a que cualquier material no triturable que ingrese en la trituradora puede causarle graves daños, causando grandes pérdidas de tiempo y dinero. El metal entre el material se debe a que la piedra provoca desgaste en las zarandas causando desprendimientos de pedazos metálicos en las mallas.

El material ya libre de metales dañinos pasa hacia la trituradora terciaria. Esta trituradora es de impacto con eje vertical (VSI), la cual se encarga de darle el tamaño final a la piedra. A la salida de esta, el material pasa por una serie de bandas transportadoras que llegan hacia una nueva zaranda.

Esta zaranda clasifica el material de retorno a la trituradora terciaria y parte del producto terminado como pedrín núm. 56. El material pasante llega hacia una zaranda pequeña que se encuentra en serie. Esta zaranda pequeña clasifica los finos y otros productos finales.

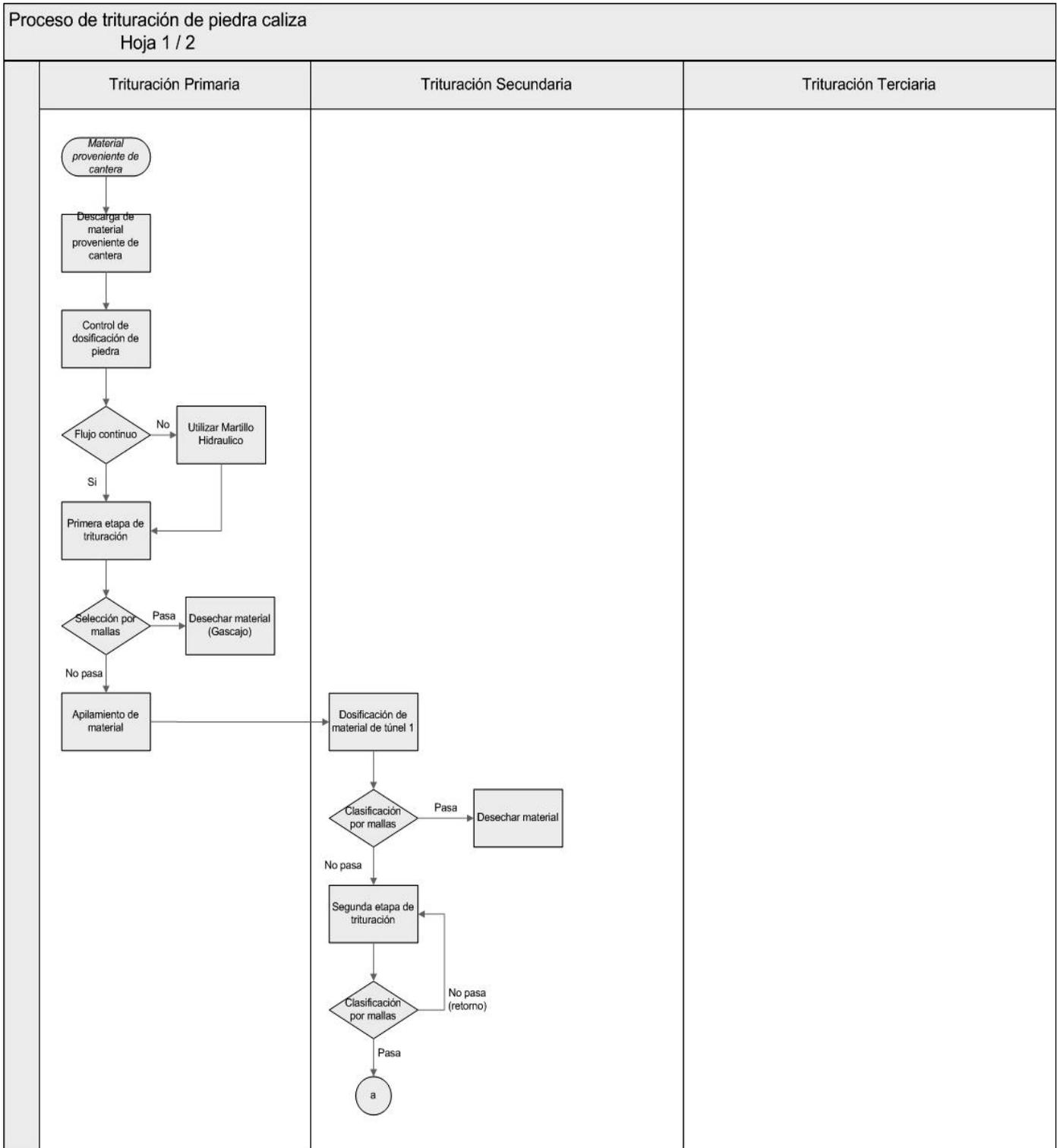
De la última zaranda se desprenden dos caminos. El primer material que no pasa por las mallas, se lleva hacia una lavadora de material y luego se apila como pedrín núm. 8. El segundo material que pasa por las tres mallas llega hacia una lavadora de arena y luego se apila como arena lavada. Cada uno de estos materiales antes de ser apilados pasa por una pesadora que se encuentra en la última banda transportadora de cada camino.

El control de amperajes y medidas importantes de la trituración secundaria y terciaria se lleva a cabo en una cabina que se encuentra al lado de la trituradora secundaria.

2.1.2. Diagramas de Proceso:

Para poder comprender mejor el proceso anteriormente descrito se muestra a continuación el diagrama de flujo del proceso. Este ayudará a comprender el trabajo como un proceso y a identificar posibles problemas que afecten el área de trituración secundaria. También se muestra un diagrama de recorrido para dar una idea de la posición de las máquinas y complementar el diagrama de flujo.

Figura 18 Diagrama de flujo de procesos



Proceso de trituración de piedra caliza
Hoja 2 / 2

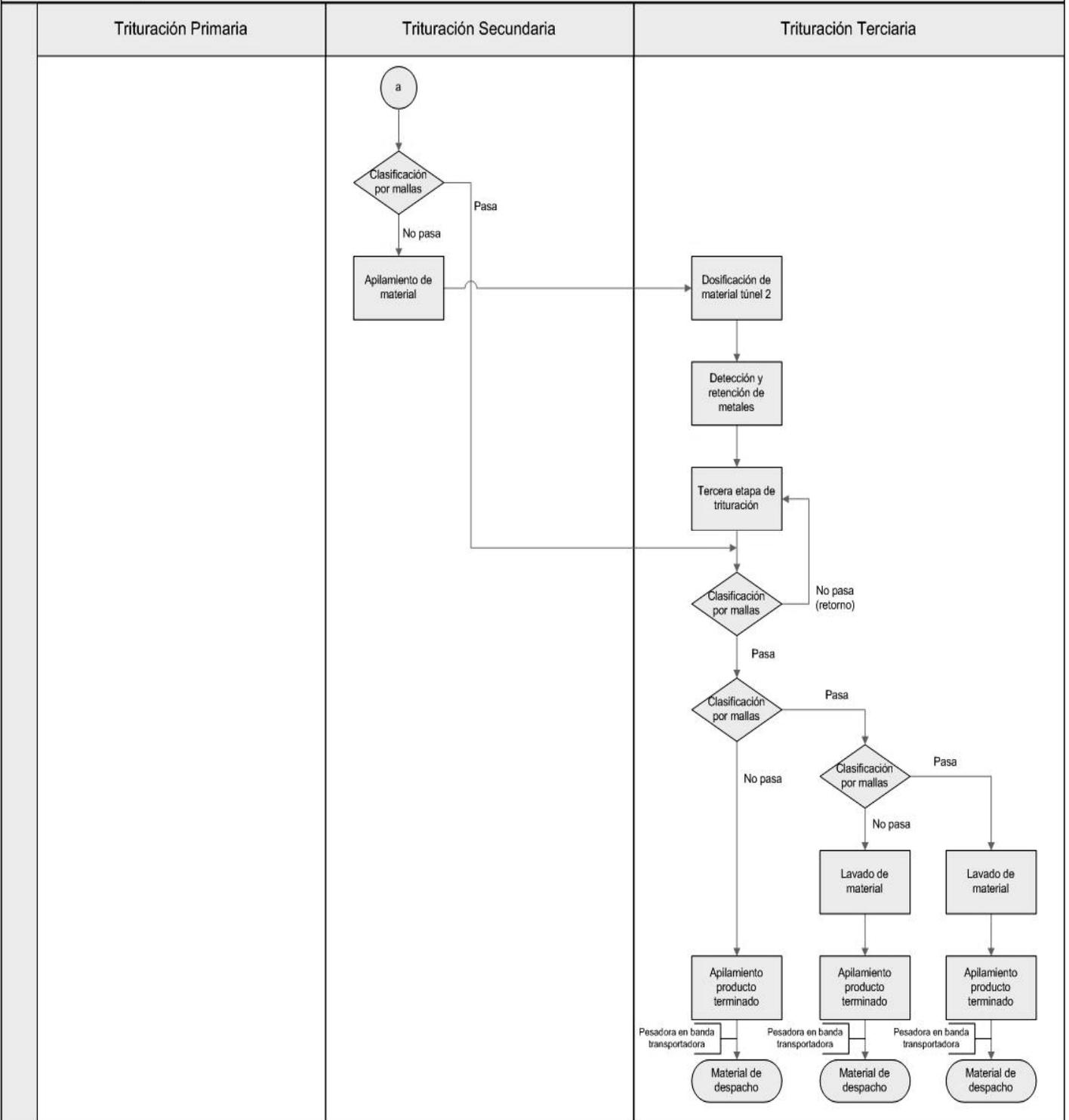
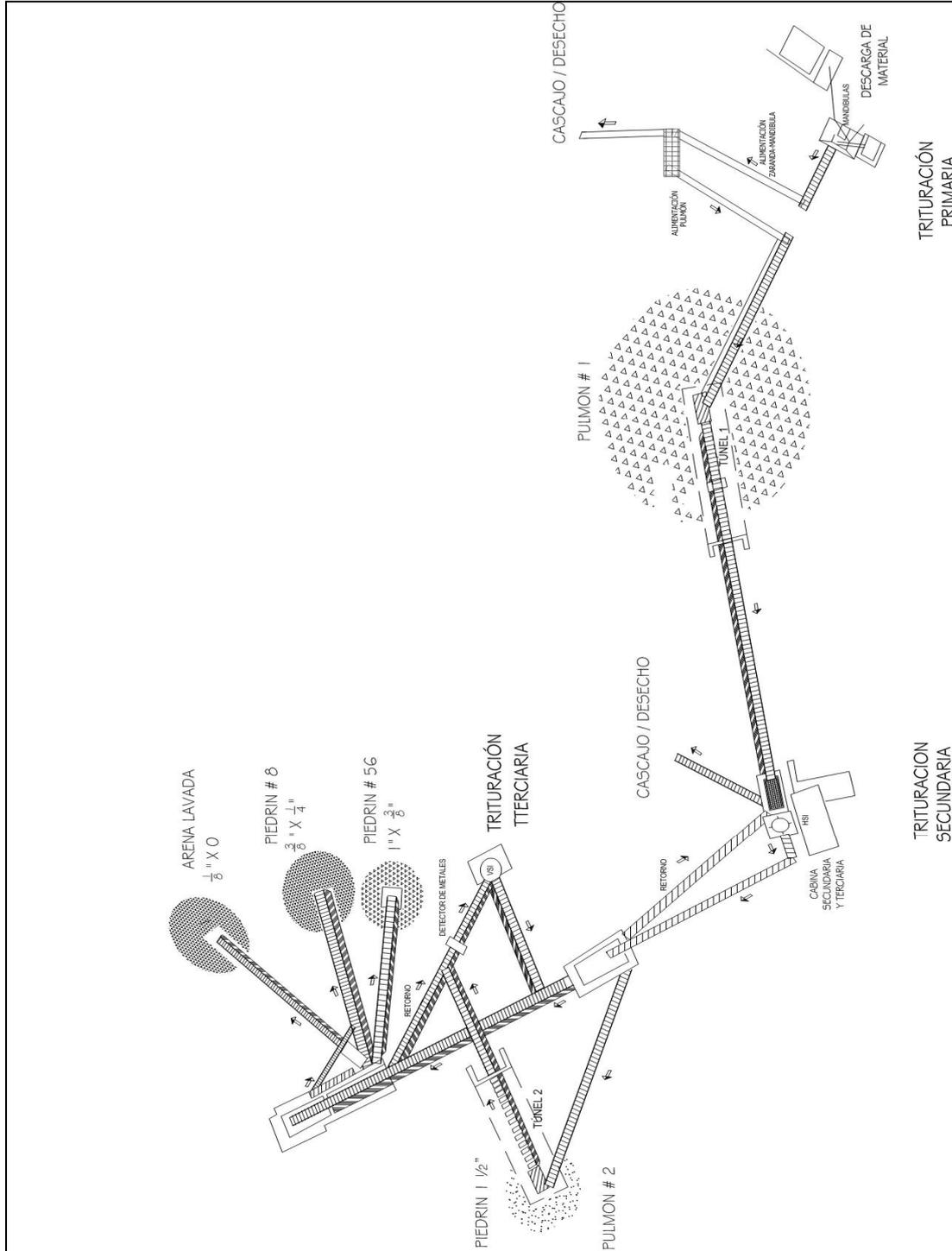


Figura 19 Diagrama de recorrido



2.1.3. Insumos necesarios para la operación de la trituradora

Los insumos necesarios para la operación de la máquina se listan a continuación:

- Energía eléctrica
- Mano de obra (1 operador, 1 ayudante)
- Piedra de 10"-12" de diámetro aproximadamente, libre de cascajo

2.1.4. Producción de la trituradora

En la actualidad no hay un control directo de la salida de la trituradora, pero se puede hacer un análisis de producción tomando en cuenta los datos de las pesadoras de producto terminado.

Esta afirmación se comprueba comparando las horas trabajadas de la trituradora y la cantidad de producto terminado como se hace mas adelante. La producción teórica sale de la hoja de especificaciones proporcionada por la empresa vendedora de la máquina bajo ciertas circunstancias descritas.

Hay que tomar en cuenta que el material de retorno de la trituradora no es producción, si no una consecuencia no deseada de la trituración que no se puede eliminar, pero si disminuir. Este retorno causa una gran perdida de producción, ya que al haber exceso de este no deja entrar material nuevo del pulmón, solamente recircula el mismo material. También causa atascos en la entrada, ya que al mezclarse con el material nuevo se puede producir una sobrealimentación.

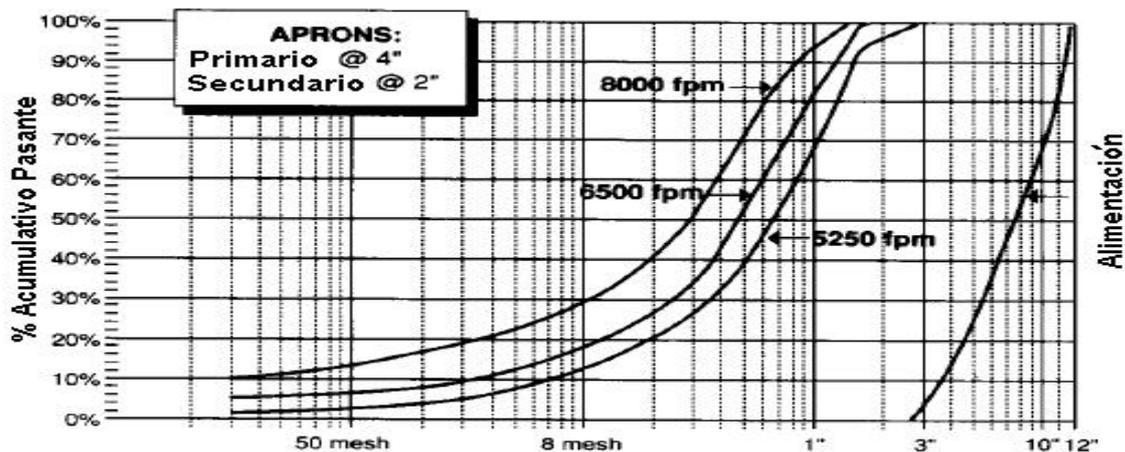
2.1.4.1. Teórico

Según las especificaciones de fábrica; bajo las siguientes características:

- HP motor eléctrico: 300 HP
- RPM: 330-600
- Tamaño de entrada: 3"-12"
- Ajuste de *setting* primario: 4"
- Ajuste de *setting* secundario: 2"
- Material: Piedra caliza

La trituradora debe producir un estándar de 300 toneladas por hora. Esta producción debería ser distribuida según las curvas en la gráfica de análisis de mallas proporcionada por la empresa. Estas curvas están en base a la velocidad del rotor en pies por minuto (FPM).

Figura 20 Gráfica de análisis granulométrico teórico



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet

Como se puede observar los valores de alimentación van de 3" a 12". Esta alimentación debería tener un 80% de tamaño aproximado de 4 1/2" y de 11" un 20%.

Para convertir de pies por minuto a revoluciones por minuto se toma en cuenta el diámetro del rotor de la trituradora, quedando así:

$$RPM = \frac{3}{13 * \pi} * FPM$$

2.1.4.2. Real:

Debido a que no hay instalado ningún dispositivo que tome parámetros de ninguna clase en la salida de la trituradora, no se puede conocer directamente la producción de esta. Para resolver este problema, se tomaron medidas de la cantidad total producida en base a las pesadoras instaladas de producto terminado y del uso de la trituradora.

Las medidas realizadas son de la producción de 62 días contados a partir del 2 de septiembre del 2008 al 3 de diciembre del 2008. La producción del primer mes de la máquina no se ha tomado en cuenta ya que presenta demasiadas irregularidades. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla VI Producción y utilización de máquina

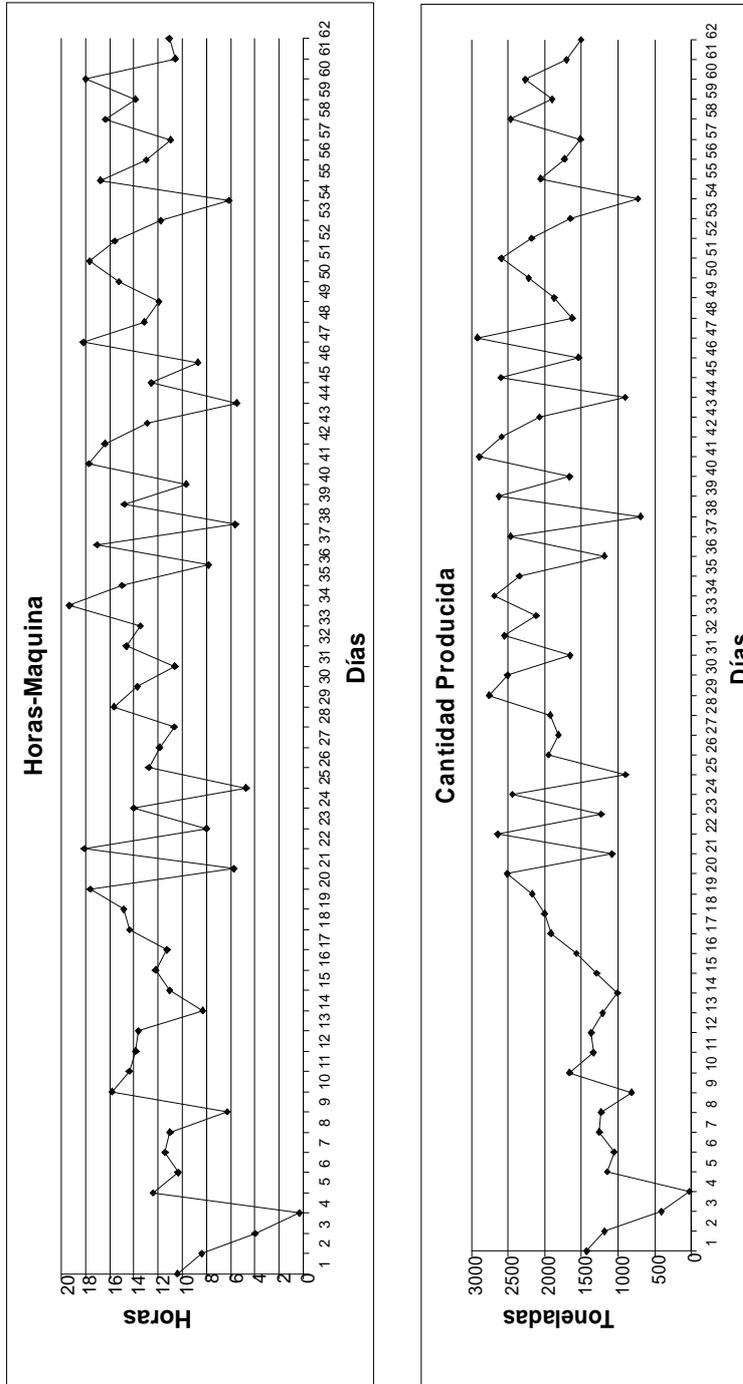
Muestra	Fecha	Ton.	Horas
1	02/09/2008	1426	10.41
2	03/09/2008	1183	8.4
3	04/09/2008	406	3.97
4	05/09/2008	24	0.32
5	09/09/2008	1147	12.42
6	10/09/2008	1052	10.36
7	11/09/2008	1254	11.43
8	12/09/2008	1230	11.03
9	13/09/2008	815	6.28
10	16/09/2008	1659	15.82
11	17/09/2008	1337	14.39
12	18/09/2008	1363	13.85
13	19/09/2008	1211	13.62
14	22/09/2008	1008	8.3
15	23/09/2008	1292	11.04
16	24/09/2008	1567	12.21
17	25/09/2008	1915	11.26
18	26/09/2008	2000	14.36
19	29/09/2008	2169	14.84
20	30/09/2008	2510	17.61
21	01/10/2008	1080	5.75
22	02/10/2008	2642	18.08
23	03/10/2008	1229	8.02
24	06/10/2008	2442	14
25	07/10/2008	897	4.74
26	08/10/2008	1950	12.76
27	09/10/2008	1814	11.88
28	10/10/2008	1925	10.66
29	13/10/2008	2757	15.64
30	14/10/2008	2509	13.7
31	15/10/2008	1653	10.61

Muestra	Fecha	Ton.	Horas
32	16/10/2008	2548	14.62
33	17/10/2008	2115	13.48
34	21/10/2008	2687	19.32
35	22/10/2008	2346	14.98
36	23/10/2008	1184	7.82
37	24/10/2008	2465	17.03
38	25/10/2008	690	5.62
39	27/10/2008	2624	14.78
40	28/10/2008	1659	9.69
41	29/10/2008	2892	17.72
42	30/10/2008	2590	16.4
43	31/10/2008	2073	12.9
44	03/11/2008	899	5.52
45	04/11/2008	2598	12.55
46	05/11/2008	1537	8.71
47	06/11/2008	2918	18.17
48	07/11/2008	1622	13.15
49	10/11/2008	1871	11.93
50	11/11/2008	2222	15.25
51	12/11/2008	2593	17.67
52	19/11/2008	2180	15.6
53	20/11/2008	1648	11.76
54	22/11/2008	728	6.15
55	24/11/2008	2055	16.75
56	25/11/2008	1731	13
57	26/11/2008	1513	10.98
58	27/11/2008	2465	16.35
59	28/11/2008	1900	13.87
60	01/12/2008	2265	17.99
61	02/12/2008	1704	10.59
62	03/12/2008	1507	11.07

En la figura 21 se observa que hay una relación directa entre la utilización de la trituradora y la producción total. Esto muestra que la trituradora terciaria no tiene un gran impacto en la cantidad total de producción. Esto es debido a que de la trituradora secundaria en adelante ya no salen productos de desecho, solamente agregados con distintas granulometrías; además gran parte del material triturado por esta se convierte en agregados finos que no necesita tercera etapa de trituración.

