

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA  
PLANTA DE TRITURADO DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.**

**JAVIER EDUARDO MANTILLA BUITRAGO**

**MIGUEL ÁNGEL FAJARDO GUALDRON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2017**

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA  
PLANTA DE TRITURADO DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S**

**JAVIER EDUARDO MANTILLA BUITRAGO**

**MIGUEL ÁNGEL FAJARDO GUALDRON**

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2017**

*Gracias a Dios por darme la sabiduría y la fuerza para  
lograr mis objetivos.*

*A mis padres, Luis Mantilla y Nelly Buitrago por darme el  
apoyo incondicional.*

*A mis hermanos Alex y José Mantilla por el ánimo y ganas  
que me impulsaron durante toda mi carrera.*

*A Leidy Mora y Héctor Mantilla por la motivación y apoyo  
en cada momento.*

*A mis amigos que estuvieron ahí para alegrar el día y  
facilitar las cosas.*

*Javier Eduardo Mantilla Buitrago*

***Doy gracias a Dios por ponerme de pie para salir a  
caminar cada día.***

***A mis padres Flor María Gualdron y Jesús  
Fajardo por el apoyo durante mi formación  
académica.***

***A mi hermano John Freddy por el ánimo en cada  
momento difícil de mi vida.***

***A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron  
animándome y entendiéndome.***

***Gracias a todos.***

***Miguel Ángel Fajardo Gualdron***

## Agradecimientos

Al ingeniero Pedro José Díaz director del proyecto por el acompañamiento y respaldo en este proyecto de grado.

A Yeny Barragán, Merly Picón y Wendy Arenas por el apoyo y colaboración prestada dentro de la empresa.

A la señora Hirma Velandia gerente de la empresa por brindarnos la colaboración necesaria para realizar este proyecto.

Al señor Carlos Figueroa por facilitarnos el contacto con la empresa.

Al ingeniero Marlon Morales por el acompañamiento en el desarrollo del sistema de información.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	17
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S. .	18
1.1 MISIÓN.....	18
1.2 VISIÓN .....	19
1.3 POLÍTICAS DE CALIDAD .....	19
1.4 UBICACIÓN .....	19
1.5 PRODUCTOS Y SERVICIOS.....	20
1.6 POLÍTICAS DE SEGURIDAD .....	20
1.7 ORGANIGRAMA .....	21
1.8 PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	21
1.8.1 Crudo.....	21
1.8.2 Bolo .....	22
1.8.3 Arena Fina.....	22
1.8.4 Arena Gruesa y Pareja.....	22
1.8.5 Triturado 3/4, 1/2, 3/8 .....	23
1.8.6 Base y Sub-Base.....	23
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
2.1 OBJETIVOS .....	26
2.1.1 Objetivo General .....	26
2.1.2 Objetivos Específicos .....	26
2.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	26
3. MARCO TEORICO.....	28
3.1 ¿QUE ES EL MANTENIMIENTO? .....	28
3.2 CLASES DE MANTENIMIENTO .....	28
3.2.1 Mantenimiento Correctivo.....	29
3.2.2 Mantenimiento Preventivo .....	30

3.2.3	Mantenimiento Predictivo .....	31
3.3	EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S. ....	32
3.3.1	Trituradora de Cono .....	32
3.3.2	Trituradora de Mandíbula .....	33
3.3.3	Trituradora de Impacto .....	34
3.4	SISTEMA DE INFORMACIÓN .....	36
4.	AUDITORIA DE LA GESTION DE MANTENIMINETO ACTUAL PARA LA COMPAÑÍA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S .....	38
4.1	RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA.....	39
5.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS .....	42
6.	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS NO CRITICOS .....	47
6.1	CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS CRITICOS Y NO CRITICOS .....	47
6.1.1	Metodología de Codificación .....	47
6.2	FICHAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS.....	50
6.3	RUTINAS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS NO CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.....	52
7.	RCM APLICADO A LOS QUIPOS CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S. ....	54
7.1	MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD .....	54
7.2	ENFOQUE DEL RCM.....	54
7.3	METODOLOGÍA RCM.....	56
7.3.1	Funciones de desempeño .....	56
7.3.2	Fallas funcionales.....	57
7.3.3	Modos de falla .....	57
7.3.4	Efectos de falla.....	58
7.3.5	Consecuencias de falla .....	58
7.4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LAS TRITURADORAS .....	59