Teniendo en cuenta que hay una relación entre la utilización de la máquina y la producción total se procede a realizar una razón entre estas para tener la producción en toneladas/horas-máquina. Los resultados se muestran en la tabla VII y se grafican en la figura 22.

Figura 21 Relación entre cantidad producida total y horas-máquina



Fuente: Muestras de producción y utilización de maquinaria

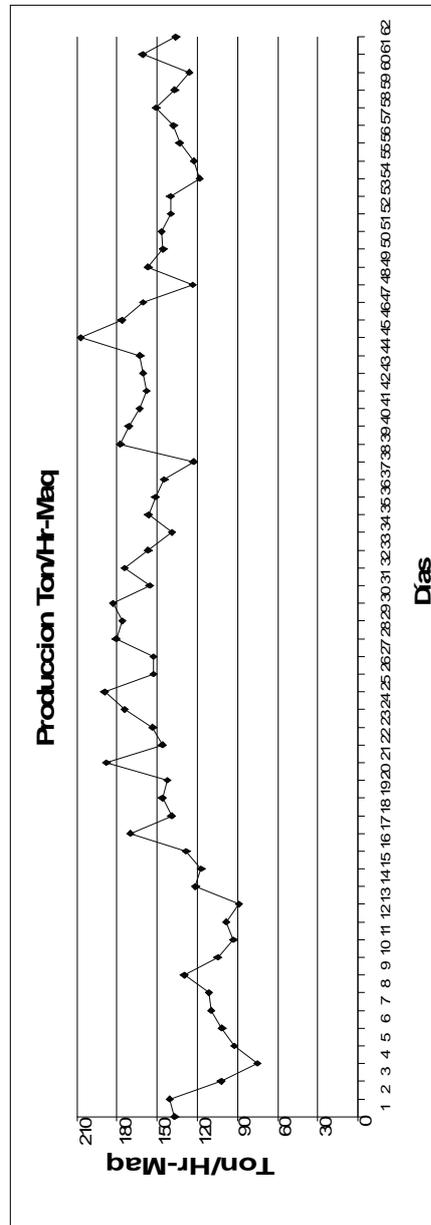
Tabla VII Producción por día

Muestra	Fecha	Producción Ton/Hr- Máq.
1	02/09/2008	136.98
2	03/09/2008	140.83
3	04/09/2008	102.27
4	05/09/2008	75.00
5	09/09/2008	92.35
6	10/09/2008	101.54
7	11/09/2008	109.71
8	12/09/2008	111.51
9	13/09/2008	129.78
10	16/09/2008	104.87
11	17/09/2008	92.91
12	18/09/2008	98.41
13	19/09/2008	88.91
14	22/09/2008	121.45
15	23/09/2008	117.03
16	24/09/2008	128.34
17	25/09/2008	170.07
18	26/09/2008	139.28
19	29/09/2008	146.16
20	30/09/2008	142.53
21	01/10/2008	187.83

Muestra	Fecha	Producción Ton/Hr- Máq.
22	02/10/2008	146.13
23	03/10/2008	153.24
24	06/10/2008	174.43
25	07/10/2008	189.24
26	08/10/2008	152.82
27	09/10/2008	152.69
28	10/10/2008	180.58
29	13/10/2008	176.28
30	14/10/2008	183.14
31	15/10/2008	155.80
32	16/10/2008	174.28
33	17/10/2008	156.90
34	21/10/2008	139.08
35	22/10/2008	156.61
36	23/10/2008	151.41
37	24/10/2008	144.74
38	25/10/2008	122.78
39	27/10/2008	177.54
40	28/10/2008	171.21
41	29/10/2008	163.21
42	30/10/2008	157.93

Muestra	Fecha	Producción Ton/Hr- Máq.
43	31/10/2008	160.70
44	03/11/2008	162.86
45	04/11/2008	207.01
46	05/11/2008	176.46
47	06/11/2008	160.59
48	07/11/2008	123.35
49	10/11/2008	156.83
50	11/11/2008	145.70
51	12/11/2008	146.75
52	19/11/2008	139.74
53	20/11/2008	140.14
54	22/11/2008	118.37
55	24/11/2008	122.69
56	25/11/2008	133.15
57	26/11/2008	137.80
58	27/11/2008	150.76
59	28/11/2008	136.99
60	01/12/2008	125.90
61	02/12/2008	160.91
62	03/12/2008	136.13

Figura 22 Gráfica producción/horas-máquina



Fuente: Propia

De esto se obtiene:

Media: 142.9 ton/hr-Máq.

Producción máxima: 207.01 ton/hr-Máq.

Desviación estándar: 27.7 ton/hr-Máq. Producción mínima: 75 ton/hr-Máq.

2.1.5. Relación de reducción actual

La relación de reducción que se busca actualmente es de 4 o 6:1 1/2, con la mayor producción de agregados finos posible. La que se obtiene según datos experimentales se determinará más adelante.

2.2. Ajuste actual de las corazas

Las corazas o *aprons* están ajustados

Apron de primera fase 3"

Apron de segunda fase 1 1/2"

2.3. Desgaste en *blow bars*

El desgaste prematuro de los *blow bars* es uno de los problemas que más afecta a la trituradora. Esto causa un gran impacto en los costos de producción; Aunque las barras sean reversibles, el desgaste que cada barra presenta debe ser monitoreado antes de ser rotados. El uso de de estas se mide por la altura útil que tienen con respecto a el rotor.

Actualmente se tienen *blow bars* con una aleación de bajo contenido de cromo, para material cerámico. Los que los hace muy resistentes a los impactos pero con baja tolerancia a la abrasión. Estos *blow bars* son recomendados para reciclar concreto y para etapas primarias de trituración.

Como antecedente se tiene que a las primeras 37 horas de servicio fue necesario rotar los *blow bars* ya que habían llegado a su límite de utilización. Un pequeño historial de las primeras horas de servicio se muestra a continuación:

Tabla VIII Desgaste de martillos

MEDICION	FECHA	HOROMETRO	ALTURA UTIL PROMEDIO
1		0	6-1/2"
2	20.08.2008	37	5-3/4"
3	26.08.2008	107	0"

La altura útil es cero cuando tiene 3/4" que es el mínimo recomendado según manual.

2.4. Circuito de retorno

El circuito de retorno es el que se encarga de regresar la piedra que esta sobre medida del máximo para la siguiente etapa de trituración. Cuando la cantidad de piedra que retorna es excesiva la entrada de la trituradora se satura causando deficiencias de trituración, produciendo aún más piedra de sobre medida. Se consume más energía y se produce una menor cantidad de agregados en más tiempo.

En otras palabras, si la cantidad de retorno aumenta, la eficiencia de la máquina disminuye, y por lo tanto la productividad del proceso también. Para conocer el porcentaje de piedra sobre medida se debe de hacer un análisis de mallas a la salida de la trituradora, que represente la granulometría de la piedra en porcentajes.

2.5. Entrada de material

El material de alimentación de la trituradora proviene de un apilamiento, por lo que aunque se haya limpiado previamente, este contendrá finos y cascajo producidos en la pila de material. Este material se mezcla con el material de retorno, por lo que hay que inspeccionar constantemente que no se sature la entrada.

2.5.1. Tamaño de material de entrada

Un análisis granulométrico presento que hay un 53.4% de material menor que 1", y un 14% de material superior a 6" sin sobrepasar 11" de diámetro.

A continuación se muestra la gráfica del análisis granulométrico correspondiente al pulmón 1, que es la alimentación de la trituradora secundaria.

Figura 23 Análisis Granulométrico real de entrada de material



Fuente: Registros de análisis de producción Agregua

2.5.2. Faja de circuito de retorno

Esta faja es de 36" de ancho con un largo aproximado de 50 pies de largo y una pendiente aproximada de 20°. Esta faja no presenta ningún inconveniente, excepto cuando el material de retorno es excesivo.

2.5.3. Zaranda de alimentación

Esta zaranda recibe el material del pulmón 1, esta tiene la función de limpiar el material de residuos de cascajo y piedra fina que se haya generado en el apilamiento del material.

Esta zaranda es un dispositivo de protección para la trituradora secundaria, ya que las partículas finas como el polvo de piedra producen un desgaste excesivo en los *blow bars* y corazas interiores.

Cabe resaltar que esta zaranda es un requisito para el montaje de la trituradora de piedra según el fabricante. Su localización es por encima de la entrada de la trituradora, justo antes del chifle.

Figura 24 Zaranda de alimentación



2.5.4. Chifles

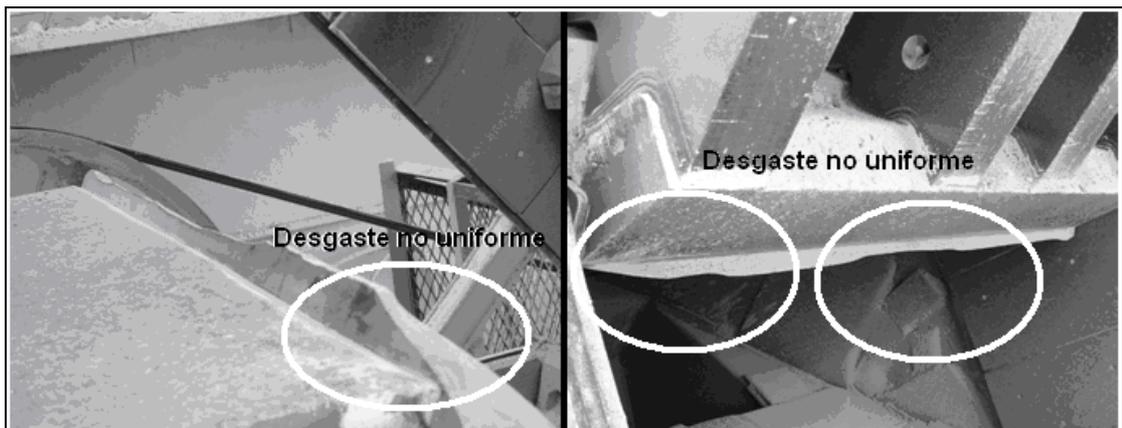
La alimentación de material de la trituradora posee la dificultad de que se necesita mezclar dos ingresos, esto representa un diseño irregular para el chifle de entrada. El área de entrada de material es de 38" x 60" ó 22870 pulgadas cuadradas.

Figura 25 Chifle de entrada de material



El diseño actual de este chifle presenta el inconveniente de recibir el material de retorno solo por el lado izquierdo. Esta forma de entrada ha hecho que se marque un mayor desgaste en las barras de impacto en este lado. La irregularidad en el desgaste hace que la vida útil de las barras sea menor, al desgastarse con mayor rapidez en ciertas áreas. También el desgaste no uniforme hace que las medidas tomadas de las barras sean ambiguas y muchas veces erróneas.

Figura 26 Desgaste en *blow bars*



2.6. Salida de material

La salida del material de la trituradora es violenta y es una zona de peligro. La piedra triturada sale a una velocidad de 90 millas/hora por lo que el material del chifle de salida esta sometido a grandes fuerzas de impacto y desgaste.

El tamaño de descarga del material es muy importante, este tiene que ser capaz de descargar el material a la misma velocidad a que entra, de lo contrario la máquina sufriría un atasco y puede causar fallas de operación. Esto aplica también para la faja de salida del material.

2.6.1. Tamaño de material en salida

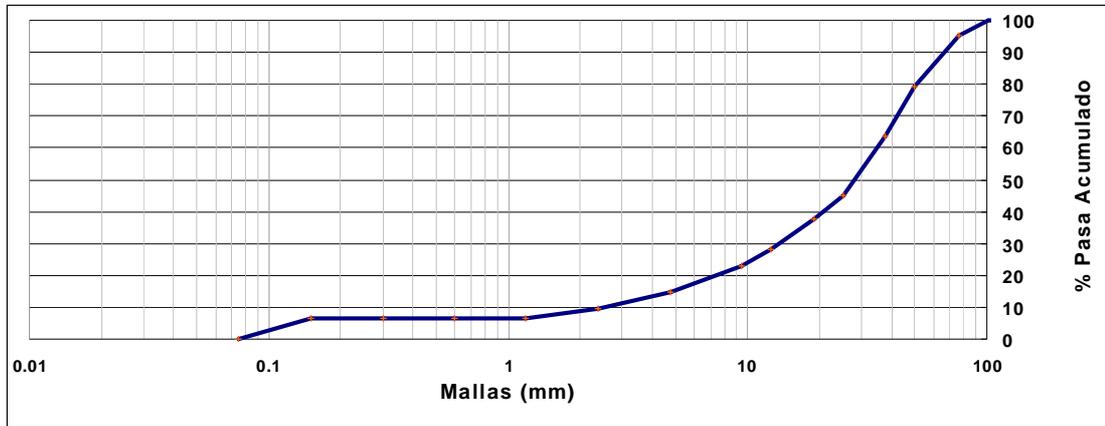
Para los análisis de mallas que se realizaron, las gráficas están en milímetros, por lo que para su conversión en pulgadas se utiliza la siguiente tabla:

Tabla IX Conversiones de mallas de mm a pulg.

Estándar (mm)	150	125	100	75	50	37.5	25	19	12.5
Nominal (pulg.)	6"	5"	4"	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"
Estándar (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
Nominal (pulg.)	3/8"	4	8	16	30	50	100	200	

Un análisis granulométrico realizado con el material a la salida de la trituradora demostró que un 20.94% de el material de salida es material que esta por encima de 1 1/2", por lo que se convierte en retorno. Esto se obtiene restando el porcentaje pasante acumulado al 100%, esto es el porcentaje retenido acumulado.

Figura 27 Análisis granulométrico material de salida HSI



Fuente: Registros de análisis de producción Agregua

2.6.2. Faja de salida de material

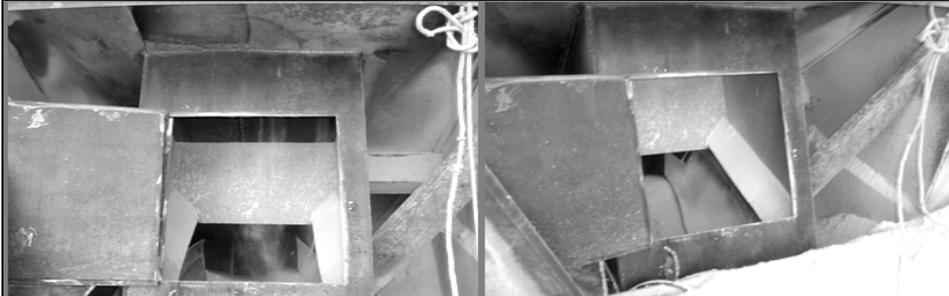
La faja de salida del material tiene un largo de 32 pies aproximados sin pendiente y un ancho de 36”.

Esta faja presenta el inconveniente de llenarse de material a sus alrededores, lo que hace necesario paros para limpiar el área. Esto provoca también que las piezas de la banda transportadora sufran desgaste por la abrasión de dicho material.

2.6.3. Compuertas

Existe una compuerta localizada en el chifle de salida, y su objetivo es proporcionar acceso para realizar las tareas mantenimiento y reparación. Esta debe de ser lo suficientemente grande para que una persona entre y pueda desplazarse con tranquilidad.

Figura 28 Compuerta para mantenimiento



Las otras compuertas son ventanas que se encuentran en los costados de la trituradora, y son las que permiten tomar las medidas de los desgates de las barras sin necesidad de abrir la máquina.

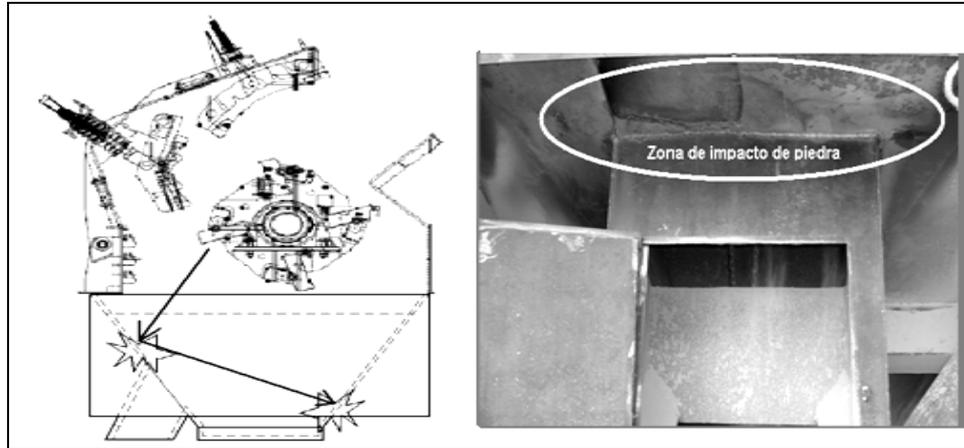
2.6.4. Chifles

El chifle de salida soporta el impacto directo de la piedra propulsada por el rotor de la trituradora; en este todavía se termina de triturar la piedra para caer finalmente en la banda transportadora.

Para poder tomar un criterio respecto a un buen desempeño de la salida de material, se compara el área de salida respecto al de entrada. El área de entrada de material es de 38" x 60" = 2280 pulgadas cuadradas. El área de salida esta dividida en dos secciones, de 28" x 27" y 20" x 33" = 1416 pulgadas cuadradas. Esto representa que el área de salida representa el 62.1% del área de entrada, o solo tiene la capacidad de poder evacuar el 62.1% de material entrante a plena carga.

Este chifle tiene una forma general de embudo con un apéndice rectangular que amplía la zona de descarga. El mayor problema que presenta esta forma, es el constante deterioro de la lámina frontal y posterior. Estas sufren golpes y roturas en ciertas áreas, ya que aquí es donde se impacta la piedra saliente de la trituradora. Estas áreas de impacto son evidentes por las deformaciones marcadas, por lo que es fácil delimitar las zonas de impacto.

Figura 29 Zonas de impacto en la salida de material



2.7. Emisiones de ruido

La trituradora es una fuente estacionaria de ruido que afecta directamente a quienes se encuentran trabajando cerca de esta. No es solamente el operador de la máquina, quien está expuesto a este, sino también mecánicos, ayudantes, operadores de otras máquinas, etc.

Un estudio de emisión de ruido realizado previamente a la trituradora, mostró que esta producía entre 90db y 95db a plena carga. Para oídos no protegidos, el tiempo de exposición permitido decrece a la mitad por cada 5dB de incremento a partir de 90dB. Por ejemplo, la exposición de 90db está limitada a 8 hrs., 95db a 4 hrs., y 2 hrs. a 100 dB.

La cabina del operador se encuentra aislada de ruido, por lo que el operador no está expuesto toda la jornada de trabajo al ruido producido por la trituradora. Además, el uso de protectores auditivos personales es obligatorio en el área de trituración. Los tapones son hechos a la medida, por lo tanto colocados adecuadamente pueden reducir el ruido entre 15 a 20 dB.

2.8. Emisiones contaminantes

Por su naturaleza de triturar piedra, la máquina genera contaminación por polvo, el cual es el resultado de la fragmentación de la piedra. El polvo son partículas tan pequeñas que su masa es mínima, por lo que la fuerza de gravedad no es capaz de atraerla al suelo permaneciendo como material de suspensión en el aire. Aunque la empresa hace constantes monitoreos ambientales enfocados a la generación de polvo, estos datos son reservados.

Actualmente la generación de polvo se puede ver en la salida de material, también en los alrededores de los chifles de entrada y salida de material. La cabina de trituración posee aislamiento con purificación del aire, y es obligatorio el uso de mascarillas en el área de trituración para protección del personal.

3. PROPUESTA DE MEJORAS AL PROCESO DE TRITURACIÓN

3.1. Control de puntos críticos

Para la operación de la trituradora existen partes críticas que determinan su buen funcionamiento, estas partes deben de ser monitoreadas constantemente para evitar daños graves a la máquina.

Se lista a continuación las partes más importantes y que parámetros se deben de tomar para su control.

3.1.1. Rotor

El rotor debe de estar bien balanceado y lubricado en los cojinetes, no debe de poseer golpes o agrietaduras superficiales. El giro del rotor debe de ser suave y puede ser girado manualmente.

La temperatura de los cojinetes es otro parámetro que debe ser controlado cuando la máquina este en completa carga de operación. Se debe de llevar un registro de temperaturas de los cojinetes, a modo de poder hacer un diagnóstico predictivo de estos.

El giro y balance del rotor también debe ser controlado. Antes de la operación de la máquina se sugiere dar dos vueltas manuales al rotor para poder detectar desbalances o trabas en el giro. Las anomalías detectadas las debe de reportar inmediatamente con el supervisor de turno.

3.1.2. *Blow bars*

La altura útil de los *blow bars* debe ser cuidadosamente inspeccionada, ya que si sobrepasa su límite puede causar un daño grave al rotor. Se debe tener cuidado en la forma que se desgastan las barras, de donde y como se toman las medidas. La altura de los *blow bars* no debe de ser menor a $\frac{3}{4}$ de pulgada, medida tomada desde el rotor hacia el extremo de la barra.

3.1.2.1. Selección óptima de *blow bars*

Existe una gran variedad de aleaciones para *blow bars*, pero las consideraciones a tomar en cuenta es el material a triturar y la fase de trituración en la que se encuentre.

En este caso se tiene que es piedra caliza con un factor de 22 en la prueba de los Ángeles, lo que significa que es de fácil trituración; Esta es piedra para la segunda etapa de trituración.

Para este caso se recomienda *blow bars* de alto contenido de cromo, Esta aleación los hace más resistentes a la abrasión, pero a la vez más frágiles, por lo que no son recomendados para roca muy dura. Esta clase de *blow bars* son especiales para la segunda etapa de trituración de piedra caliza o asfalto suave.

3.1.2.2. Disponibilidades en el mercado

Para esta trituradora se encuentran disponibles *blow bars* de acero fundido, de acero con aleación de alto contenido de cromo y con bajo contenido de cromo, con peso de 950 lb. Cada una. Este tipo de repuesto no hay en Guatemala, por lo que debe mandarse a pedir en la fabrica o sucursal de Estados Unidos, con lo que al precio de estas debe sumarse el gasto de envío.

3.1.3. Corazas

La coraza de primera fase es de acero al manganeso y es una sola pieza al centro con piezas intercambiables a los extremos. La coraza para la segunda fase esta compuesta de varias piezas intercambiables compuestas de acero al manganeso también.

3.1.3.1. Puntos de desgaste máximos

Para el plato o *apron* de primera fase el desgaste máximo se tiene donde hay más abrasión. Este punto es en donde se forma el *setting* con los *blow bars*. Para el *apron* de segunda fase el desgaste máximo se tiene también en donde se forma el *setting* con los *blow bars*.

Por lo tanto, el punto crítico de control para las corazas será también el control de los *settings* o distancia calibrada con los *blow bars*.

3.1.3.2. Calibración de distancias

El control de la distancia que existe entre los *blow bars* y las corazas son las que definen al final el tamaño de la piedra. Por eso es importante el control diario de sus medidas.

Se debe mencionar que no existe un estándar de medidas que satisfaga una situación, sino se deben hacer varias pruebas con distintas medidas. De modo que con cada prueba se haga un análisis granulométrico hasta llegar al porcentaje de medida deseado. En otras palabras, es la experiencia junto con el análisis los que determinan la abertura óptima de los *settings*.

Como referencia se puede tomar el ajuste que recomienda la fábrica en la hoja de especificaciones de la trituradora. Esta es de 4" en el primer *apron* y de 2" en el segundo. Debe observarse que la relación que se aconseja es de 2:1 del primer *setting* respecto al segundo.

3.2. Medición de eficiencia del triturador

El primer paso para aumentar la eficiencia es poder determinar una forma para medirla. Para poder medir la eficiencia de trituración, primero debemos determinar un parámetro que sea fácil de monitorear, que su observación no presente una tarea tediosa y sea representativo. Seguido se debe encontrar un estándar para poder compararlo y poder presentar la eficiencia de forma porcentual para su fácil comprensión.

Se tomará la relación de energía utilizada y el tamaño de de reducción para establecer la eficiencia de trituración del equipo. El criterio de Bond es el más conveniente para efectuar estos cálculos. Así podremos tomar al índice de operación W_{io} como comparador de la medida contra el índice de trabajo para caliza W_i como estándar. El índice de trabajo para la piedra caliza es igual a $W_i=12.74 \text{ Kwh. /Ton}$ corta. El cálculo de W_{io} se explicara a continuación.

Primero se necesita establecer el nivel de kilovatios hora utilizados por la máquina para triturar una tonelada corta de piedra. Para esto se tomo una muestra de amperajes diarios de operación. Los datos fueron tomados cada hora aproximadamente, para luego hacer un promedio diario. Las muestras corresponden a los mismos días de producción presentados en el capítulo 2.

Tabla X Medidas de amperajes

Muestra	Fecha	Amperaje	Muestra	Fecha	Amperaje	Muestra	Fecha	Amperaje
1	02/09/2008	200	22	02/10/2008	204,0	43	31/10/2008	201,4
2	03/09/2008	152,5	23	03/10/2008	201,4	44	03/11/2008	148,3
3	04/09/2008	157,5	24	06/10/2008	200,0	45	04/11/2008	181,0
4	05/09/2008	150	25	07/10/2008	205,0	46	05/11/2008	162,5
5	09/09/2008	151,3	26	08/10/2008	208,3	47	06/11/2008	208,1
6	10/09/2008	155	27	09/10/2008	196,4	48	07/11/2008	218,6
7	11/09/2008	170,0	28	10/10/2008	211,0	49	10/11/2008	195,5
8	12/09/2008	169,0	29	13/10/2008	219,4	50	11/11/2008	186,5
9	13/09/2008	185,0	30	14/10/2008	222,1	51	12/11/2008	213,6
10	16/09/2008	170,0	31	15/10/2008	210,0	52	19/11/2008	190,9
11	17/09/2008	159,0	32	16/10/2008	228,1	53	20/11/2008	198,5
12	18/09/2008	162,7	33	17/10/2008	194,7	54	22/11/2008	168,6
13	19/09/2008	200	34	21/10/2008	206,0	55	24/11/2008	167,7
14	22/09/2008	153,3	35	22/10/2008	208,7	56	25/11/2008	165,0
15	23/09/2008	191,4	36	23/10/2008	195,6	57	26/11/2008	174,4
16	24/09/2008	206,4	37	24/10/2008	213,7	58	27/11/2008	189,2
17	25/09/2008	208,5	38	25/10/2008	188,0	59	28/11/2008	154,4
18	26/09/2008	195,9	39	27/10/2008	187,9	60	01/12/2008	161,4
19	29/09/2008	200,8	40	28/10/2008	202,0	61	02/12/2008	202,6
20	30/09/2008	198,8	41	29/10/2008	200,0	62	03/12/2008	191,0
21	01/10/2008	214,0	42	30/10/2008	196,2			

De ésto se obtiene:

Media: 189,1735 Amperios

Corriente máxima: 228.125 Amperios

Desviación estándar: 21.42 Amperios

Corriente mínima: 148.334 Amperios

De la placa del motor se obtiene que trabaja a 440 voltios, con un factor de potencia de 0.8. Tomando la fórmula 1.4.a de la página 27 para obtener la energía tenemos que:

$$P = \frac{(440) * I * \sqrt{3} * (0.8)}{1000}$$

$$P = 0.60968188 * I$$

Donde:

P = Potencia realmente suministrada en Kw.

440 = Voltaje suministrado al motor en voltios

- I = Mediciones diarias de amperajes suministrados al motor.
- 0.8 = Factor de potencia

Para encontrar las toneladas cortas producidas, se aplica el siguiente factor de conversión a las toneladas métricas tomadas por día:

$$\frac{\text{Tonelada}}{\text{Tonelada _ Corta}} = 1.12$$

Estas producciones divididas por las horas máquina utilizadas darán las toneladas cortas producidas en una hora máquina. Haciendo una relación entre la potencia utilizada y la producción con la fórmula 1.4.b de la página 28 se puede encontrar el consumo de energía en Kwh. / Tc.

Con los datos de consumo de energía y un análisis granulométrico actual, se puede hallar el índice de operación diario. Esto se obtiene con la fórmula 1.3.2.d de la página 15. La cual se puede resumir de la siguiente manera:

$$WIo = \frac{Kwh/Tc_real}{0.3162 * \left(\frac{1}{\sqrt{S_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{A_{80}}} \right)}$$

$$\frac{Kwh / Tc_real}{0.3162 * \left(\frac{1}{\sqrt{50}} - \frac{1}{\sqrt{125}} \right)}$$

$$\frac{Kwh / Tc_real}{0.016435645}$$

Ya con el índice de operación por día, se compara con el índice de trabajo para la piedra caliza, como se muestra en la fórmula 1.3.2.e de la página 16, que es una forma de la ecuación para la eficiencia porcentual. Las operaciones se resumen en la tabla a continuación:

Tabla XI Operaciones para hallar la eficiencia

N	Paso 1: $P=0.60968x_i$	Paso 2: $T_c = T_x \cdot 1.12$	Paso 3: $T_c/\text{hr-m}$	Paso 4: $\text{Kwh.}/T_c$	Paso 5: $W_{io} = (\text{Kwh.}/T_c)/0.01643564$	Paso 6: $\text{Eficiencia} = (W_i/W_{io}) \cdot 100$
1	121.94	1597.12	153.42	0.79	48.36	26.35%
2	92.98	1324.96	157.73	0.59	35.86	35.52%
3	96.02	454.72	114.54	0.84	51.01	24.98%
4	91.45	26.88	84.00	1.09	66.24	19.23%
5	92.21	1284.64	103.43	0.89	54.24	23.49%
6	94.50	1178.24	113.73	0.83	50.56	25.20%
7	103.65	1404.48	122.88	0.84	51.32	24.82%
8	103.04	1377.60	124.90	0.82	50.19	25.38%
9	112.79	912.80	145.35	0.78	47.21	26.98%
10	103.65	1858.08	117.45	0.88	53.69	23.73%
11	96.94	1497.44	104.06	0.93	56.68	22.48%
12	99.21	1526.56	110.22	0.90	54.77	23.26%
13	121.94	1356.32	99.58	1.22	74.50	17.10%
14	93.48	1128.96	136.02	0.69	41.82	30.47%
15	116.71	1447.04	131.07	0.89	54.18	23.52%
16	125.86	1755.04	143.74	0.88	53.27	23.91%
17	127.10	2144.80	190.48	0.67	40.60	31.38%
18	119.43	2240.00	155.99	0.77	46.58	27.35%
19	122.44	2429.28	163.70	0.75	45.51	27.99%
20	121.17	2811.20	159.64	0.76	46.18	27.59%
21	130.47	1209.60	210.37	0.62	37.74	33.76%
22	124.38	2959.04	163.66	0.76	46.24	27.55%
23	122.81	1376.48	171.63	0.72	43.54	29.26%
24	121.94	2735.04	195.36	0.62	37.98	33.55%
25	124.98	1004.64	211.95	0.59	35.88	35.51%
26	127.02	2184.00	171.16	0.74	45.15	28.22%
27	119.76	2031.68	171.02	0.70	42.61	29.90%
28	128.64	2156.00	202.25	0.64	38.70	32.92%
29	133.79	3087.84	197.43	0.68	41.23	30.90%
30	135.44	2810.08	205.12	0.66	40.17	31.71%
31	128.03	1851.36	174.49	0.73	44.64	28.54%
32	139.08	2853.76	195.20	0.71	43.35	29.39%
33	118.68	2368.80	175.73	0.68	41.09	31.00%
34	125.59	3009.44	155.77	0.81	49.06	25.97%
35	127.22	2627.52	175.40	0.73	44.13	28.87%
36	119.23	1326.08	169.58	0.70	42.78	29.78%
37	130.28	2760.80	162.11	0.80	48.90	26.06%
38	114.62	772.80	137.51	0.83	50.72	25.12%
39	114.53	2938.88	198.84	0.58	35.05	36.35%
40	123.16	1858.08	191.75	0.64	39.08	32.60%

41	121.94	3239.04	182.79	0.67	40.59	31.39%
42	119.59	2900.80	176.88	0.68	41.14	30.97%
43	122.81	2321.76	179.98	0.68	41.52	30.69%
44	90.44	1006.88	182.41	0.50	30.17	42.23%
45	110.35	2909.76	231.85	0.48	28.96	43.99%
46	99.07	1721.44	197.64	0.50	30.50	41.77%
47	126.89	3268.16	179.87	0.71	42.92	29.68%
48	133.26	1816.64	138.15	0.96	58.69	21.71%
49	119.17	2095.52	175.65	0.68	41.28	30.86%
50	113.69	2488.64	163.19	0.70	42.39	30.06%
51	130.21	2904.16	164.36	0.79	48.20	26.43%
52	116.39	2441.60	156.51	0.74	45.25	28.16%
53	121.00	1845.76	156.95	0.77	46.91	27.16%
54	102.77	815.36	132.58	0.78	47.17	27.01%
55	102.26	2301.60	137.41	0.74	45.28	28.14%
56	100.60	1938.72	149.13	0.67	41.04	31.04%
57	106.36	1694.56	154.33	0.69	41.93	30.38%
58	115.33	2760.80	168.86	0.68	41.56	30.66%
59	94.12	2128.00	153.42	0.61	37.32	34.13%
60	98.42	2536.80	141.01	0.70	42.47	30.00%
61	123.54	1908.48	180.22	0.69	41.71	30.54%
62	116.45	1687.84	152.47	0.76	46.47	27.42%

De la columna de eficiencia se obtiene:

Media: 29.07 %

Eficiencia máxima: 43.99 %

Desviación estándar: 4.90 %

Eficiencia mínima: 17.10 %

3.2.1. Control de la relación de reducción

Para obtener la relación de reducción utilizamos los análisis granulométricos a la entrada de la trituradora y a la salida. Con estos análisis se hace la relación de el 80% pasante acumulado de la entrada y la salida como se expresa en la ecuación 1.3.2.1.a del capítulo 1.

$$R = \frac{De80}{Ds80}$$

$$\frac{125mm}{50mm} = \frac{5}{2}$$

De modo que la relación de reducción actual es 2.5. Las formas para lograr incrementar esta relación es aumentar el tamaño de alimentación, disminuir el tamaño de salida ajustando los *settings* o ambas. Lo más recomendable es ajustar el tamaño de los *setting* para ajustar el tamaño de salida sin que se exceda el consumo eléctrico; y controlar que el material de entrada no contenga materiales finos.

3.2.2. Control de insumos

El consumo de potencia eléctrica es un insumo que varía conforme la carga de la trituradora, se este aprovechando o no. Este insumo se controla al no permitir que la trituradora se sobrecargue de material, y la entrada sea del tamaño adecuado. Su monitoreo es a través de la corriente medida en el amperímetro de la trituradora.

La mano de obra es fija, aunque para hacer limpieza en el área se puede hacer uso de más personal. Este insumo en condiciones normales no afecta la cantidad producida al día.

La materia prima es el insumo que mas influencia tiene con la cantidad diaria producida. Aunque su disponibilidad esta sujeta a situaciones que no son controlables, se debe aprovechar al máximo el material disponible. Un control histórico de la disponibilidad de la materia prima puede ser utilizado para marcar los paros que sean imputados a esta.

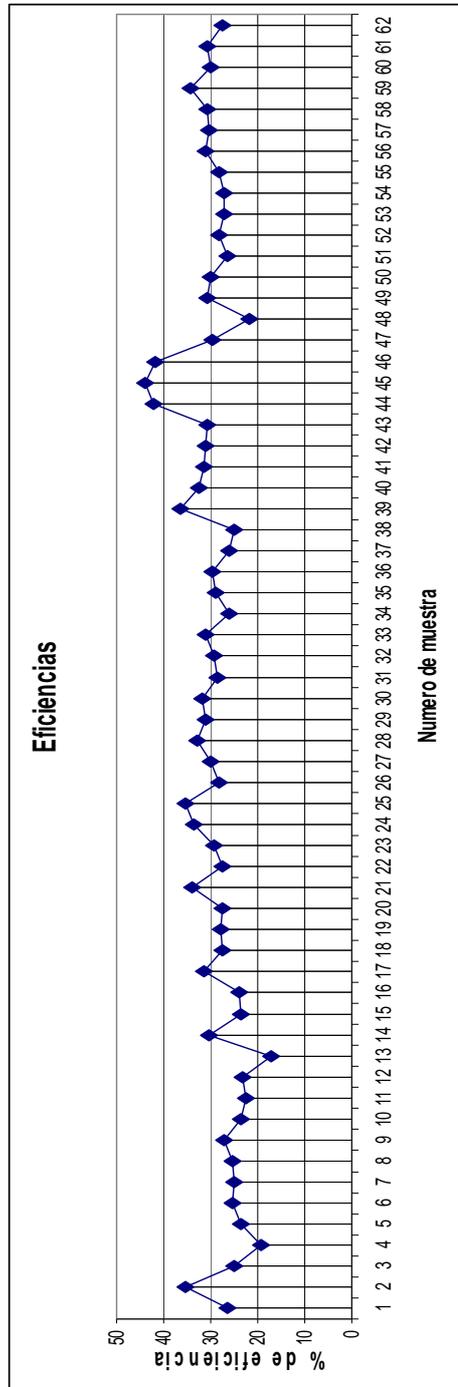
3.2.3. Control de eficiencia

Es importante llevar un registro histórico de la eficiencia, de preferencia en forma gráfica, para presentar con que eficiencia se trabajo en un día específico. Este registro se debe complementar con una bitácora en donde se debe

apuntar cualquier situación u observación fuera de lo ordinario o anotaciones que se consideren de importancia.

Esto es para asignar causas a las bajas o altas eficiencias, así poder detectar problemas por solucionar. La gráfica de las eficiencias de las muestras tomadas y analizadas se muestra a continuación:

Figura 30 Gráfica de eficiencias



Fuente: Propia

En la gráfica fácilmente se puede identificar que las menores eficiencias corresponden a muestras 4, 13 y 48 que corresponden a los días 5, 19 de septiembre y 7 de noviembre respectivamente. Con esta información se puede investigar en la bitácora que causó estas bajas eficiencias y si tienen alguna causa común. Para así poder realizar un diagnóstico de problemas y resolverlos.

La muestra 45 tiene la más alta eficiencia, por lo que se investiga si las situaciones que causaron este incremento se pueden repetir o implementar.

Si se compara la eficiencia de trabajo con las toneladas producidas, veremos que son independientes. Esto es debido a que la cantidad de toneladas producidas es una medida de eficacia.

Para lograr medir la eficacia de trabajo, es necesario tener una meta de producción diaria o mensual. La producción diaria se compara con la producción meta y multiplicada por cien. Este porcentaje es el cumplimiento de la meta de producción, que no involucra los recursos necesarios para lograrla.

3.2.4. Control de productividad

Al hablar del cálculo de productividad de la máquina, nos referimos a la productividad parcial de la máquina y no de la productividad total del proceso.

La productividad de la máquina se debe medir al hacer la relación entre exumos e insumos necesarios. Esta relación se debe hacer encontrando un factor común entre cada insumo y lo producido. Generalmente este factor debe ser un factor económico que en este caso puede ser en quetzales.

El valor de las toneladas producidas debe ser dividido entre la suma de el costo que tuvo tener la máquina trabajando más el costo que se pago de mano de obra más el costo de la materia prima. Esto debe ser realizado para un periodo de tiempo determinado, mensual o en periodos más cortos como quincenal o semanal. Si en dado caso se agregara algún otro insumo a la máquina deberá ser agregado a la expresión.

La relación de eficiencia por eficacia para encontrar la productividad, no es valida en este caso. Esto se debe a que la eficiencia esta en función del aprovechamiento energético para triturar y no toma en cuenta todos los insumos por considerarse constantes.

3.2.5. Control de disponibilidad

La disponibilidad de la máquina es el resultado de dividir el tiempo que la máquina ha estado produciendo (Tiempo de Operación: TO) por el tiempo que la máquina podría haber estado produciendo. Esta debería ser reportada por turno. Esto se puede lograr mediante hojas de registro en donde se lleve cuentas del marcaje de los horómetros de la máquina y la planificación. El operador deberá indicar la hora de los paros de la máquina, cuanto duran y la causa de estos.

La disponibilidad toma en cuenta cuanto tiempo estuvo la máquina funcionando, ya sea con carga o no, contra cuanto debió de estar produciendo.