7.5	DETERMINACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE LOS EQUIPO CRITICOS DE LA PLANTA .....	63
7.5.1	Trituradora Tipo Cono .....	63
7.5.2	Trituradora de Mandíbula .....	66
7.5.3	Trituradora de Martillo .....	67
7.6	IMPLEMENTACIÓN DEL RCM PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S. ....	68
7.6.1	Tareas proactivas e intervalos de tareas.....	82
7.6.2	Diagrama de Decisión .....	82
7.7	RESULTADOS DE LA METODOLOGIA RCM.....	89
8.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	91
8.1	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	91
8.2	TAZA INTERÉS-RETORNO.....	92
9.	CONCLUSIONES.....	95
	BIBLIOGRAFIA .....	97
	VER ANEXOS EN LA CARPETA ADJUNTA AL CD.....	Ir a CD ROOM

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Logo Arenera Chicamocha S.A.S. ....	18
Figura 2 Organigrama de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S.....	21
Figura 3 Arena fina .....	22
Figura 4 Trituradora de cono .....	25
Figura 5 Trituradora de martillo.....	25
Figura 6 Trituradora de cono .....	33
Figura 7 Trituradora de Mandíbula.....	34
Figura 8 Trituradora de Impacto por martillos .....	36
Figura 9 Resultado de Auditoria.....	40
Figura 10 Estructura de codificación.....	47
Figura 11 Ejemplo de formato de la ficha técnica .....	51
Figura 12 Modelo de rutina de mantenimiento.....	53
Figura 13 Malla de precaución trituradora de martillos .....	60
Figura 14 Zarando vibratorio con aspersores .....	60
Figura 15 Proceso de trituración máquina de martillos .....	61
Figura 16 Malla de precaución para trituradora primaria .....	62
Figura 17 Proceso de la noria.....	62
Figura 18 Sistemas de la trituradora tipo cono .....	63
Figura 19 Sistemas de la trituradora de mandíbula .....	66
Figura 20 Sistemas de la trituradora de martillos.....	67
Figura 21 Grafica de gastos VS años .....	94

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Resultados de la auditoria.....	39
Tabla 2 Valores de criterios para el análisis de criticidad .....	44
Tabla 3 Resultado del análisis de criticidad .....	45
Tabla 4 Codificación por tipo de equipo .....	48
Tabla 5 Codificación por marca .....	48
Tabla 6 Codificación de activos Arenera Chicamocha S.A.S.....	49
Tabla 7 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de cono .....	69
Tabla 8 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de mandíbula .....	76
Tabla 9 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de martillos.....	78
Tabla 10 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de cono .....	83
Tabla 11 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de mandíbula	86
Tabla 12 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de martillos....	87
Tabla 13 Costos de puesta a punto .....	91
Tabla 14 Periodos con flujos de caja e inversión .....	93

## LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A Carta de aceptación por la empresa Arenera Chicamocha S.A.S.....	99
ANEXO B Tabulación para el análisis de criticidad .....	100
ANEXO C Fichas técnicas de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S.....	103
ANEXO D Rutinas de mantenimiento.....	126
ANEXO E Manual del usuario software de mantenimiento.....	133
ANEXO F Auditoria para la empresa Arenera Chicamocha S.A.S.....	140

## RESUMEN

**TÍTULO:** ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA PLANTA DE TRITURADO DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S<sup>1</sup>

**AUTORES:**

Javier Eduardo Mantilla Buitrago

Miguel Ángel Fajardo Gualdron<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:**

Mantenimiento basado en confiabilidad, Software de mantenimiento.

### DESCRIPCIÓN

En este trabajo de grado se elabora un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) a la maquinaria crítica de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S. con el objetivo de disminuir costos de mantenimientos innecesarios y aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la empresa para procesar y producir sus productos.

Se realizó una auditoria para determinar el estado actual del mantenimiento de los activos de la empresa, luego se identificaron cada uno de ellos generando un inventario para poder codificarlos y reconocerlos dentro de la misma, posteriormente se elaboró un análisis de criticidad y se diagnosticó la necesidad de implementar un plan de mantenimiento preventivo a toda la maquinaria siendo crítica y no crítica. La implementación de un mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la maquinaria crítica de la empresa, que fue determinada a raíz de un análisis de criticidad causa y efecto. A la maquinaria crítica se le determino su mantenimiento por un diagrama de decisión de RCM, para el resto de equipos fue determinado por recomendación del fabricante y por experiencia de los operarios.