El registro correcto de la disponibilidad de la máquina, complementado con un correcto registro de amperajes, reflejara un control más exacto del consumo eléctrico por tonelada. Con esto se puede detectar cuando hay un gasto excesivo de energía, un exceso de paros y desperdicio de tiempo que con la ayuda de la bitácora y las hojas de registro puede ser una gran herramienta para diagnóstico de fallas.

3.3. Reducción de ruido

El ruido causado por la trituradora es una consecuencia no deseada del impacto de la roca sobre las placas de esta. Por lo tanto no puede ser evitado, pero el entorno puede ser alterado para absorberlo.

Aunque el uso de protección personal es obligatorio en trituración, una gráfica publicada por Holcim muestra que la efectividad de protección disminuye conforme la solución se aleja de la fuente.

Figura 31 Efectividad de las medidas correctoras del ruido



Fuente: Cátedra ANEFA, Impacto ambiental: El ruido en una explotación minera de áridos

Por este motivo hay que buscar soluciones que sean más efectivas o complementen el control de ruido en el área.

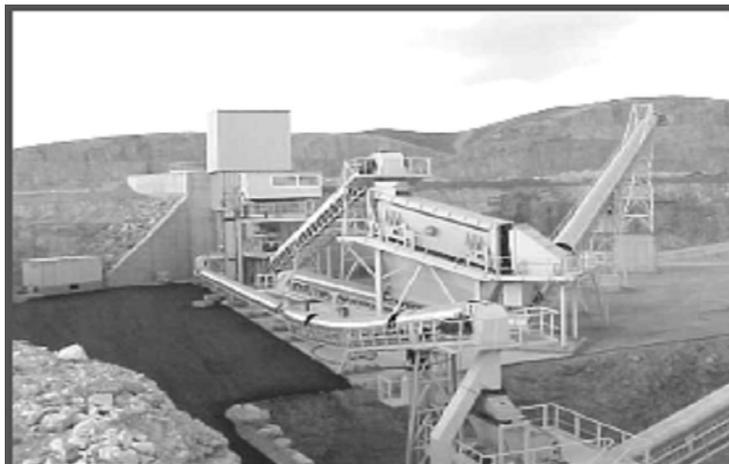
3.3.1. Reducción de ruido en el área

Una de las opciones para mitigar el ruido de la trituradora es aislándola en lo que se llama carenado o cerramiento de máquina. Esto consiste en un aislamiento parcial o total de la máquina con material resiliente y paneles acústicos, que incluya un sistema de ventilación auxiliar. Este sistema tiene la

ventaja de controlar la emisión de polvo. Las desventajas que presenta este sistema son el costo inicial elevado, la limitación al acceso que presentaría el aislamiento total y el costo de mantenimiento que se le debe dar al área.

Las bandas transportadoras incrementan el ruido en el área. El control de estas se denomina capotaje de bandas transportadoras. Esto consiste en el cierre de las bandas en toda su longitud, con elementos rígidos, semirígidos o lonas.

Figura 32 Planta de trituración carenada



Fuente: Cátedra ANEFA, Impacto ambiental: El ruido en una explotación minera de áridos

En la unión del chifle alimentador con la trituradora se puede utilizar juntas de goma. Estas se encuentran en el mercado especializado en trituración.

La altura a la que cae la piedra del chifle alimentador a la trituradora debe ser disminuida lo más posible, ya que esta altura además de aumentar el ruido daña la trituradora.

En los alrededores del área de trituración debe de existir un apantallamiento. Esto consiste crear barreras absorbentes de sonido que proteja las áreas alrededor de la fuente de ruido. Puede ser apantallamiento artificial con estructuras a modo de paredes de distintos materiales. Pantallas vegetales mediante la plantación de árboles o de arbustos. Cordones de tierra entre las fuentes de ruido y áreas sensibles.

El señalamiento del área como zona de peligro por exposición a ruido, o como uso de protección auditiva obligatoria es quizás la medida más sencilla pero puede ser un gran impacto.

3.3.2. Protección personal

El mal uso de los protectores auditivos puede ser desastroso. Un protector auditivo que reduce en promedio 30 dB si es usado continuamente durante 8 Hrs. puede equivaler a solo 9 dB si se quita durante una hora. Esto es porque los decibeles se miden en una escala logarítmica, y hay 10 veces más energía sonora por cada 10 dB de aumento.

Por eso además de proporcionar equipo de protección auditiva, hay que informar de los riesgos que presenta el ruido y capacitar en medidas preventivas a los operarios o personal que trabaje en el área. Algunos estudios han determinado que la mitad de los trabajadores que usan protectores acústicos reciben la mitad o menos de la reducción potencial de éstos porque no los utilizan continuamente o porque no calzan adecuadamente.

3.4. Reducción de polvo

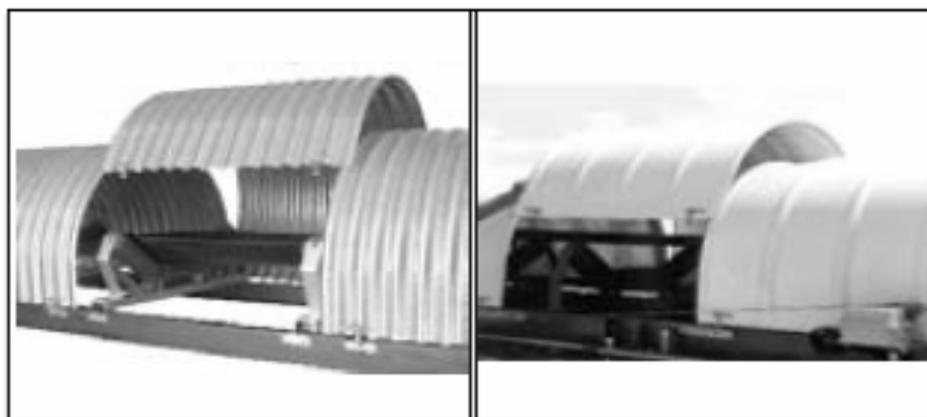
La generación de polvo es un problema que abarca la salud de los trabajadores, el medio ambiente, la imagen de la empresa y la propia maquinaria de producción. Por esto, este es uno de los problemas que deben tener prioridad para su control.

3.4.1. Reducción de polvo en el área

El polvo es generado por las bandas transportadoras, la trituradora, incluso los chifles de entrada y salida.

El control de polvo en las bandas transportadoras puede ser solucionado con cubiertas especiales denominados capotajes. Estas cubiertas tienen la gran ventaja de que además de controlar la liberación de polvo, ayudan a disminuir los niveles de ruido emitidos por estas.

Figura 33 Capotaje de banda transportadora



Fuente: ANEFA, Recomendaciones básicas para el control de polvo en canteras graveras y plantas en tratamientos de áridos.

Para el chifle de alimentación existen cubiertas especiales que aíslan e impide que el polvo escape y se propague al ambiente.

Para los chifles de entrada y salida existen los sistemas de captadores de polvo. Estos sistemas en general son compuestos por un ventilador que crea una depresión en el punto de producción de polvo que permite extraer el aire cargado de polvo. Es preciso se disponga de una campana extractora de aire acompañado de un separador de partículas en suspensión para atrapar al polvo.

Figura 34 Captadores de polvo



Fuente: ANEFA, Recomendaciones básicas para el control de polvo en canteras graveras y plantas en tratamientos de áridos.

Los separadores de partículas pueden ser:

Mecánicos donde el polvo se separa gracias a la fuerza centrífuga o a la gravedad.

- Hidráulicos, aquí las partículas de polvo se ponen en contacto con una capa de agua donde se produce la separación.
- Electrostáticos, aquí el aire atraviesa una cámara de ionización donde el polvo se carga con electricidad positiva luego se somete a un campo eléctrico que atrae a las partículas cargadas.
- Por filtración, en donde la separación del polvo se produce al hacer pasar el aire aspirado a través de un filtro poroso.

Existen también sistemas de atomización o pulverización de agua. Este sistema consiste en pulverizan gotas de agua sobre las partículas de polvo para sedimentarlo. El agua puede contener agentes químicos, o puede ser tan pulverizada que sea llamado sistema por niebla. El sistema puede ser aplicado a la entrada del material o a la salida, ya que el agua no afecta negativamente la trituración de piedra.

La limpieza periódica con agua en el área es una forma de bajo costo para reducir el polvo. Esto es una forma de mantenimiento, que puede ser realizada con mangueras a presión para retirar el polvo precipitado.

3.4.2. Protección personal

Al igual que con cualquier riesgo al que estén expuestos los trabajadores, la información y capacitación es fundamental para dar conciencia al trabajador. Esto hará que se eviten y prevengan accidentes y enfermedades laborales.

El conocimiento del correcto uso del equipo de protección personal, junto con la señalización de las zonas de riesgo son medidas complementarias que ayudan a prevenir riesgos a la salud del trabajador.

3.5. Iluminación

La trituración se realiza a cielo abierto y por las jornadas de trabajo en las que se labora es necesaria la correcta iluminación del área.

Se deberá asegurarse de que se instale una iluminación artificial adecuada en todos los puntos de mala visibilidad o siempre que pueda haber un peligro al trabajar durante horas de oscuridad. Los lugares críticos para instalar iluminación artificial son:

- Las cabinas de primeros auxilios
- Los talleres de trituración y tratamiento donde normalmente los operarios utilicen escaleras, escaleras de mano o pasarelas
- En todas las salidas de emergencia
- En todos los lugares donde la disminución o la desaparición de la iluminación artificial pueda aumentar el riesgo de los que allí trabajan.

Para la iluminación en exteriores se deben utilizar lámparas para estadios de halógeno, situados por encima de la cabina de trituración primaria. De esta manera se tendrá completa visibilidad de la operación de la trituradora y sus alrededores.

3.6. Mejoras en la alimentación de material

La alimentación de material juega un papel importante en el desempeño de la máquina. Aquí es donde la forma de ingresar del material y su tamaño se pueden modificar para alcanzar una mayor eficiencia.

3.6.1. Tamaño de material de entrada

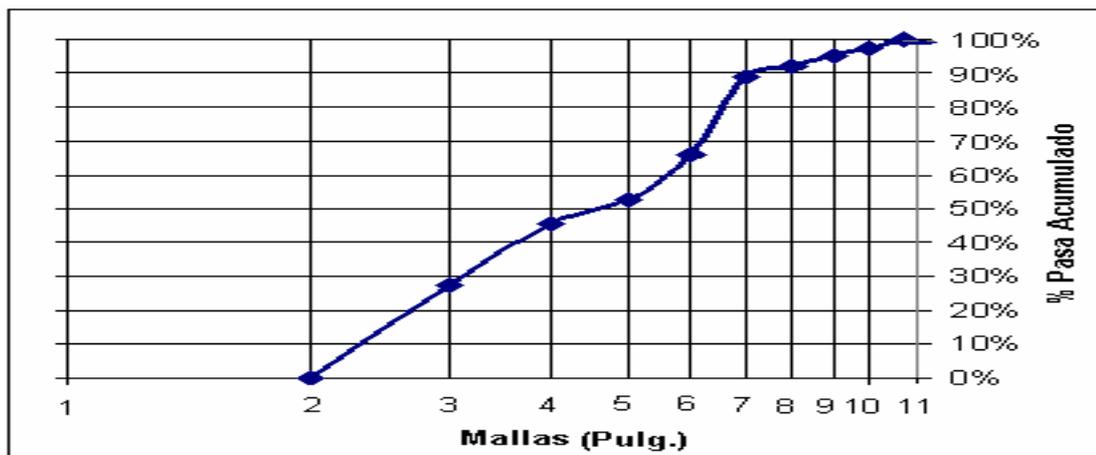
El objetivo de modificar el tamaño del material de entrada es conseguir un aumento en la relación de reducción, ya que esto afecta directamente la eficiencia de la trituradora. Si se consigue aumentar la relación de reducción y se mantiene el mismo consumo de energía se tendrá un aumento de eficiencia.

Se debe tener cuidado con cualquier modificación al tamaño del material. Ya que un aumento de tamaño representa un aumento de consumo de energía para la trituradora secundaria. Y en una disminución de tamaño, habrá más desgaste en las partes internas de la trituradora secundaria, con un aumento de consumo de energía en la trituradora primaria (para modificar el tamaño del material de entrada a la trituradora secundaria, se debe calibrar la abertura de la trituradora primaria).

Otra forma de poder aumentar la relación de reducción, es eliminar el material fino entrante a la trituradora, y disminuir la entrada de material que no necesite pasar por la trituradora secundaria. Esta es la mejor forma de aumentar la relación de reducción, ya que al eliminar el material fino, disminuirá el desgaste de la trituradora. Y al separar el material de aproximadamente 1 ½" se reducirá la energía consumida por tonelada.

Modificando el análisis granulométrico hecho a la entrada de la trituradora; asumiendo que se elimine totalmente el material menor a 1 ½”, el 80% pasante acumulado sería de un tamaño de 6 ½”.

Figura 35 Análisis asumiendo la eliminación de material menor de 1 ½”



Fuente: Registros de análisis de producción Agregua

Esto elevaría la relación de reducción a 3.25 ó 6 ½”: 2”. Se logra un incremento del 30% en la relación de reducción sin necesidad de aumentar el consumo energético, ya que es el mismo material de entrada. Si aplicamos esta nueva relación de reducción a las eficiencias mostradas anteriormente, tenemos una nueva media de 33.42%. Esto es un incremento promedio de 14.99% de eficiencia.

3.6.2. Faja de circuito de retorno

Para corregir el desgaste no uniforme de los *blow bars* se debe corregir la forma en que el material de retorno es descargado. La faja que transporta el material de retorno debe descargar en un punto donde la carga sea repartida uniformemente. Esto se puede lograr al descargar en la faja transportadora proveniente del túnel 1, en la zaranda de alimentación ó modificando el chifle de alimentación para repartir la carga.

Para descargar el material sobre la zaranda de alimentación el tamaño de la banda transportadora deberá ser modificado. Además de este costo de modificación, el daño físico al cual serían sometidas las mallas metálicas aumentará. Este daño puede provocar a mediano plazo un gran desprendimiento de partes metálicas hacia la trituradora, lo que le puede provocar daños más serios.

Otra solución es descargar el material de retorno sobre la banda transportadora proveniente del túnel 1. Para esto se debe de cambiar la posición de la banda transportadora de retorno, su longitud y chifles de carga y descarga. La inversión que requiere esta modificación es más alta, y con más tiempo para su modificación.

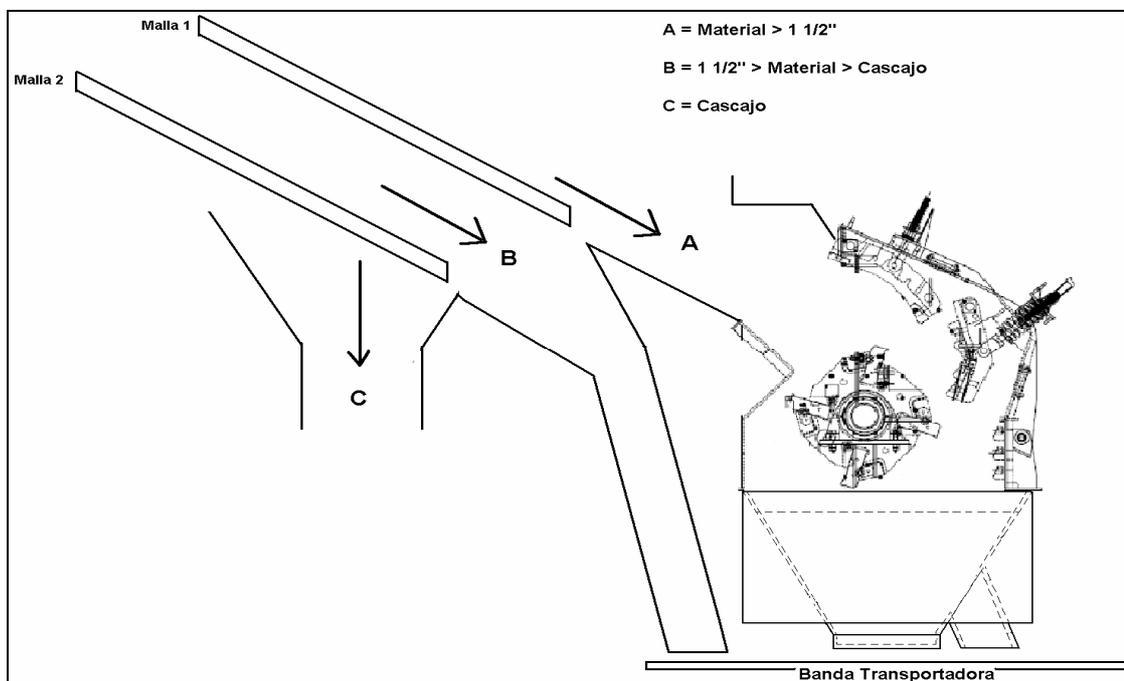
Una mejor manera es modificar el chifle de entrada de material, de manera que el material de entrada y retorno se puedan cargar de manera uniforme hacia la trituradora.

3.6.3. Zaranda de alimentación

La zaranda de alimentación es la clave para poder eliminar los materiales finos y clasificar el material que no necesita ser triturado. Esto se puede lograr aprovechando la capacidad que tiene la zaranda de soportar una malla clasificadora más.

Con esta malla se podría clasificar el material a triturar, el cascajo y el material de 1 1/2 "que no necesita pasar por la trituradora secundaria. Este material se debe incorporar de nuevo a la salida de la trituradora a través de otro chifle saliente de la zaranda.

Figura 36 Propuesta para separación de material menor a 1 1/2"



3.6.4. Chifles

El chifle o buzón de entrada puede modificarse a manera de poder repartir la carga uniformemente, disminuir el desgaste y el ruido. Esto se logra utilizando lo que se le denomina cama de piedra o *rock box* en ingles.

La cama de piedra consiste en hacer una base de la misma piedra a fin de evitar el contacto directo de piedra contra el metal. Esto se puede lograr diseñando chifles o buzones con ángulos rectos en forma de caja para que la piedra pueda depositarse y acumularse.

Para distribuir uniformemente las dos cargas de material entrante a la trituradora se debe hacer un diseño completamente nuevo para este chifle tomando en cuenta el principio de una cama de piedra. El área de entrada a la trituradora no se modifica ya que es máximo y no se debe disminuir para no obstruir la entrada de material.

Los diseños que se proponen a continuación son bocetos preliminares del chifle, ya que se omiten algunos datos como refuerzos, dimensiones, cargadores, etc. Por contener información reservada por la empresa.

Figura 37 Entrada actual vrs. Propuesta vista de frente

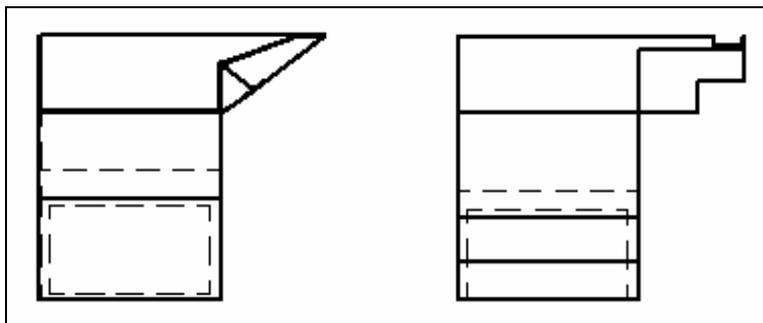


Figura 38 Entrada actual vrs. Propuesta vista de lado

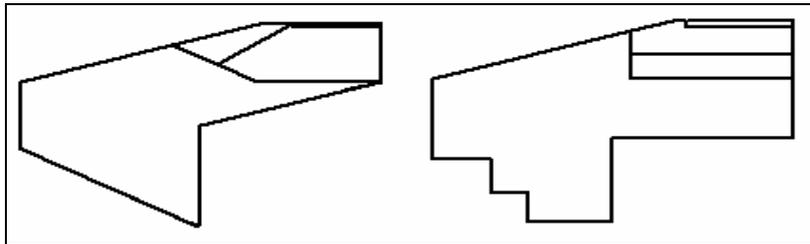


Figura 39 Entrada actual vrs. propuesta vista isométrica

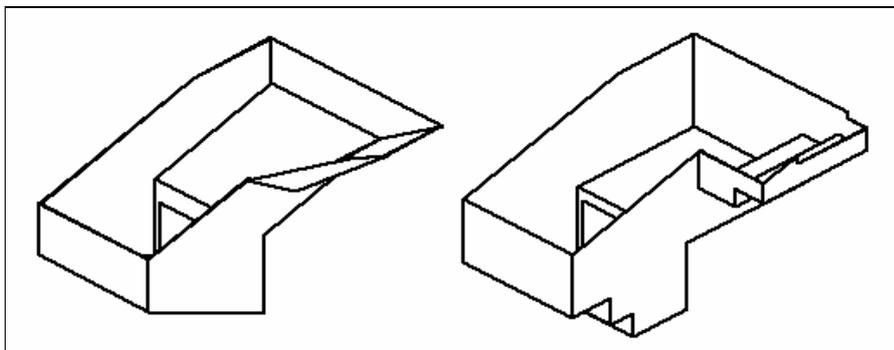


Figura 40 Entrada actual vrs. propuesta vista dimétrica

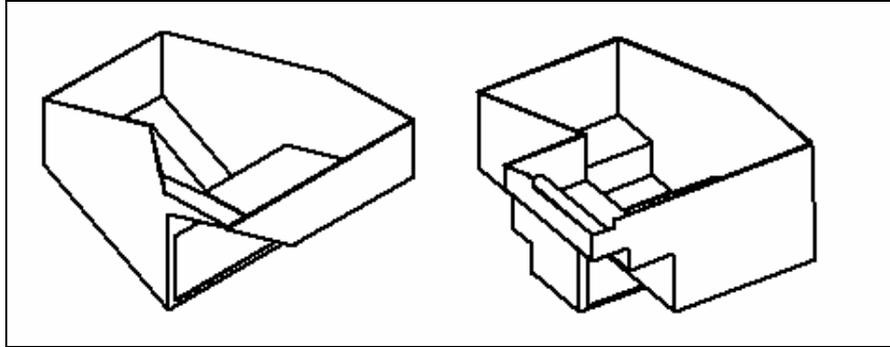
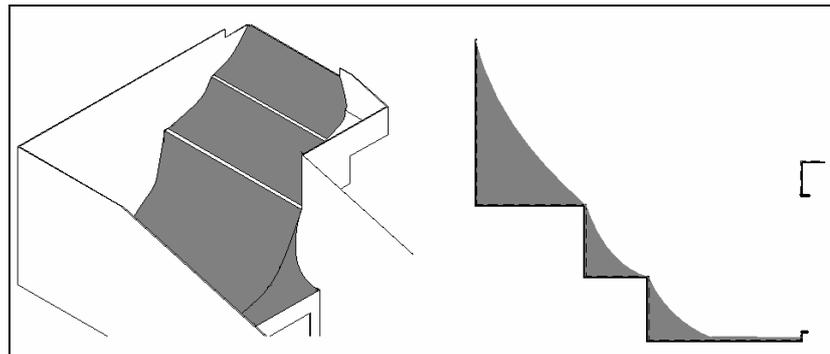


Figura 41 Funcionamiento de la cama de piedra



3.7. Mejoras en la salida de material

La salida del material debe permitir que el material de entrada sea desalojado al mismo caudal. Si no se cumple esto, el material se acumulará en el interior de la trituradora, lo que provoca un desgaste excesivo por abrasión. Como se explicó en el capítulo 2 la salida de material solamente puede cubrir el 61.92% de la necesidad de descarga de la máquina en plena carga. Esto hace la necesidad de modificar el sistema de salida del material para incrementar la capacidad de descarga.

3.7.1. Faja de salida de material

Esta faja debe ser capaz de transportar el caudal de material que entra en la trituradora y cualquier aumento que se requiera. Con la actual faja de 36" de ancho a una velocidad de 100 pies/min. y una densidad de material de 0.75 ton/pie³ cúbico se puede calcular que el caudal máximo es de 229.3 ton/hora. Esto es muy cerca del máximo producido mostrado en el capítulo 2.

Si se desea incrementar las toneladas por hora es necesario cambiar la banda transportadora completa. Esta banda debe tener la capacidad para transportar las toneladas deseadas más un margen de seguridad, además el ancho de este debe poder dar una suficiente área de salida.

Si se tiene como meta las 300 a 400 toneladas por hora que ofrece la fábrica, se debe instalar una faja de 48" de ancho; ya que esta faja posee la capacidad de transportar 423 ton/hora a la misma velocidad de 100 pies/min. Esta también presenta un ancho de más de 40" para descarga que se pueden utilizar para agrandar el área de salida del chifle.

3.7.2. Compuertas

Si el chifle de salida se modifica, la compuerta de mantenimiento debe de presentar la facilidad de acceso para por lo menos una persona que pueda movilizarse.

Esta debe colocarse en la parte que presente más acceso, en este caso es la parte de enfrente por tener la plataforma y la banda transportadora como base para el movimiento.

3.7.3. Chifles

El chifle de salida es la pieza principal para mejorar el flujo del material en la trituradora. Para solucionar el problema de rupturas en la pared frontal y trasera, se toma también el diseño de ángulos rectos para que se forme una barrera de la piedra misma. O en otras palabras, se tomara el diseño de una cama de piedra para que esta amortigüe los golpes directos provocados por la piedra. Como en el chifle de entrada, aquí se tomo un nuevo diseño, completamente diferente al anterior.

Para el diseño del nuevo chifle, se tomo en cuenta los puntos donde se marcan los golpes por las piedras, para crear una barrera de la propia piedra en estos puntos. También se maximizo en lo posible el área de salida, teniendo ahora aproximadamente $45.7'' \times 40.5'' = 1850.85$ pulgadas cuadradas. Como el área de entrada permanece igual, se tiene que con este cambio el área de salida es un 81.14% del área de entrada.

En la parte posterior se ha dejado espacio para que el chifle proveniente de la zaranda con el material que no por la trituradora se un con el material saliente triturado. De esta manera se evitara el polvo que se pueda generar. En la parte delantera se ha dejado espacio para colocar la compuerta de mantenimiento.

A continuación se presenta un boceto preliminar, y se omiten datos como refuerzos, dimensiones, cargadores, etc. Por contener información reservada por la empresa.

Figura 42 Salida actual vrs. propuesta vista de frente

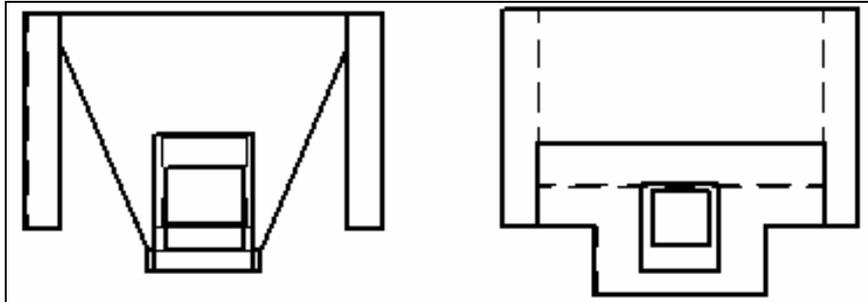


Figura 43 Salida actual vrs. propuesta vista en perfil

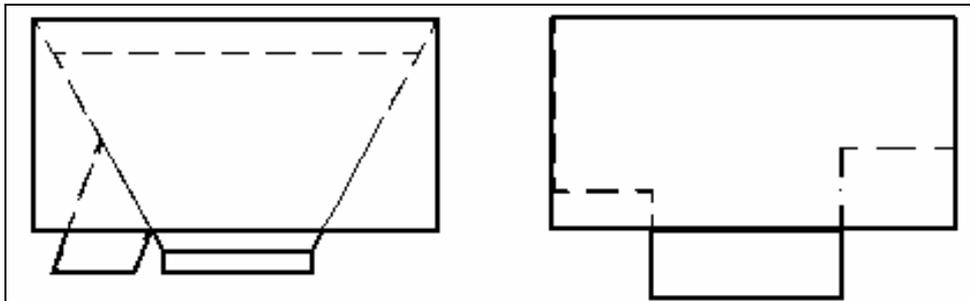


Figura 44 Salida actual vrs. propuesta vista en planta

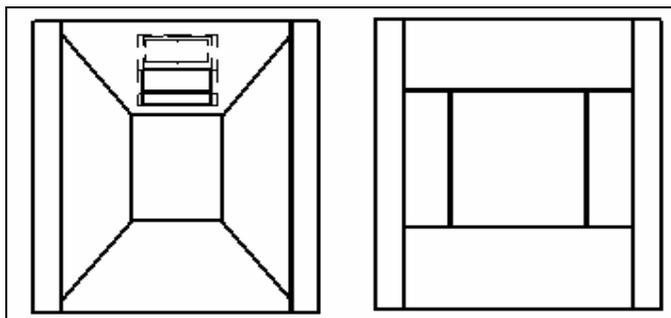
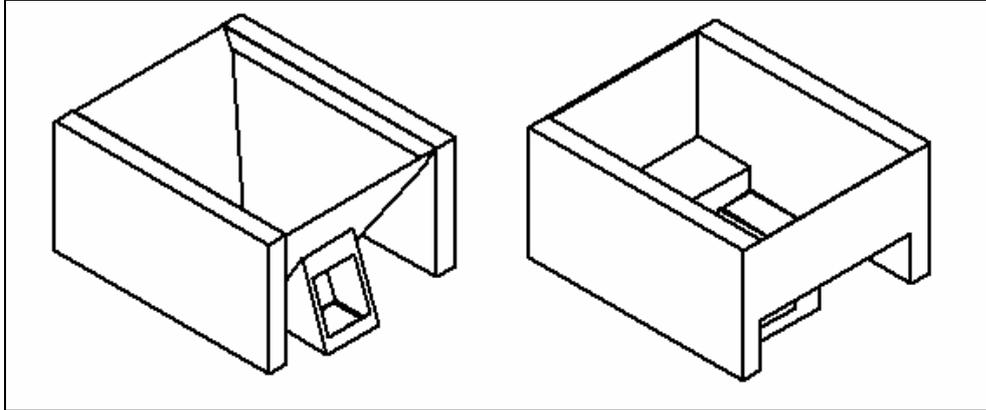
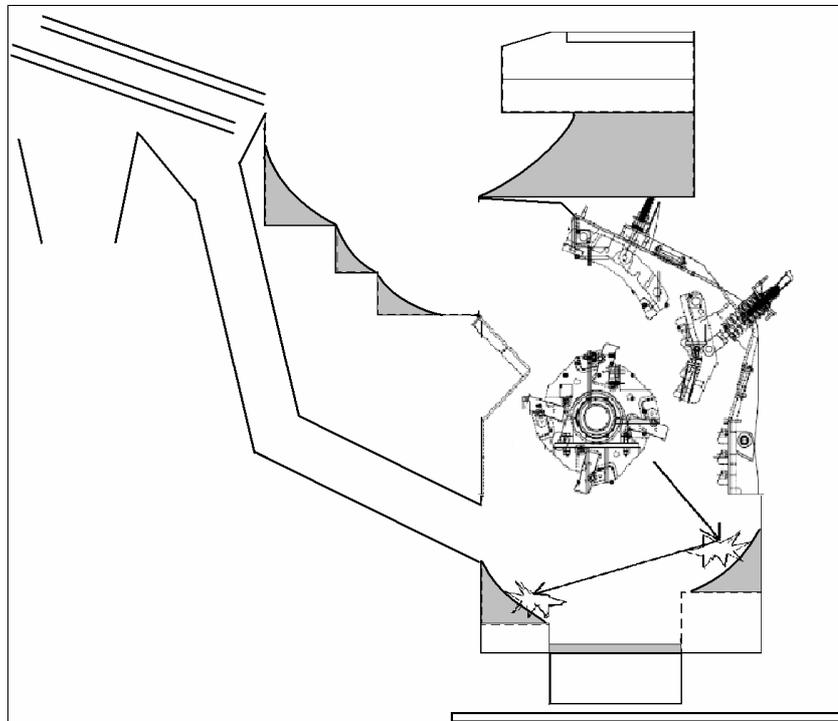


Figura 45 Salida actual vrs. propuesta vista isométrica



Se presenta un boceto final con la entrada y salida de material, con la finalidad de integrar las ideas presentadas anteriormente, y no presentar un plano a escala.

Figura 46 Boceto final de chifles



4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Inspecciones críticas diarias

Sabiendo cuales son las partes criticas a monitorear, se debe hacer un plan para realizar inspecciones que puedan dar constancia del estado de las piezas.

Las inspecciones diarias deben de ser realizadas por el personal a cargo del turno de operación. El operario debe registrar los resultados, anotar cualquier observación que considere pertinente y reportar inmediatamente al supervisor de turno cualquier anomalía.

4.1.1. Revisiones antes de operar

Para estas revisiones se debe de invertir el tiempo necesario para asegurarse de cubrir todos los aspectos importantes y registrarlos correctamente. Estas revisiones de equipo comprenden las que en operación son imposibles realizar y afectan el funcionamiento de este. Son una forma de prevenir que las grandes fuerzas que trabajan en la máquina puedan convertir una falla mínima en una costosa reparación.

Las revisiones deben de llevarse a cabo preferiblemente en la mañana al empezar la jornada diurna, ya que la luz del día ayuda a la inspección visual. Deben de existir hojas de registro en donde se apunten las medidas tomadas, y sirva de guía a la persona que esta realizando la inspección. El operador a cargo de las inspecciones debe tener conciencia de la importancia que tiene reportar correctamente y con datos verídicos los resultados.

Antes de realizar cualquier revisión se debe anotar el marcaje del horómetro del equipo para saber con que horas se empezara la jornada en las hojas de registro. Una propuesta de hoja de registro para las inspecciones diarias se muestra en el apéndice de este trabajo.

Las revisiones deben comenzar con una inspección visual al área alrededor de la trituradora, supervisando la limpieza del área y detectando manchas de grasas, rajaduras, tornillos quebrados, etc. Cualquier situación anómala debe ser reportada para su corrección; si fuera una tarea simple se debe corregir en el momento, anotando que se hizo, cuanto se tardo y cuantas personas ayudaron en la tarea.

Si no hubiera nada fuera de lo normal se reporta como “sin observaciones” y se pasa a la siguiente revisión.

4.1.1.1. Desgaste de *blow bars*

Como ya se había mencionado antes, el desgaste de los *blow bars* se mide con la altura que tenga respecto a la base teniendo un límite de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Para medir esta altura es importante medir cada *blow bar*, ya que cada una tiene diferente desgaste. Para esto se deben marcar las barras para su identificación. Si la barra presenta desgaste no uniforme es necesario medir la altura en el lado de mayor desgaste o menor altura.

Para medir el desgaste primero se debe verificar la movilidad del rotor girándolo en sentido contrario a las agujas del reloj. Si se encontrara algún desperfecto, se debe comunicar al supervisor de turno para que este decida la gravedad del caso.

A continuación se procede a abrir la compuerta de la trituradora para tener acceso a las barras. Visualmente se observan las barras para poder determinar

cual es el punto de mayor desgaste y se mide la altura de esta. La altura correspondiente a cada barra se debe anotar en las hojas de registro. Si esta altura estuviera en el límite, por debajo de este o cercano se debe reportar inmediatamente al supervisor de turno para planificar la reparación.

Cualquier observación que se considere pertinente se debe anotar en las hojas de registro.

4.1.1.2. Distancias de corazas

Antes de medir la distancia de las corazas con las barras, se debe observar cual es la barra que presenta la menor distancia entre cada coraza. Esta es la distancia que se debe tomar en cuenta en las mediciones.

Al haber terminado de tomar las medidas de las alturas de los *blow bars* se debe proseguir a tomar la distancia del *apron* de primera fase con las barras y luego la distancia de el *apron* de segunda fase. Luego estas medidas deben de anotarse en la hoja de registro anotando, si hubiere, las observaciones correspondientes.

4.1.1.3. Equipo necesario para el operador

Es importante que el operador tenga a la mano el equipo necesario para realizar estas mediciones en el tiempo justo y no desperdiciarlo en buscar el equipo a última hora.

El operador al inicio del día debe tener a la mano las hojas de registro y un bolígrafo para hacer anotaciones. En la cabina de trituración debe tener un martillo para poder quitar los pines de la compuerta de la trituradora. Una cinta con escala métrica e inglesa para hacer mediciones. Es importante que un ayudante lo asista en lo que necesite. La comunicación inmediata con el supervisor de turno es importante para poder tomar medidas correctivas inmediatas.

4.2. Inspecciones rutinarias

Estas pueden ser realizadas en operación y no ser diarias. Comprenden:

- Inspección visual alrededor de toda la trituradora, incluyendo el motor eléctrico y la plataforma de acceso. Esto es en busca de guardas en mal estado o fuera de su lugar; tornillos o tuercas sueltas o flojas; derrames de aceite hidráulico; limpieza de material en el área.
- Temperatura de los cojinetes. Esta temperatura no debe sobrepasar los 70° F. Si esta temperatura fuera sobrepasada, es necesario un diagnóstico urgente de la causa.
- Estado de las corazas de las paredes de la trituradora. Estas deben de ser revisadas periódicamente para evitar daños y desgaste en las paredes de la trituradora.
- Revisión del sistema hidráulico. El nivel del aceite hidráulico del sistema de levantamiento de carcasa, se puede observar a través de un medidor de vidrio. Este nivel no debe bajar del mínimo, para que cuando se necesite usar el sistema este en óptimas condiciones y se eviten pérdidas de tiempo. Limpiar y engrasar los cilindros de los émbolos expuestos.

4.3. Charla al personal

El personal a cargo de la trituradora debe tener conciencia de las obligaciones y los riesgos que corre al operar el equipo. Además debe entender plenamente el proceso de trituración para conocer cuál es la importancia del equipo.

Las obligaciones del operador corresponden a la correcta operación, vigilancia continua, manejo de información, comunicación de fallas e inspecciones para el correcto funcionamiento del equipo. Además se le debe indicar que debe cumplir con las siguientes normas generales de prevención:

- Acudir al trabajo en buenas condiciones físicas y psíquicas.
- Actuar en el trabajo de manera que se proteja tanto su propia seguridad como la de sus compañeros.
- Usar adecuadamente las herramientas peligrosas y demás utensilios propios de la actividad.
- Evitar realizar trabajos para los que no se esté preparado o no se haya recibido autorización.
- Trabajar con responsabilidad.
- Emplear correctamente el equipo de protección personal (EPP) facilitadas por la empresa.
- Informar a los supervisores acerca de las situaciones que pudieran suponer un riesgo para su seguridad o la de sus compañeros.
- Cooperar con el cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la salud de los trabajadores.

Los riesgos de operación incluye la exposición al ruido, al polvo y a situaciones de riesgo. Los trabajadores deben de recibir capacitación acerca de cómo prevenir los riesgos laborales a los que se exponen por el trabajo. Esta formación debe comprender:

- Las características y propiedades de los riesgos
- Los efectos del riesgo sobre la salud.
- Las medidas de prevención colectiva e individual más eficaces para evitar accidentes

4.4. Seguridad operacional

La seguridad operacional comprende las acciones preventivas o precauciones que se pueden tomar para evitar accidentes por actos o causas inseguras al operar el equipo.

4.4.1. Precauciones de seguridad general

- Antes de trabajar alrededor, operar la máquina o dar mantenimiento es necesario que el colaborador lea y entienda el manual del operador.
- Un botiquín de primeros auxilios debe estar disponible y en un área accesible.
- Se debe tener un extintor disponible en un área visible y accesible.
- El personal debe contar con el equipo de protección personal necesario, incluyendo pero no limitado a:
 - Casco duro de protección
 - Zapatos protectores con puntas de acero y suela resistente a resbalones.
 - Gafas o caretas protectoras del polvo, golpes y rayos ultra violeta
 - Guantes protectores para los trabajos de limpieza
 - Protección auditiva
 - Mascarilla con filtro para partículas en suspensión
- El equipo de protección personal se debe comprobar y asegurar que se encuentre en buenas condiciones antes de operar.
- Las barandas, escaleras o andamios deben estar en buen estado.
- Asegurarse de que no haya personal en área de peligro antes de encender la trituradora.

4.4.2. Precauciones antes de operar

- Mantenga las manos, pies, pelo y ropa lejos de piezas móviles.
- Despeje el área de personal innecesario y/o visitantes antes de encender el la trituradora.
- Los sistemas de alimentación deben ser visibles desde el puesto del operador.
- Nunca opere la trituradora si esta estuviere dañada.
- Mantenga las mangueras y acoples de aceite hidráulico libres de fugas.

- Repasar, revisar y actualizar las prácticas de seguridad por lo menos una vez al año.

4.4.3. Precauciones en el mantenimiento

- Para poder trabajar o ajustar la máquina primero apague el motor, remueva la llave y espere a que toda la máquina deje de moverse antes de poder trabajar en ella.
- Es necesario tener una buena política de compra, para evitar contratiempos.
- Las guardas y protectores de las partes móviles debe de estar en su lugar y asegurados correctamente y al terminar el trabajo se deben de dejar de la misma forma.
- Nunca se debe usar ropa demasiado holgada o floja al trabajar alrededor o cerca de componentes que estén en movimiento o sean parte del sistema de impulsión.
- Libere la presión del sistema hidráulico antes de dar mantenimiento o reparar el sistema.
- Evite que las manos, pies, pelo y la ropa estén cerca de piezas en movimiento o rotación.
- Despeje el área de personas ajenas a las reparaciones que estén presentes al realizar cualquier mantenimiento o ajuste.

4.4.4. Áreas de peligro

Entre los riesgos que se corre al estar en un área cercana a la trituradora cuando está en funcionamiento se tiene el impacto de piedra a alta velocidad, exposición al polvo, exposición al ruido, etc. Por este motivo se debe tener especial cuidado con ésta área. Se deben colocar señales de peligro y de uso obligatorio de equipo de protección personal, para advertir a cualquier persona que se encuentre en el área.

En los paneles eléctricos y áreas donde haya riesgo de choque eléctrico, dentro o fuera de la cabina de trituración, se deben colocar señales de precaución, alto voltaje y riesgo de choque eléctrico según fuera el caso. Se debe tener precaución y evitar las áreas de carga y descarga de la máquina en funcionamiento; y siempre se debe estar al tanto de otras personas que se encuentren cerca al área, para prevenirles y mantenerlos alejados de las zonas de peligro.

4.5. Procedimientos de ajustes

Es necesario revisar los procedimientos de ajustes y mantenimientos, para poder hacer un estimado del tiempo necesario para realizarlo, a demás de hacer los preparativos necesarios.