Posteriormente se implementó un sistema de información que administra los planes de mantenimiento y controla su realización para así contribuir con el mejoramiento de la empresa Arenera Chicamicha S.A.S.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander

## SUMMARY

**LITTLE:** ELABORATION OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE TRITURATION PLANT OF THE ARENERA CHICAMOCHA S.A.S COMPANY <sup>3</sup>

**AUTHOR:**

Javier Eduardo Mantilla Buitrago

Miguel Ángel Fajardo Gualdron<sup>4</sup>

**KEY WORDS:**

Maintenance plan based in confiability, Maintenance software.

**DESCRIPTION:**

In this degree work a maintenance plan is developed based in reliability (RCM) to the critical machinery of Arenera Chicamocha's S.A.S. company with the objective of reduce unnecessary maintenance costs and raise reliability and availability of the company's equipments to process and produce its products.

An audit was conducted to establish the maintenance's current state of the company's assets, every asset was identified, codified and recognised; subsequently a diagnosis was made and as a result, cause-effect critical analysis lead to a preventive plan for all machinery. Through a decision diagram the maintenance of the critical machinery was set, the maintenance of the other equipments was established by manufacturer's recommendation and operators experience.

Finally a system that manages maintenance plans and controls its enforcement was implemented to contribute to the improvement of Arenera Chicamocha's S.A.S company.

---

<sup>3</sup> Trabajo de Grado

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander

## INTRODUCCIÓN

La infraestructura en Colombia ha tenido un progreso notable gracias a los megaproyectos que se han ejecutado en los últimos años, estas obras civiles son el resultado de un gran desarrollo regional y para que se puedan llevar a cabo se debe contar con los materiales necesarios que lo permitan, es por ello que las empresas que suministran estos productos deben tener un alto rendimiento en sus plantas y de esta forma cumplir con la demanda de sus clientes, además de esto, deben optimizar sus procesos para que no solo sean eficaces, si no también eficientes.

La empresa Arenera Chicamocha S.A.S. es una empresa de asociados que dentro de sus servicios cuenta con el suministro de materiales derivados de río, para lo cual cuenta con máquinas para el procesamiento de dicho material, maquinaria amarilla y vehículos de transporte para entregar a sus clientes en el lugar que deseen.

Dentro de los activos de la empresa el tipo de maquinaria que presenta mayor desgaste es la planta de producción, que consta de 3 diferentes máquinas de triturado y estas a su vez con sub-sistemas como norias o primarias. Por ser la que presta servicios más agresivos, sus paradas no deseadas pueden afectar el buen servicio que presta la empresa a sus clientes. Para contribuir con el crecimiento de la empresa se ve la necesidad de implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM) para la planta de triturado de la empresa, con el fin de garantizar el confiable funcionamiento de la planta, aumentando la vida útil de los equipos y disminuyendo costos en mantenimientos innecesarios.

## 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.

Arenera Chicamocha S.A.S fue fundada el 26 de septiembre del 2007 por un grupo de asociados, en los que se destacan los nombres de Alberto Figueroa, Carlos Figueroa, Jesús Rey y Wilmer Figueroa. Por decisión unánime de los asociados, se acordó que el gerente de la compañía en ese entonces sería el señor Calor Figueroa, que llevaría las riendas de la empresa hasta el año 2013, siendo remplazado por su socio Jesús Rey el cual llevaría la gerencia de la compañía hasta principios del 2017 siendo remplazado por la actual gerente, Irma Velandia.

*Figura 1 Logo Arenera Chicamocha S.A.S.*



Fuente: Arenera Chicamocha S.A.S.

### 1.1 MISIÓN

La empresa “Arenera Chicamocha” ha sido creada por santandereanos honestos, emprendedores, con un personal idóneo y dotado de la infraestructura adecuada para producir todo tipo de agregados y afines utilizados para la industria de la construcción con el fin de satisfacer las necesidades de nuestros clientes con materiales de excelente calidad, cumplimiento con los estándares nacionales e internacionales de explotación y con un alto nivel de compromiso con el medio ambiente.

## 1.2 VISIÓN

Liderar la comercialización de los productos de construcción, a través del mejoramiento continuo en todas las áreas, establecimientos a nivel regional y nacional, como la empresa reconocida por sus máximos estándares de calidad tanto en los productos como en el servicio y cumplimiento de nuestros clientes.

## 1.3 POLÍTICAS DE CALIDAD

Dentro de la empresa se manejan estándares de calidad con respecto a los productos y servicios, enfocados siempre en satisfacer los requerimientos del cliente, dentro de sus políticas de calidad se encuentran las siguientes:

- Persona encargada de la supervisión del producto.
- Aseguramiento de la calidad del producto.
- Seguimiento a cada producto despachado por la planta.
- Entrega a tiempo del producto.
- Personal Técnico y profesional competente.
- Asistencia de transporte al cliente.

## 1.4 UBICACIÓN

Las oficinas de la compañía se encuentran ubicadas en la Carrera 14 #4<sup>a</sup>-39, barrio Las Delicias en el municipio de Piedecuesta, departamento de Santander. La planta se encuentra ubicada en la vereda Pescadero, finca El Tamarindo en el municipio de Piedecuesta. Esta ubicación es estratégica para el proceso de producción pues las maquinas procesadoras se encuentran a la orilla del rio de donde se extrae el crudo para su posterior tratamiento.

## 1.5 PRODUCTOS Y SERVICIOS

Arenera Chicamocha S.A.S se ha caracterizado por la gran variedad de productos que ofrece a sus clientes, entregándolos siempre con la mejor calidad gracias a la inspección y monitoreo visual que se hace a cada uno de ellos. Entre estos productos se encuentran:

Tres tipos de arena (fina, gruesa, pareja).

Tres tipos de triturado (3/4,1/2,3/8)

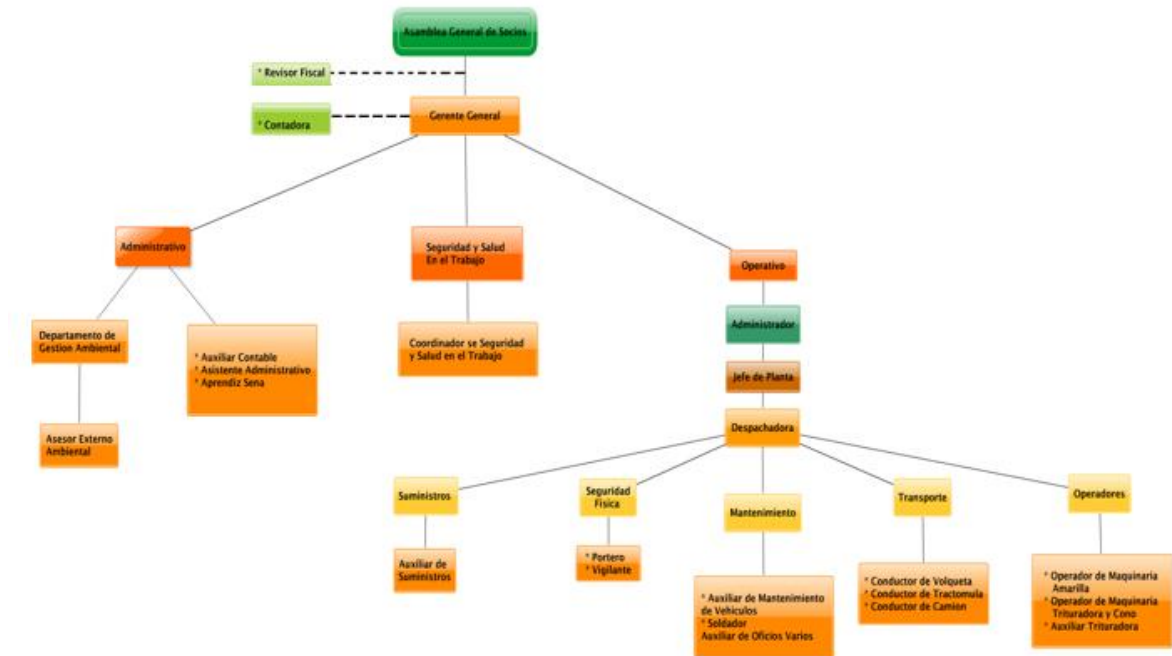
Adicionalmente a estos productos, la compañía ofrece Base, Sub-base, Bolo, revuelto-fino y crudo.

## 1.6 POLÍTICAS DE SEGURIDAD

Respecto a la integridad de los empleados, la empresa Arenera Chicamocha S.A.S tiene varias brigadas de seguridad, entre ellas se pueden destacar la de seguridad y salud en el trabajo, brigada ambiental, brigada de alcohol y drogas, seguridad vial y acoso laboral.

## 1.7 ORGANIGRAMA

Figura 2 Organigrama de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S.