4.5.1. Rotación de *blow bars*

1. Aflojar los pernos de sujeción, tres cada lado, y el pivote de oscilación.

Figura 47 Localización de pernos de sujeción



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

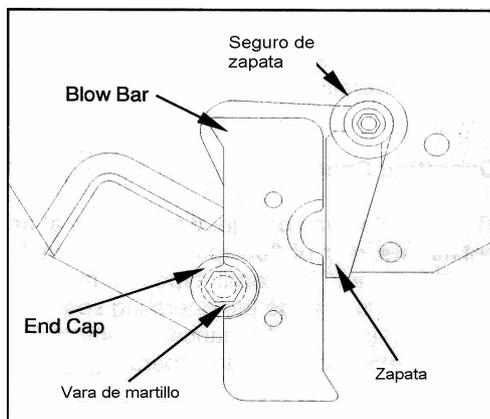
2. Encender el sistema hidráulico y activar los cilindros de la cubierta del impactador. Esto hará girar la cubierta del impactador a la posición abierta

Figura 48 Trituradora en posición abierta



3. Asegurar el rotor en la posición deseada con los seguros proporcionados por fábrica. El rotor debe ser asegurado en ambos lados de la trituradora para prevenir que rote mientras se hacen los trabajos de mantenimiento. Los seguros del rotor extienden a través de la pared lateral del impactador hasta el *blow bar*.
4. Quitar los pernos principales de tuerca hexagonal y las arandelas de seguridad, una en cada extremo por cada *blow bar*.
5. Quitar los pernos y las tuercas de los soportes de las zapatas, cuatro por cada *blow bar*.
6. Asegurar ganchos de elevación en cada extremo del *blow bar* en los agujeros de seguridad. Levantar cada *blow bar* hasta poder desarmar la “vara de martillo” que ajusta la barra. Elevar el *blow bar* fuera del impactador y bajarlo a tierra.

Figura 49 Conformación de ensamble de *blow bar*



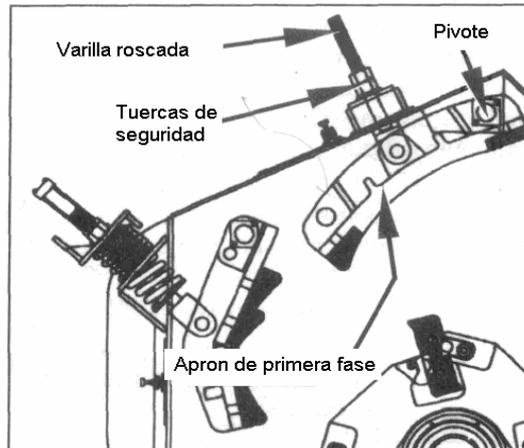
Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

7. Antes de reinstalar los *blow bars*, limpie cualquier suciedad o piedra del asiento. Asegurar los ganchos de elevación en cada extremo del *blow bar* en los agujeros de seguridad. Elevar cada *blow bar* dentro del impactador y encima del asiento del rotor.
8. Asegurarse que cada *blow bar* este asentado firmemente en la parte posterior del asiento del rotor. Vuelva a montar la vara del martillo, las zapatas, las tuercas y arandelas de seguridad.
9. Remueva los seguros del rotor, gire el rotor y repita el proceso con cada barra.
10. Cuando se haya terminado con cada barra, remueva los seguros del rotor y cierre la cubierta del impactador, usando el sistema hidráulico. Coloque los pernos de la cubierta en posición y asegúrelos.
11. Revisar los *settins* a través de las compuertas laterales de inspección y ajustar como sea necesario.

4.5.2. Ajustes de distancias

El *apron* de primera fase posee un pivote que le permite movilidad en la esquina superior de la pantalla. Este *apron* es sujetado por dos barras roscadas de 1 ½" de diámetro. La única fuerza de tensión que actúa sobre el *apron* es la fuerza de su propio peso.

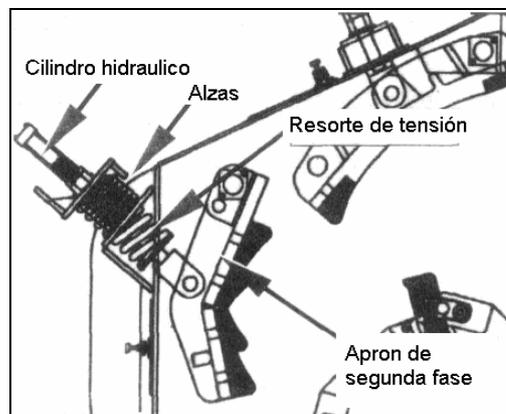
Figura 50 Partes del *apron* de primera fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

El *apron* de segunda fase gira con pivotes localizados en su extremo superior; sin embargo a diferencia del *apron* de primera fase, este utiliza un dispositivo de tensión con resorte para proporcionar protección de la sobrecarga y objetos no triturables. Un cilindro hidráulico entre los resortes de tensión se utiliza para liberar presión de alzas en el *apron* y permite la adición o remoción de estas. Este cilindro, así como los cilindros de apertura del impactador, activan desde un control de hidráulicos situado en el impactador.

Figura 51 Partes del *apron* de segunda fase

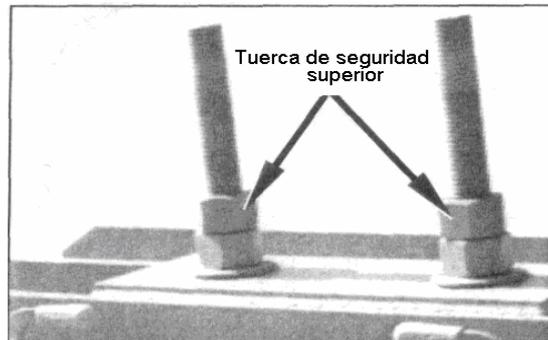


Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

4.5.2.1. Corazas de primera fase

1. Aflojar la primera tuerca de seguridad en la parte superior de la barra roscada

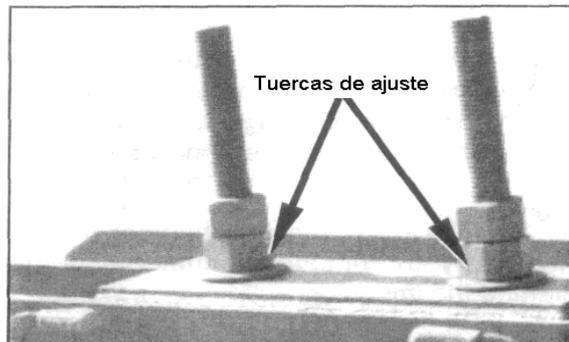
Figura 52 Tuercas de seguridad en *apron* de primera fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

2. Para elevar o bajar el *apron*, según se quiera el ajuste, se debe hacer dando vuelta a la tuerca inferior en la barra roscada.

Figura 53 Tuercas de ajuste en *apron* de primera fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

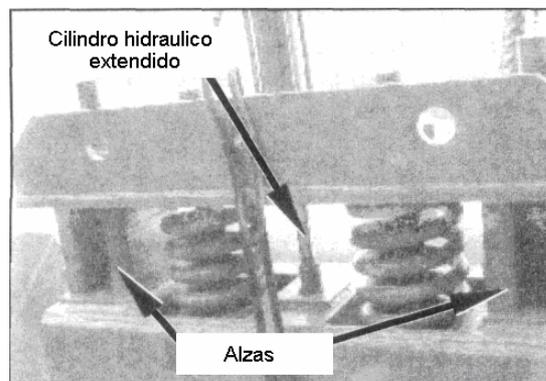
3. Después de que se haya hecho el ajuste, compruebe el *setting* a través de la compuerta de inspección antes de apretar la tuerca de seguridad

superior. Se debe verificar que ambos lado están ajustados igualmente. Es necesario repetir el proceso hasta que se alcance el ajuste deseado.

4.5.2.2. Corazas de segunda fase

1. Inicie el sistema hidráulico que activa el cilindro en la parte superior y extienda el embolo. Esto estirara los resortes y hará que la fuerza de carga sobre las alzas sea anulada.

Figura 54 Embolo de *apron* de segunda fase



Fuente: Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Operation & Maintenance

2. Agregue o quite el número deseado de alzas a cada lado. Es importante que se añadan el mismo número de alzas en ambos lados.
3. Contraer el cilindro del *apron* de vuelta a la posición de funcionamiento.
4. Después de que se haya hecho el ajuste, compruebe el *setting* a través de la compuerta de inspección. Se debe de asegurar que ambos lado se ajustan igualmente. Es necesario repetir el proceso hasta que se alcance el ajuste deseado.

Nunca se debe ajustar los *settings* a menos distancia del mínimo ya que esto puede causar daños al impactador. La longitud del resorte comprimido, después del ajuste, debe ser 15 13/16"

4.5.3. Rotación de corazas

1. Aflojar los pernos de sujeción, tres cada lado, y el pivote de oscilación.
2. Encender el sistema hidráulico y activar los cilindros de la cubierta del impactador. Esto hará girar la cubierta del impactador a la posición abierta
3. Asegurar el rotor en la posición deseada con los seguros proporcionados por fábrica. El rotor debe ser asegurado en ambos lados de la trituradora para prevenir que rote mientras se hacen los trabajos de mantenimiento. Los seguros del rotor extienden a través de la pared lateral del impactador hasta el *blow bar*.
4. Cortar la contra tuerca con acetileno de los tornillos pasados que sostienen las corazas.
5. Intercambiar y colocar la coraza nueva o en su nueva posición. Para fijar las corazas se deben utilizar tornillos y tuercas nuevas, ya que la contra tuerca debe soldarse para evitar que se afloje por las vibraciones.
6. Repita desde el paso 4 por cada coraza.

Figura 55 Rotación de corazas



7. Cerrar la cubierta del impactador, usando el sistema hidráulico. Colocar los pernos de la cubierta en posición y asegurarlos.

8. Revisar los *settins* a través de las compuertas laterales de inspección y ajustar como sea necesario.

4.6. Lubricantes

La lubricación debe de ser realizada diariamente antes de operar la máquina. Existen cuatro graseras para los collares del cojinete y una para el cojinete en si. Una pequeña cantidad de filtración de grasa se puede esperar de los collares. La cantidad de grasa requerida variará dependiendo de condiciones de funcionamiento.

Los cojinetes se deben lubricar como sigue:

- Limpie la suciedad de las graseras del cojinete y de los collares antes de agregar la grasa.
- Lubricar el cojinete usando 1/2 onza. O 10 bombeos de una bomba estándar de 13 oz. Usando grasa compuesta de litio NLGI 2.
- Lubricar los collares de los cojinetes con tres bombeos de una bomba estándar de 13 oz. En cada graseras usando grasa compuesta de litio NLGI 2. Se debe hacer el mismo procedimiento para ambos cojinetes.

4.7. Vibraciones permitidas

El análisis de vibraciones es el método que permite detectar mayor cantidad de problemas; ya que las posibles fuentes de vibración en un sistema mecánico por mencionar algunas son: desequilibrios, desalineaciones, holguras, excentricidades, desgastes, pulsaciones, etc.

La medida del análisis de vibraciones se expresa por:

- Parámetro objeto de la medición (Desplazamiento, Velocidad o Aceleración).
- Sistema de unidades elegido

- Tipo de medición Pico (P), Pico a Pico (P-P), Valor Eficaz (RMS) o Valor Promedio (AVG)

Según la falla a detectar se debe medir distintos parámetros y para cada caso se necesita utilizar distintos transductores. El transductor es el elemento que transforma la vibración mecánica en una señal eléctrica analógica para ser procesada, medida y analizada. La información obtenida puede ser procesada a través de un vibrómetro o a través de un analizador de frecuencia.

Se presentan algunos problemas relacionados a la cinemática del objeto en estudio:

Desequilibrio: Se produce un aumento de la vibración en su valor global. Pico en 1X y nivel de ruido espectral bajo. Valor de fase estable, cambiando la fase 90° cuando se cambia la posición del sensor 90°. Se llega a apreciar una onda senoidal. Los valores de alarma, aunque dependen de la máquina, oscilan entre los 3 mm/s y 8 mm/s. El problema se corrige compensando con una masa el punto adecuado. Con la ayuda de un analizador de vibraciones se determina el peso y el ángulo de la masa de compensación.

Excentricidad: Se produce un aumento de la vibración en su valor global en la dirección de los centros de los ejes, siendo menor en la dirección perpendicular. Pico principal en 1X y vibración predominante radial en la dirección de los centros de los ejes. Para no confundir con un desequilibrio es conveniente realizar medidas de fase o de vibración en dos direcciones. Para detectar el fallo se realizarán medidas en la dirección de los centros de los ejes que soportan las poleas y en su perpendicular, y en cada soporte de rodamientos en dirección radial.

Este problema se detecta después de confundirse con un desequilibrio y al intentar equilibrar el eje objeto de la vibración. Habrá que estar atentos sobre todo al cambiar poleas ya que este es un defecto propio de la fabricación de ese elemento. La solución es la sustitución de la polea excéntrica.

Holguras: Se produce un aumento de la vibración en su valor global. Picos desde 1X en adelante, subiendo el nivel del ruido si las holguras son severas. Desfase de 180° entre piezas sueltas, indicando que se encuentran chocando una contra otra.

El seguimiento de los valores medidos en esta banda nos dará el primer síntoma de la posible holgura en la máquina. Las holguras se corrigen reapretando tornillos o sustituyendo los elementos gastados caso de cojinetes o rodamientos.

Eje doblado: Aumento de la vibración en su valor global axial y radialmente. Cuando se equilibra puede disminuir la radial pero no se elimina la axial. Picos en 1X y 2X. En 1X es más elevado si el eje está doblado en el centro y 2X si se dobló junto a un cojinete.

La onda formada es periódica. Su detección no es muy frecuente, además los síntomas iniciales pueden confundirse con desequilibrios o desalineaciones, por ello es conveniente realizar la medida de fase entre los soportes de los cojinetes. El problema se corrige cambiando el eje por otro nuevo.

Correas desalineadas: Aumento de la vibración en su valor global por encima de lo habitual en velocidad de vibración. Se encuentra un pico a la velocidad de giro 1X de la polea del eje en el cual se toma la medida de la vibración. La vibración axial es mayor que la radial, lo que diferencia este fallo del desequilibrio.

El diagnóstico necesita medida de vibración radial y axial. La vibración axial es mayor que la radial. Se recomienda alinear las poleas utilizando una luz láser.

4.8. Medición del consumo eléctrico

Los datos del consumo eléctrico en el capítulo anterior se realizaron de una forma manual y están sujetos a errores de cálculo. Estos datos se calcularon como una forma alternativa, ya que no existe algún medidor de consumo eléctrico individual para la máquina.

Debido a la importancia de la máquina, es necesario tener algún dispositivo que mida el consumo real de energía eléctrica, y no solamente el consumo aparente como el amperímetro. Este problema se puede resolver al implementar un contador digital de consumo eléctrico, con capacidad para 440 voltios y 350 amperios de corriente trifásica; con pantalla de fácil lectura instalado en el panel.

Los datos de watts consumidos por la máquina servirían para asignar costos reales. Además estos datos combinados con las horas de trabajo sirven para calcular el consumo de energía realizado por tonelada, o el índice Wio, de una forma más exacta. Esto llevaría a datos de eficiencias más certeros, lo que da oportunidad a más ideas para mejoras.

Estos datos al ser tabulados por día se pueden complementar con la información de alguna eventualidad, cambios de material, pruebas realizadas, etc. Para ser utilizado como una herramienta de diagnóstico. También el comportamiento del consumo de energía puede ser asociado a fallas como desgaste de piezas, y conforme la experiencia, se puede anticipar a situaciones no deseadas.

4.9. Medición de disponibilidad del equipo

La disponibilidad de la máquina se puede medir con el tiempo que la máquina estuvo funcionando, gracias al horómetro, y pérdidas de tiempo productivo por paradas, esto es gracias a los reportes de operarios y supervisores. El tiempo productivo debe ser el resultado de la planificación de producción, por lo que ya debe de tomar en cuenta las paradas necesarias y planificadas.

Para medir la disponibilidad de la máquina se debe hacer en periodos de tiempo mensuales o quincenales. Si se toman en tiempo muy corto o demasiado largo los datos presentaran distorsiones y tendencias a ser menores o mayores de lo real. Para presentar los resultados se puede expresar en un valor porcentual de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \left(\frac{T_o}{T_{po}}\right) * 100$$

Donde:

T_{po} = Tiempo total de trabajo - Tiempo de paradas planificadas

T_o = T_{po} - Paradas no planificadas

4.10. Herramientas para la administración de recursos

Teniendo los datos de eficiencia, disponibilidad, consumo energético, etc. Es hora de tomar acciones para la mejora de procesos. El nuevo problema a plantearse es ¿en qué proyecto se debe invertir recursos para que tengan el mayor efecto?; o de otra forma, ¿qué gasto representará el mayor ahorro?

Es aquí donde entra la administración de recursos. Esta forma de administrar hace uso de herramientas que permiten descubrir cuáles son las causas de los problemas. Así poder analizar y definir cual es el impacto que producen en el proceso, con el fin de determinar cual es la causa que genera el mayor efecto y actuar sobre ella.

4.10.1. Diagrama de Ishikawa

Es conocido también como diagrama de causa y efecto. Es una forma gráfica de organizar que permite representar y analizar las relaciones entre un problema y las posibles causas.

Esta herramienta necesita un análisis participativo, esto se puede lograr mediante la organización de grupos de mejora o grupos de análisis. Mediante técnicas como la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, se facilita un mejor resultado en el entendimiento de las causas que originan un problema. La identificación del problema y las causas que lo originan hacen posible la solución del mismo.

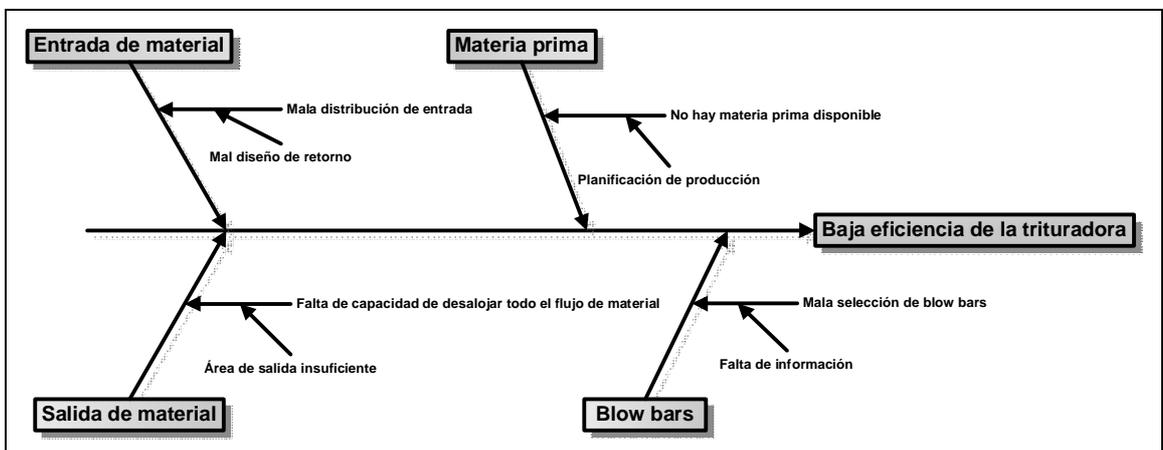
Consiste en una gráfica en la que puede verse una línea horizontal central en el plano, en su extremo derecho se enmarca el problema a analizar. A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas que representan categorías en las que se pueden dividir las causas. Cada una de estas líneas recibe otras líneas perpendiculares que representan causas principales, y estas reciben otras líneas oblicuas que representan causas secundarias.

Cada grupo formado por una posible causa primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. El primer paso es decidir cual es el problema que se quiere examinar, luego el proceso se puede dividir en los siguientes pasos:

- Dibujar un diagrama en blanco.
- Escribir de forma breve el problema o defecto.
- Escribir las causas principales que se consideren apropiadas al problema; las mas comunes son máquina, mano de obra, materiales, métodos, estos aplican en varios procesos.
- Realiza una lluvia de ideas de posibles causas secundarias y relaciónalas a las primarias.
- Preguntarse ¿por qué? a cada causa, no más de dos o tres veces.
- Empezar a enfocar las variaciones en las causas seleccionadas como fácil de implementar o de alto impacto.

Un ejemplo de cómo se podría aplicar el diagrama se muestra continuación, planteando el problema de baja eficiencia de la trituradora.

Figura 56 Ejemplo de aplicación para el diagrama de Ishikawa



4.10.2. Diagrama de Pareto

Cuando se haya analizado las posibles causas de un problema, el paso a seguir es encontrar la causa que posea el mayor impacto. Mediante el principio de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia. Este principio afirma que “en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto”.

Para poder visualizar fácilmente este principio se representa gráficamente en el diagrama de Pareto. Este diagrama es una forma especial de gráfico de barras verticales que separa los problemas como importantes y no importantes, estableciendo un orden de prioridades.

El primer paso consiste en recoger los datos correctos. Para la construcción de un diagrama de Pareto son necesarios:

- a) Un medible y cuantificable sobre lo que se quiere priorizar, por ejemplo costos, tiempo, número de errores o defectos, porcentaje de clientes, etc.
- b) Una lista de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto como tipos de fallos o errores, pasos de un proceso, tipos de problemas, productos, servicios, etc. Esto se logra utilizando el diagrama de causa y efecto.
- c) La magnitud de la contribución de cada elemento o factor al efecto total. Estos datos deberán ser:
 - Objetivos: basados en hechos, no en opiniones.
 - Consistentes: debe utilizarse la misma medida para todos los elementos contribuyentes ya que este es un análisis de comparación.
 - Representativos: deben reflejar toda la variedad de hechos que se producen en la realidad.