Fuente: Arenera Chicamocha S.A.S.

## 1.8 PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso de producción para cada uno de los productos tiene su inicio en el mismo punto, su diferencia radica en el tamaño de grano, es por esto que se mencionara el proceso de uno de los correlacionados con el producto y su tratamiento dentro de la planta.

### 1.8.1 Crudo

Este material no tiene ningún proceso, es por esta razón que recibe el nombre de crudo, es un material que es extraído por las excavadoras y cargado a las volquetas quienes apilan este material o lo llevan a sus debidos procesos.

### 1.8.2 Bolo

Este material es el resultado de un lavado que se le hace al crudo en un zarando y pasado por una serie de mallas quienes dejan pasar piedras con diámetros de 1 ½, 2 y 3 pulgadas, se caracteriza este tipo de piedra porque no ha sido fracturada por ninguna máquina. El restante de este proceso de lavado que no pasa por ninguna de las mallas es el material que se transporta a las trituradoras.

### 1.8.3 Arena Fina

Este tipo de arena es la que menos mano de obra y maquina necesita para su explotación pero es también el material más escaso que se encuentra dentro de los productos de rio, esta arena es la que se recoge de la orilla del rio después de haber tenido una creciente debido a las fuertes lluvias en la parte alta de la montaña o aguas arriba, se le conoce como arena de playa de rio. Su extracción es directa ya que la excavadora solo recoge este material y lo carga directamente a la volqueta que la transporta a su cliente o al montículo de almacenamiento.

*Figura 3 Arena fina*



### 1.8.4 Arena Gruesa y Pareja

Para la producción de este tipo de arena se necesita de unas estructuras metálicas que funcionan como lavadero y tamizado, en la parte alta de estas zarandas se ubica la volqueta que contiene el material crudo, es decir que contiene el material directamente del rio, allí un operario se encarga de lavar este materia con un chorro

de agua y dejando que baje por la rampa del zarando separando la arena de la piedra de diferente tamaño, la piedra que no pasa por este mallado es la piedra que se recoge y lleva a las trituradoras ya sea de mandíbula, martillos o conos.

#### 1.8.5 Triturado 3/4, 1/2, 3/8

El proceso que contiene la mayor atención es el de la piedra triturada, es un proceso que posee altos niveles de esfuerzos en los equipos que la procesan. El material crudo es transportado por volquetas desde el río hasta la tolva de alimentación de la trituradora, allí se va evacuando por una cinta transportadora que pasa primero por unos aspersores que lavan previamente el material con el fin de obtener la arena pareja y gruesa, este proceso puede ser como anteriormente se mencionó por un zarando o por la misma máquina, luego es ingresado a la trituradora que por medio de martillos, conos o mandíbulas fractura el crudo que es despachado por unas mallas quienes filtran los tamaños en 3/4, 1/2 y 3/8, el material que no pasa por este primer filtro es retroalimentada a la trituración con el fin de volver a partir en pedazos más pequeños y permitir que pasen por el mallado.

#### 1.8.6 Base y Sub-Base

La fabricación del material base que es usualmente usado para carreteras se compone de varios materiales entre los que se encuentran el crudo, bolo de 1 ½" de diámetro y el lodo, como ya se había mencionado anteriormente el crudo es el material proveniente directamente del río, el bolo hace referencia a la piedra que no ha sido fracturada por ninguna máquina y posee dimensiones ya mencionadas y el lodo es el material que se extrae de los pozos de sedimentación o residuos de lavado del material, este lodo debe ser recogido y secado con aspecto de polvo para poder hacer parte de la composición de la base, todos estos materiales son revueltos en montículos y posteriormente quedan listos para su comercialización.

Para la fabricación de la Sub-Base se mantienen los ingredientes pero varía el tamaño del bolo que pasa a ser de 2 a 3 pulgadas.

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa “Arenera Chicamocha S.A.S.” es una empresa encargada de la producción y comercialización de productos como el triturado y arena, fue fundada en el año 2007 por un grupo de asociados, está ubicada en el sector de pescadero a 30 Km de la salida de Piedecuesta sobre el río Manco y Chicamocha. Esta empresa se encarga de procesar la piedra sacada de río, hasta convertirla en los diferentes tipos de triturados que se manejan, además de esto, en el proceso de lavado de piedra se encuentra otro producto de gran valor para la compañía, la arena. Se estima que la compañía diariamente entrega alrededor de 600  $m^3$  de triturado en sus diferentes tamaños y unos 300  $m^3$  de arena entre fina y pareja.