- Verosímiles: evitar cálculos o suposiciones controvertidas, ya que si no se cree en los datos no se apoyarán las decisiones.

Como segundo paso se deben hacer los cálculos de las contribuciones parciales y totales.

- Se deben ordenar los factores incluidos en el análisis.
- Se debe anotar la magnitud para cada factor.
- Ordenar los elementos de mayor a menor, según la magnitud de su contribución.
- Calcular la magnitud total del efecto, es decir, la suma de las magnitudes parciales.

Para el tercer paso se debe calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado de cada elemento. El porcentaje de cada contribución se debe calcular de la siguiente manera:

$$\% = \frac{\textit{Magnitud_Individual}}{\textit{Magnitud_Total}} * 100$$

Se debe construir una tabla en donde se resuman los datos para facilitar la construcción de la gráfica.

El cuarto paso es trazar y rotular los ejes del diagrama.

- El eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto estudiado. Debe empezar en 0 e ir hasta el valor del efecto total. Rotularlo con el efecto, la unidad de medida y la escala.
- El eje horizontal contiene los distintos elementos o factores que contribuyen al efecto. Dividirlo en tantas partes como factores existan según el orden establecido en la tabla anterior.

- El eje vertical derecho representa la magnitud de los porcentajes acumulados. La escala de este eje va desde el 0 hasta el 100 y representa porcentajes. El cero debe coincidir con el origen y el 100% estará representa la magnitud total del efecto.

El quinto paso es dibujar en forma de barras la representación del efecto de cada uno de los elementos contribuyentes. Su referencia es el eje y izquierdo.

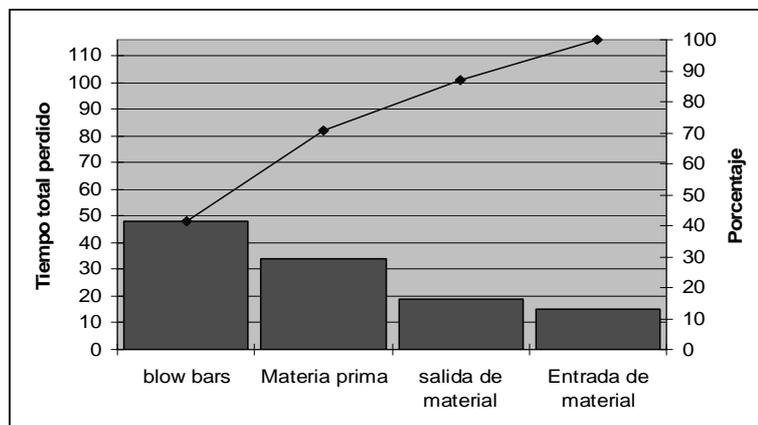
Como sexto paso se traza un gráfico lineal cuyos puntos representan el porcentaje acumulado de la tabla. Su referencia es el eje y de lado derecho.

Como ejemplo se tomara las categorías del diagrama de Ishikawa anterior, con datos ficticios de tiempos perdidos por mes. Esto se hará debido a que no se han implementado las herramientas que proporcionen todos los datos necesarios para realizar un diagrama real.

Tabla XII Ejemplo de tabla para diagrama de Pareto

Causas	Paros provocados	Tiempo total perdido (hrs.)	Porcentajes de tiempo perdido	Porcentaje acumulado
<i>blow bars</i>	1	48	41,38	41,38
Materia prima	7	34	29,31	70,69
salida de material	9	19	16,38	87,07
Entrada de material	11	15	12,93	100,00
Sumatoria	28	116	100,00	

Figura 57 Ejemplo de diagrama de Pareto



Fuente: Propia

Basándonos en el cambio de inclinación entre los segmentos lineales correspondientes a cada elemento podemos ver la frontera entre los elementos de alto impacto y los elementos triviales. Con este análisis buscamos enfocar nuestro esfuerzo en las contribuciones más importantes, con objeto de optimizar el beneficio obtenido del mismo.

En el ejemplo se observa que el cambio se encuentra entre la materia prima y la salida de material. Esta área se encuentra cerca del 80% lo que confirma el principio de Pareto. El análisis de la gráfica muestra que atacando primero el problema de los *blow bars* y materia prima, se obtiene la disminución de los paros innecesarios en un 70% aproximado.

5. SEGUIMIENTO

5.1. Control de mejoras de eficiencias

Cuando se han tomado acciones correctivas en los procesos se debe poder medir o cuantificar las mejoras. Para tal objetivo es necesario encontrar un índice que indique los aumentos de eficiencia respecto a un punto de referencia.

Este punto de referencia debe ser una medida de eficiencia que represente un lapso de tiempo, generalmente un mes. Esta referencia debe ser comparada con las siguientes medidas de eficiencias como un aumento porcentual. Este índice es únicamente para registrar incrementos en la eficiencia, y no se debe utilizar para planear o programar la producción.

5.2. Control de desgaste

Para evitar paros de emergencia provocados por el desgaste de las piezas es necesario llevar un registro histórico de este. Este registro se debe ordenar y tabular para poder graficarlo, y así en esta forma poder encontrar una tendencia que permita pronosticar el desgaste. Para poder llevar este registro se pueden valer de herramientas de informática tales como hojas de cálculo.

Las partes de la máquina que sufren un desgaste proporcional a la producción, son los *blow bars* y las corazas de los *aprons*. Según sea la parte controlada, la pieza que presenta más desgaste es la que determina el momento de cambio o rotación.

La razón principal por el cual se busca una tendencia en el desgaste es la planificación de stock de repuestos. Ya que los repuestos son por pedido en el extranjero, su disponibilidad tarda dependiendo al sistema de envío y a factores externos a la empresa como las políticas de fronteras. Además de ser una útil herramienta para poder realizar presupuestos mas exactos.

5.2.1. Blow bars

Habiendo implementado ya un sistema de registro de desgaste diario por cada *blow bar*, es necesario tabular los datos. Estos datos deben presentar un desgaste proporcional a la producción, lo cual se debe verificar en cada barra.

Un desgaste uniforme de barras muestra un correcto balance del rotor, y un ensamble correcto de las barras. Por lo contrario, una barra con exceso de desgaste sobre las demás, representa un problema que necesita ser analizado y reparado. Por tal motivo es necesario el registro de cada barra individual.

5.2.2. Corazas

El desgaste de las corazas también necesita llevar registro; este puede ayudar a determinar a cuantas toneladas de material necesitan ser rotadas o cambiadas. También el tiempo aproximado de duración máximo para cada coraza según su posición.

5.3. Control de ajustes (*settings*)

Debido a que la calibración óptima de *settings* solo puede ser determinada a base de experiencia, es necesario registrar los *settings* junto al consumo de energía y análisis granulométricos de la salida de material.

Este registro puede mostrar la relación entre *setting* más abiertos o cerrados, el consumo de energía y el material sobre medida (retorno). Esta relación es una base para poder seleccionar la calibración más adecuada de *settings*.

5.4. Control de mantenimientos

Las actividades desarrolladas por el personal de mantenimiento, deben quedar registradas en una serie de datos. Estos datos deben incluir información relativa al tipo de actividad, su prioridad, falla encontrada (y cómo fue reparada), duración, recursos humanos y materiales utilizados, etc. Estos datos deben ser registrados en una orden de trabajo llenada por el mismo personal de mantenimiento.

Para procesar la información referente a los informes de gestión del equipo y costos, debe ser previsto el registro de los datos provenientes de operación. Estos registros, deben ser hechos por los operadores y deberían constar básicamente de:

- Horas de funcionamiento por período de control
- Pérdidas o reducción de la producción debido al mantenimiento
- Referencia de cada intervención hecha a través de la indicación del número de la orden de trabajo.

Estos datos permitirán evaluar la eficiencia de la actuación del mantenimiento y sus implicaciones con costos y programación. Toda esta información debe ser integrada a una base de datos, en la cual pueda ser consultada fácilmente.

5.5. Limpiezas al área

Para evitar accidentes y facilitar la movilidad en el área, se debe implementar un sistema de limpieza de material. La limpieza en la plataforma de la trituradora previene accidentes y facilita el mantenimiento de esta. Las limpiezas de material en las áreas cercanas a la trituradora se deben hacer con

mecanismos para ya sean manuales o mecánicos. La limpieza a la trituradora debe hacerse con agua a presión.

Para llevar a cabo el sistema de limpieza se debe programar como una acción de mantenimiento y debe programarse como tal, con la diferencia que esta debe incluir a todo el personal disponible. Se debe registrar el día, la duración, problemas encontrados, etc. En un reporte especial que se debe ingresar en una base de datos para sus posteriores consultas.

Otra forma de evitar accidentes, y mantener limpia el área, es controlar la limpieza de los mantenimientos. Esto significa, que el personal de mantenimiento debe dejar limpia de restos mecánicos, grasas, aceites, etc. El área donde estuvo trabajando. Esto implica organizar supervisiones de limpieza al finalizar cada trabajo de mantenimiento, o reparación en donde se implique al personal mecánico.

5.6. Mejora continua

Si tecnológicamente no se tiene un costo razonable, la única forma de mejorar el producto, es mediante un sistema de mejora continua.

La mejora continua es una forma para incrementar la productividad, que a la vez favorece un crecimiento estable y consistente al proceso. Algunas de las herramientas utilizadas incluyen las acciones correctivas, preventivas y el análisis de la satisfacción en los clientes.

Este sistema busca siempre obtener mejores resultados debido a su dinámica continua de estudio, análisis, experiencias y soluciones.

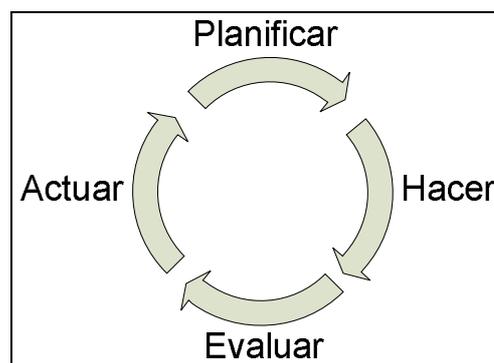
Antes de implementar el sistema de mejora continua al proceso, este debe presentar ciertas características para tener el mejor resultado.

El proceso debe estar controlado y:

- Se conoce su propósito (Misión).
- Están descritos sus pasos (Subprocesos).
- Están identificadas sus entradas y salidas.
- Están identificados sus clientes y proveedores.
- Existe un Responsable.
- Se mide y mejora su efectividad y eficiencia.

La mejora continua del proceso se basa en la evaluación continua, a través del círculo de shewhart - Deming, de todos los aspectos que lo conforman: su diseño, ejecución, las medidas de control y su ajuste. Cualquier actividad u organización con el propósito de aumentar permanentemente su efectividad, debería considerar 4 áreas fundamentales:

Figura 58 Ciclo de Shewhart - Deming



- A. Planificar la mejora: Es necesario establecer un plan de mejora para introducir los cambios necesarios en el proceso. Este plan debe contemplar todos los aspectos que permitan conducir al proceso.

Para lograrlo es conveniente trabajar en un subciclo de 5 pasos sucesivos, los cuales son:

- Definir el objetivo: Se deben fijar y clarificar los límites del proyecto:
 - ✓ ¿Qué vamos a hacer?
 - ✓ ¿Por qué lo vamos a hacer?
 - ✓ ¿Qué queremos lograr?
 - ✓ ¿Hasta dónde queremos llegar?

- Recopilar datos: Se debe investigar:
 - ✓ ¿Cuáles son los síntomas?
 - ✓ ¿Quiénes están involucrados en el asunto?
 - ✓ ¿Qué datos son necesarios?
 - ✓ ¿Cómo los obtenemos?
 - ✓ ¿Dónde los buscamos?
 - ✓ ¿Qué vamos a medir y con qué?
 - ✓ ¿A quién vamos a consultar?

- Elaborar el diagnóstico: Se deben ordenar y analizar los datos:
 - ✓ ¿Qué pasa y por qué pasa?
 - ✓ ¿Cuáles son los efectos y cuáles son las causas que los provocan?
 - ✓ ¿Dónde se originan y por qué?

- Elaborar pronósticos: Se deben predecir resultados frente a posibles acciones o tratamientos:
 - ✓ ¿Sabemos qué efectos provocarán determinados cambios?
 - ✓ ¿Debemos hacer pruebas previas?

- ✓ ¿Debemos consultar a especialistas?
- ✓ ¿Es necesario definir las situaciones especiales?
- Planificar los cambios: Se deben decidir, explicitar y planificar las acciones y los cambios a instrumentar:
 - ✓ ¿Qué se hará?
 - ✓ ¿Dónde se hará?
 - ✓ ¿Quiénes lo harán?
 - ✓ ¿Cuándo lo harán?
 - ✓ ¿Con qué lo harán?
 - ✓ ¿Cuánto costará?

B. Hacer: Consiste en “hacer mejor las cosas”, asegurando que se midan los resultados en cada paso, desde la entrada hasta el final del proceso. Se debe valorar la eficiencia del proceso y su efectividad desde el punto de vista técnico y de la percibida por los usuarios.

Para llevar a cabo estas mediciones, se debe contar con un sistema de información integral que posea una forma de evaluación y seguimiento de los resultados del proceso. Este sistema de información debe sustentar la valoración de la mejora a largo plazo.

C. Evaluar: La evaluación es buscar continuamente las causas de los errores relacionando la salida del proceso con las expectativas los usuarios. Para la evaluación de los procesos existen varias herramientas y mecanismos de actuación, de entre los cuales tenemos:

- Repetición del ciclo de mejora.
- Realización de auditorías de calidad.

- Aplicación de técnicas de benchmarking.

D. Actuar: Consiste en intervenir el proceso para corregir los problemas; analizando soluciones factibles y buscando acuerdos entre las personas que estén involucradas.

Estas cuatro áreas resultan en un movimiento permanente de retroalimentación. Puesto que al tomar acciones, consecuencia de lo encontrado en las revisiones, seguramente tenemos que introducir cambios en la planificación y, a su vez, éstas introducen cambios en el desarrollo, así sucesivamente.

Para poder controlar el progreso de aplicación del ciclo de Shewhart – Deming se puede recurrir a alguno de los métodos tradicionales de seguimiento y control de proyectos. Un buen plan y un adecuado diagrama de Gantt pueden convertirse en valiosas Herramientas. Se hace una pequeña referencia de las principales herramientas más adelante.

Todos los esfuerzos dedicados a una inteligente, meditada y profunda planificación se traduce en mejoras efectivas, en disminución de desviaciones y fallos y, en consecuencia, menor esfuerzo y coste en las acciones correctoras. Por el contrario si se disminuyeran esfuerzos y recursos en la planificación, se aumentarían los tiempos (y gastos) en desarrollo y correcciones.

Existen tres grandes riesgos, que la gestión para ser eficaz debe de controlar. De no ser tomados en cuenta, acarrearán pérdidas económicas considerables que pueden llegar incluso, al cierre y desaparición de la empresa. Estos riesgos son:

- Riesgo de pérdida de clientes
- Riesgo de multas por deterioro medioambiental
- Riesgos de daños al personal interno o externo.

Una forma universal de poder controlar estos problemas los encontramos en diferentes normas que son certificables para cualquier empresa.

Las normas ISO 9001. Esta norma tiene muchas semejanzas con el ciclo de Shewhart - Deming. Está estructurada en cuatro grandes bloques, completamente lógicos, y esto significa que con el modelo de sistema de gestión de calidad basado en ISO se puede desarrollar cualquier actividad. Para los riesgos medioambientales se tienen las ISO 14001, y los riesgos de daños al personal son tratados con el Modelo de Gestión OHSAS 18001.

La mejor forma de buscar mejoras en los procesos y uno de los puntos clave en la gestión de calidad, es la formación de “grupos de mejora”, haciendo participes a los operarios que conocen mejor el proceso y los problemas.

Al implementar un sistema de mejora continua se deben tener en cuenta varios aspectos importantes, entre estos:

- Mantener un sistema simple, empleando procedimientos sencillos, comprensibles y con errores de fácil detección.
- Verificar la veracidad de los datos, ya que si entran datos erróneos, saldrán datos erróneos.
- No se debe de aceptar a ciegas los resultados de una acción; aunque se confié en ello, se debe verificar.
- Para toda acción que se quiera modificar, debe existir un parámetro que sea cuantificable y medible, si no se puede medir no se puede gestionar.

Para que la administración se comprometa plenamente con la mejora continua, no basta contar con un sistema que le notifique los problemas en los procesos productivos. Este debe ser reforzado con visitas al proceso varias veces por día para evaluar personalmente que ocurre y por qué.

- **Diagrama de Gantt:**

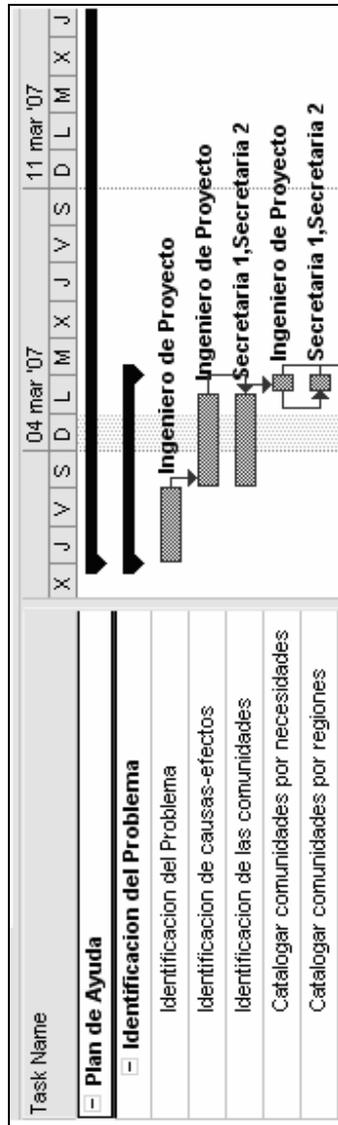
Es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. Una desventaja de este diagrama es que no indica las relaciones existentes entre actividades, pero la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones.

Por esta razón, para la planificación del desarrollo de proyectos complejos (superiores a 25 actividades) se requiere además el uso de técnicas basadas en redes de precedencia como CPM o los grafos PERT.

El diagrama de Gantt resulta útil para la relación entre tiempo y carga de trabajo. En gestión de proyectos, el diagrama de Gantt muestra el origen y el final de las diferentes unidades mínimas de trabajo y los grupos de tareas o las dependencias entre unidades mínimas de trabajo.

Básicamente el diagrama está compuesto por un eje vertical donde se establecen las actividades del proyecto, y un eje horizontal que muestra en un calendario la duración de cada una de ellas.

Figura 59 Ejemplo de diagrama de Gantt



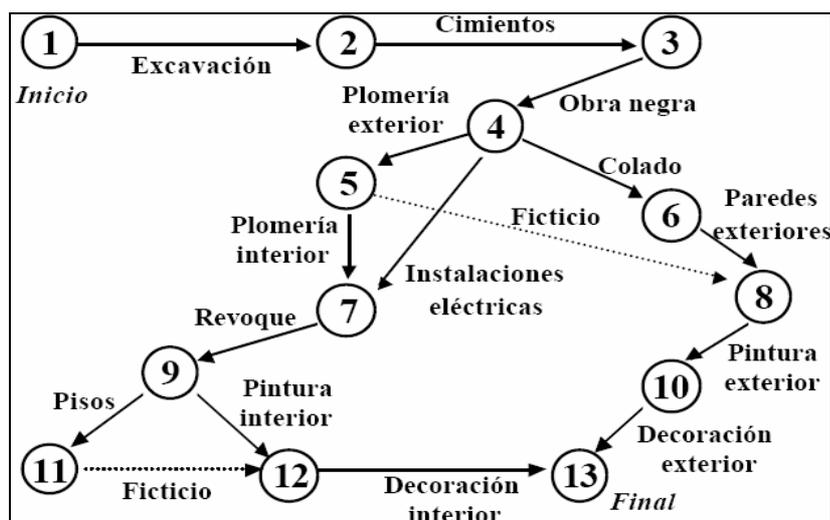
- **Pert:**

La técnica de revisión y evaluación de programas, abreviada PERT, es un modelo para la administración y gestión de proyectos. Este es básicamente un método para analizar las tareas involucradas en completar un proyecto dado, especialmente el tiempo para completar cada tarea, e identificar el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto total.

La parte más famosa de PERT son las Redes PERT, diagramas de líneas de tiempo que se interconectan. PERT está diseñado para proyectos de gran escala, que se ejecutan de una vez, complejos y no rutinarios.

Una malla PERT permite planificar y controlar el desarrollo de un proyecto. A diferencia de las redes CPM, las redes PERT trabajan con tiempos probabilísticos. Normalmente para desarrollar un proyecto específico lo primero que se hace es determinar, en una reunión multidisciplinaria, cuáles son las actividades que se deberá ejecutar, cuál es la precedencia entre ellas y cuál será la duración esperada de cada una.

Figura 60 Ejemplo de diagrama PERT



Se examina un problema paso a paso relacionado con baja calidad de producción para ilustrar lo anteriormente explicado:

A. Planificando la mejora:

1. Definiendo el objetivo:

Tabla XIII Paso uno de la planificación: definición de objetivos

¿Qué vamos a hacer?	Mejorar la calidad de producción.
¿Por qué lo vamos a hacer?	Hay excesos de rechazos, exceso de costos.
¿Qué queremos lograr?	Lograr una aceptación al 100%, y disminuir costos.
¿Hasta dónde queremos llegar?	Fijación de metas de producción.

2. Recopilación de datos:

Tabla XIV Paso dos de la planificación: recopilación de datos

¿Cuáles son los síntomas?	Altos costos, bajas ventas, productos defectuosos, etc.
¿Quiénes están involucrados en el asunto?	Definir responsabilidades. En que parte del proceso se origina la raíz de la falla.
¿Qué datos son necesarios?	Datos de producción, calidad de los insumos, registros históricos, toma de mediciones, etc.

3. Elaborar el diagnóstico:

Tabla XV Paso tres de la planificación: diagnóstico

¿Qué pasa y por qué pasa?	Buscar el problema de raíz. Se utilizan las herramientas de administración como Pareto e Ishikawa.
---------------------------	--

Figura 61 Diagrama Ishikawa para diagnóstico

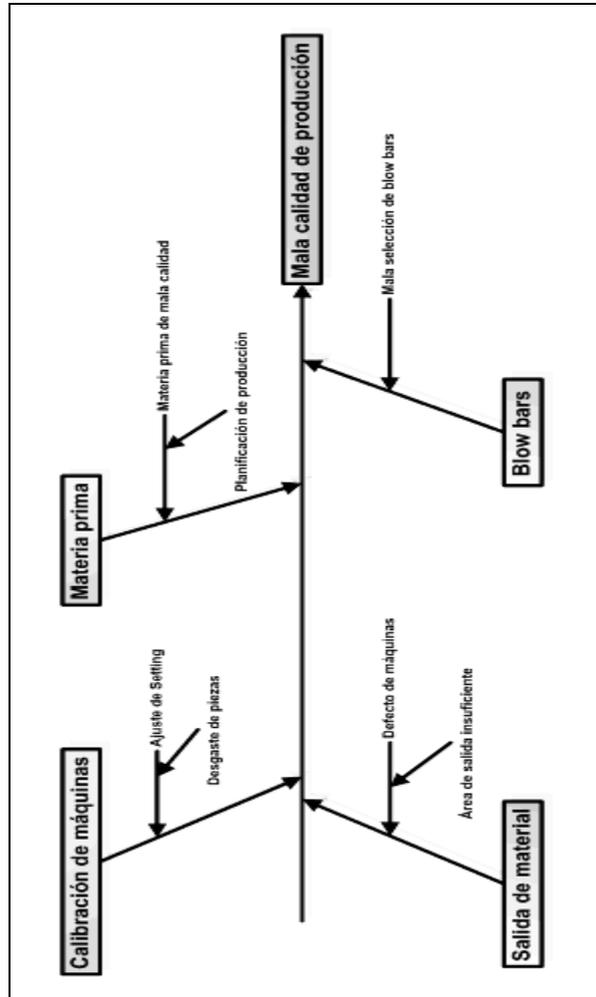
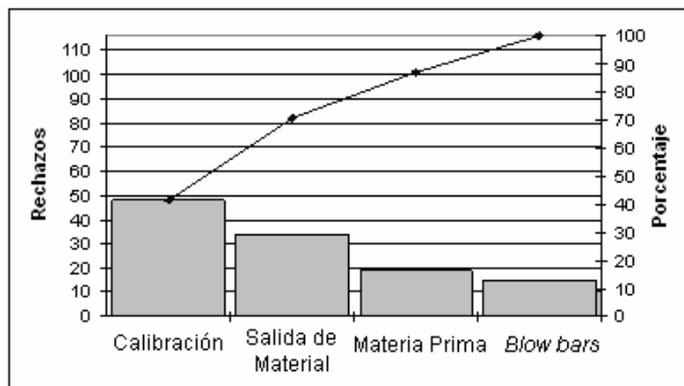


Figura 62 Regla 80-20 para diagnóstico



4. Elaborar pronósticos:

Tabla XVI Paso cuatro de la planificación: pronóstico

¿Sabemos qué efectos provocarán determinados cambios?	Analizar soluciones, determinar el impacto que tendrán en la producción las distintas propuestas.
¿Debemos consultar a especialistas?	Buscar asesoría, consultar a los fabricantes y/o vendedores.
¿Es necesario definir las situaciones especiales?	Posibles factores externos, como escasa materia prima de calidad, o reparaciones que se efectúan solamente en el exterior.

5. Planificar los cambios:

Tabla XVII Paso cinco de la planificación: planificar cambios

¿Qué se hará?	Planificar la realización de la tarea que tiene más impacto en la producción. En este caso es la calibración de la máquina. Se elabora un diagrama de Gantt, PERT o CPM para poder controlar el cumplimiento de este.
¿Dónde se hará?	Analizar si es posible realizar la tarea dentro de la planta o es necesario llevar la máquina fuera de esta.
¿Quiénes lo harán?	Designar responsabilidades. Establecer si es posible que el personal de mantenimiento se haga cargo o es necesario contratar externos.
¿Cuándo lo harán?	Planificar tiempo. Programar paro de producción.
¿Con qué lo harán?	Planificar recursos, hacer presupuestos.

B. Hacer:

Hecho el análisis de posibles resultados, ejecutar el plan de solución con más impacto. En este caso ajustar calibración de la máquina.

C. Evaluar:

Tabla XVIII Evaluación del proceso

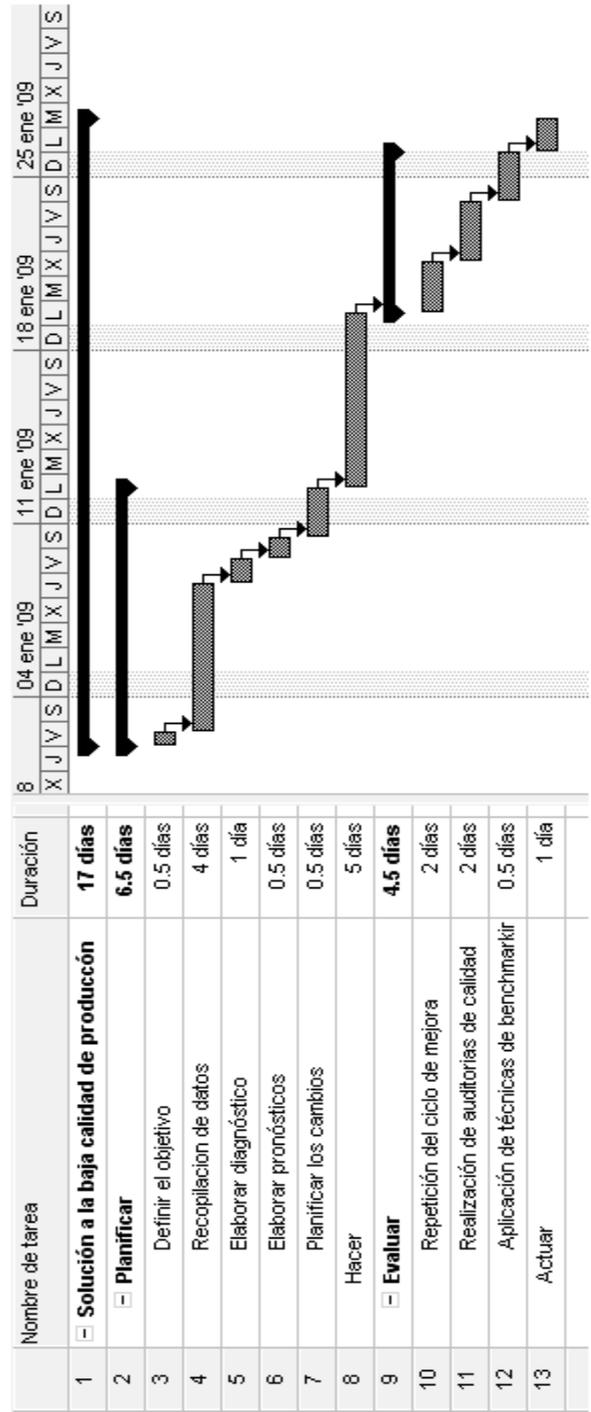
Repetición del ciclo de mejora:	Recalibrar conforme se necesite
Realización de auditorías de calidad:	Hacer análisis de granulometrías, análisis de cumplimiento de metas, etc.
Aplicación de técnicas de benchmarking:	Comparación del producto final con otras plantas.

D. Actuar:

Recopilar datos de lo aprendido en la calibración de la maquinaria. Se vuelve al primer paso para mejorar el proceso de calibración de las maquinas y no repetir el problema de baja producción.

Como se ve en el diagrama de Gantt de la figura 63, se ha planificado la terminación del proyecto o solución al problema en 17 días laborables. Si se empezara el proyecto el 2 de enero, se terminaría el 25 del mismo mes, trabajando en jornada normal diurna. Cabe resaltar que el tiempo puede variar dependiendo del problema.

Figura 63 Diagrama de Gantt para solución del problema



CONCLUSIONES

1. Los agregados son la materia prima, base para la fabricación del concreto, pueden ser compuestos de una mezcla de arena y piedra triturada.
2. La trituración para los agregados se divide por fases, en donde dependiendo de factores como tamaño, material, etc., se deben utilizar máquinas especializadas que se basen en distintos métodos para fracturar el material.
3. Actualmente, el problema que más afecta a la trituradora es el desgaste prematuro de *blow bars*, el cual tiene como principal causa deficiente alimentación y salida de material.
4. Al rediseñar la alimentación y la salida del material se incrementará la producción de la trituradora con una disminución en el consumo de energía por tonelada triturada, lo que la hará una máquina más eficiente y productiva.
5. Un correcto control de desgastes y una detallada observación de fallas, por parte del personal de mantenimiento en interacción con el personal operativo, complementado con una buena comunicación con la administración permite detectar y pronosticar fallas eficientemente, reduciendo paros innecesarios.

6. El índice del funcionamiento del trabajo, fundamentado en el principio de Bond, es una forma simple de determinar la eficiencia del consumo de energético por tonelada triturada para máquinas trituradoras de piedra, en la fabricación de agregados.

7. A través de calcular el índice de trabajo con base a la toma de medidas de el funcionamiento de la trituradora, se ha determinado que actualmente ésta está trabajando a una eficiencia media de 29.07% con un máximo del 43.99%; lo que representa que más de la mitad de la energía utilizada se esta desaprovechando.

RECOMENDACIONES

1. La instalación de una pesadora en la banda transportadora de salida, así conocer, medir y registrar la cantidad exacta de material que se tritura en la segunda etapa.
2. La realización de análisis granulométricos periódicos, así llevar un registro confiable en una base de datos de tamaño del material triturado y de la cantidad de retorno en la segunda etapa de trituración.
3. Realizar un plan y elaborar políticas de compra para repuestos que se anticipen y ajusten a posibles problemas y a las políticas de aduanas en el país.
4. Revisar, supervisar e investigar continuamente los procesos de trituración, en busca de propuestas para analizar posibles mejoras.
5. Mantener una comunicación constante y continua con el fabricante y/o vendedor de la máquina, para poder solicitar soporte, servicio y notificaciones de importancia que se relacionen con ésta.
6. Elaborar un análisis de eficiencia para cada trituradora, con el fin de poder balancear la producción de la línea.
7. Contemplar las posibles implementaciones y certificaciones de normas internacionales tales como la ISO 9001, 14001, OHSAS; así ofrecer un producto con calidad de certificación internacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcalá Cruz, Edgar B.; y otros; Manual de entrenamiento en concentración de minerales; Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas SERGEOTECMIN.
2. Alvarez Cortes, Alberto; Gallardo Alcayata, Belisario; Módulo: Gestión económica de PYMES mineras; Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena, año 2006.
3. Andreas Style Horizontal Shaft Impactor Model 5260 Spec Sheet, Kolberg-Pioneer, Inc.
4. Belt Conveyor Idlers Catalog, Stephens-Adamson; 2001.
5. De la Garza, Rafael Arana; de Alba Guerra, Gerardo; Folleto "Análisis del Proceso".
6. Garcia Criollo, Roberto; Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo; McGraw-Hil, segunda edición.
7. Gil, Guillermo Blanco; Impacto ambiental: EL RUIDO en una explotación minera de áridos; Cátedra ANEFA ETS de Ingenieros de Minas de Madrid; 7 de abril de 2005.
8. Herrera Herbert, Juan; Elementos de minería; Universidad politécnica de Madrid; Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas; edición actualizada 2007.
9. Herrera Herbert, Juan; Métodos de minería a cielo abierto; Universidad politécnica de Madrid; Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas; edición actualizada 2007.

10. Model 5260 Horizontal Shaft Impactor Operation & Maintenance manual, Kolberg-Pioneer, Inc.

11. Model 5260 Horizontal Shaft Impactor Replacement Parts manual, Kolberg-Pioneer, Inc.

12. Operation & Maintenance Lubrication and Fluid Recommendations, Kolberg-Pioneer, Inc.

13. Quezada, Jaime Tapia; Preparación Mecánica de Minerales; Universidad Arturo Prat Iquique – Chile.

14. Tavares Lourival; La administración moderna del mantenimiento; edición electrónica 2000.

15. Wills Barry A, Napier-Munn Tim; Mineral Processing Technology, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral; Elsevier Science & Technology Books, October 2006.

16. Woodard, Mr. Kenneth; Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias; EC/R Incorporated Timberlyne Center; Octubre 2008.

17. Referencia electrónica:

Instituto de Otorrinolaringología www.iorl.com.ar/ruidos.htm

Estudios mineros del Perú www.estudiosmineros.com

Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Gantt

<http://es.wikipedia.org/wiki/PERT> (2/5/2009)

APÉNDICE

Tabla XIX: Análisis granulométrico eliminando material fino de entrada

mm	nominal	% ret. Acumulado	% pasa Acumulado
300	12	0	100
275	11	0	100
250	10	3	97
225	9	5	95
200	8	8	92
175	7	11	89
150	6	34.2	65.77
125	5	47.1	52.91
100	4	54.4	45.63
75	3	72.6	27.39
50	2	100.0	0.00
37.5	1 1/2	100.0	0.00
25	1	100.0	0.00
19	3/4	100.0	0.00
12.5	1/2	100.0	0.00
9.5	3/8	100.0	0.00
4.75	4	100.0	0.00
2.36	8	100.0	0.00
1.18	16	100.0	0.00
0.6	30	100.0	0.00
0.3	50	100.0	0.00
0.15	100	100.0	0.00
0.075	200	100.0	0.00

Figura 64 Propuesta de hoja de control para operarios

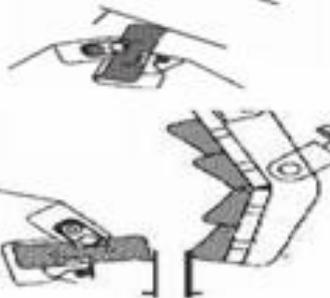
Inspecciones Críticas Diarias para el Impactor KPI 5260-4

Fecha: _____



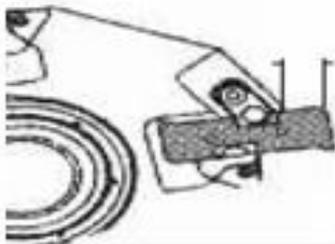
Medición de barras impactoras contra coraza superior

Distancia: _____ Pulgadas



Medición de barras impactoras contra coraza inferior

Distancia: _____ Pulgadas

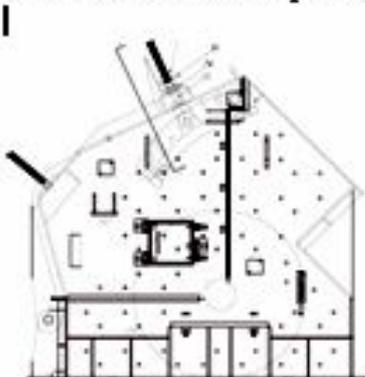


Medición de ancho de barras impactoras

Barra	Lado cabina	Lado Barrac
1	Pulgadas	Pulgadas
2	Pulgadas	Pulgadas
3	Pulgadas	Pulgadas

Nota: el ancho de las barras impactoras **no debe de bajar de 3/4 de pulgada**. Si es menor o esta próximo, informe de inmediato al supervisor.

Observaciones de Aspecto general



Trituradora sin material antes de arrancar Si No

Tomillos sueltos: _____

Fugas de aceite: _____

Caminamientos: _____

Chifles: _____

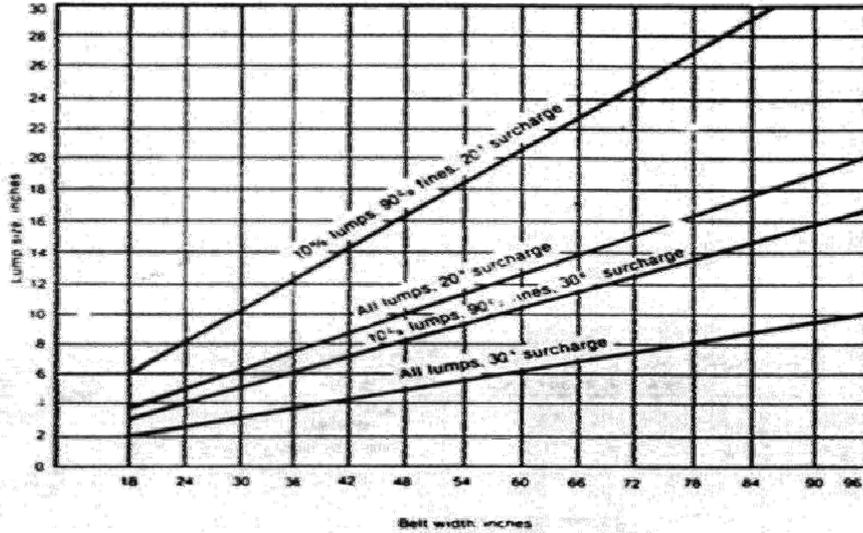
ANEXOS

Tabla XX Datos del análisis granulométrico material de entrada

mm	nominal	% ret. Acumulado	% pasa Acumulado
300	12	0	100
275	11	0	100
250	10	3	97
225	9	5	95
200	8	8	92
175	7	11	89
150	6	13.9	86.11
125	5	19.1	80.90
100	4	22.1	77.95
75	3	29.5	70.55
50	2	40.6	59.44
37.5	1 1/2	46.9	53.09
25	1	53.4	46.60
19	3/4	53.4	46.60
12.5	1/2	53.4	46.60
9.5	3/8	53.4	46.60
4.75	4	53.4	46.60
2.36	8	53.4	46.60
1.18	16	53.4	46.60
0.6	30	53.4	46.60
0.3	50	53.4	46.60
0.15	100	53.4	46.60
0.075	200	53.4	46.60

Tabla XXI Selección de ancho de la faja

TABLE 7 BELT WIDTH DETERMINATION — Based on Lump Size



Fuente: Stephens-Adamson; Belt Conveyor Idlers Catalog

Tabla XXII Velocidades máximas recomendadas

TABLE 8 RECOMMENDED MAXIMUM BELT SPEED — fpm

Material being conveyed	Belt speeds (fpm)	Belt width (inches)
Grain or other free-flowing, nonabrasive material	500	18
	700	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
Coal, damp clay, soft ores, overburden and earth, fine crushed stone	400	18
	600	24-36
	800	42-60
	1000	72-96
Heavy, hard, sharp-edged ore, coarse-crushed stone	350	18
	500	24-36
	600	Over 36
Foundry sand, prepared or damp; shakeout sand with small cores, with or without small castings (not hot enough to harm belting)	350	Any width
Prepared foundry sand and similar damp (or dry abrasive) materials discharged from belt by rubber-edged plows	200	Any width
Nonabrasive materials discharged from belt by means of plows	200, except for wood pulp, where 300 to 400 is preferable	Any width
Feeder belts, flat or troughed, for feeding fine, nonabrasive, or mildly abrasive materials from hoppers and bins	50 to 100	Any width

Fuente: Stephens-Adamson; Belt Conveyor Idlers Catalog

Tabla XXIII Capacidad de banda plana

TABLE 5. FLAT BELT CAPACITY

Belt Width (inches)	Capacity at 1000 FPM (Tons/Hr)					
	Incline Angle					
	5°	10°	15°	20°	25°	30°
18	122	248	371	498	628	763
20	155	311	465	630	795	966
24	232	465	702	942	1189	1444
30	378	754	1137	1527	1927	2340
36	544	1112	1677	2250	2843	3451
42	768	1540	2327	3119	3936	4778
48	1015	2037	3072	4126	5206	6320
54	1298	2604	3926	5273	6654	8077
60	1815	3240	4885	6560	8278	10050
72	2353	4720	7116	9558	12080	14840
84	3229	6478	9767	13117	16550	20091
96	4243	8514	12835	17238	21750	26404

Fuente: Stephens-Adamson; Belt Conveyor Idlers Catalog

Tabla XXIV Consumo de energía para diferentes operaciones en una planta de trituración

- Energía mecánica perdida por fricción en muñones y descansos	4.3 %
- Energía mecánica perdida en el sistema de accionamiento	8.0 %
- Energía térmica transportada por el producto	47.6 %
- Energía térmica perdida por radiación	6.4 %
- Energía térmica transportada por el aire	31.0 %
- Energía consumida en la conminución	0.6 %
- Energía consumida en desgate y calentamiento de los cuerpos de molienda, ruido, evaporación y vibración.	2.1 %

Fuente: Manual de entrenamiento en concentración de minerales