Para poder procesar esta gran cantidad de material, la compañía cuenta con un equipo de maquinaria amarilla, encargada de sacar la piedra del río y llevarla hasta la flota de volquetas, una vez cargadas las volquetas, estas llevan el material hasta las máquinas trituradoras que con una serie de mecanismos parten la piedra y la clasifican de acuerdo al tamaño que se necesite. Ya realizado este proceso, la piedra clasificada es recogida nuevamente por la maquinaria amarilla y llevada a los montículos de los cuales se sacan los pedidos hechos diariamente a la compañía.

Como es de esperarse, el proceso de trituración de piedra exige enormemente cada uno de los sistemas que componen esta máquina, además de tener un medio bastante nocivo ya que están expuestas al ambiente en una zona donde es común las fuertes temperaturas de día y bajas temperaturas de noche. El sistema de triturado comúnmente se encuentra con el problema de piedras demasiado grandes que no fueron detectadas con anterioridad, lo cual origina esfuerzos extras para poderla procesar y no parar la producción. La bodega con la que cuenta la compañía no lleva un inventario claro para poder ver con qué repuestos se cuenta, además de no tener una base de datos clara respecto a los mantenimientos realizados a cada equipo.

Figura 4 Trituradora de cono



Figura 5 Trituradora de martillo



## 2.1 OBJETIVOS

### 2.1.1 Objetivo General

Contribuir con la misión de la universidad industrial de Santander y la escuela de ingeniería mecánica aportando al desarrollo social, científico y tecnológico y dar respuesta a la necesidad de la empresa con un mantenimiento preventivo basado en RCM para las trituradoras de la planta, así aumentando su disponibilidad y operatividad de dichos equipos.

### 2.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una auditoría al sistema actual de mantenimiento, con la finalidad de determinar los puntos de actuación del sistema.
- Determinar los equipos más críticos que permitan realizar un listado de actividades y rutinas diarias de actuación
- Aplicar la metodología de análisis de modos y efectos de fallas con el fin de actualizar el plan de mantenimiento actual.
- Actualizar un plan de mantenimiento preventivo RCM.

## 2.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En un mundo tan cambiante, la compañía que no se adapte a las nuevas tecnologías está cayendo en un grave error. Desde hace un par de décadas las principales empresas del mundo están manejando el mantenimiento preventivo y predictivo como sus grandes bazas para aumentar la producción y a su vez se reduzcan los gastos de mantenimiento en su maquinaria.

Teniendo una idea clara del funcionamiento de la compañía, como transforman la materia prima en un producto para ser comercializado y viendo la cadena de producción, está claro que el sector más crítico son las trituradoras de piedra, ya que la compañía posee un plan de mantenimiento periódico a las volquetas y maquinaria amarilla, mientras las trituradoras solo tienen un mantenimiento netamente correctivo, sin inventario ni planeación.

Como se mencionó anteriormente, es de vital importancia crear un inventario concreto en donde se muestren cada uno de los repuestos disponibles, además de esto saber cuándo se está agotando un repuesto o cuando no hay que pedir más. Adicional a esto, la empresa requiere de un software que permita el almacenamiento de las actividades de mantenimiento que se deben realizar, cuales piezas se deben cambiar y cuales funcionan de manera adecuada.

Por todas estas razones, es viable la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, en donde este contenga la creación de un inventario concreto, un estudio detallado a la maquinaria para encontrar los sistemas críticos y un software que le permita estar al tanto de todos los problemas de la maquinaria antes de que la falla ocurra y se detenga la producción, aumentando el tiempo muerto de producción y el incumplimiento en las entregas.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 ¿QUE ES EL MANTENIMIENTO?

El mantenimiento es el conjunto de acciones que tiene como objetivo asegurar la operatividad de un equipo previniendo o corrigiendo fallas, buscando que sigan trabajando a las condiciones para la que fue diseñado por el mayor tiempo posible.

“El término de mantenimiento ostenta varias referencias, entre ellas: comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones que resultan de vital importancia para mantener o reparar una unidad funcional de manera que esta pueda cumplir sus funciones pertinentes. Aquellas acciones como inspección, comprobación, clasificación o reparación sirven para mantener materiales en una condición adecuada o los procesos para lograr esta condición, las acciones de provisión y reparación son necesarias para que un elemento continúe cumpliendo el cometido para el cual está destinado o fue creado.”<sup>5</sup>

El mantener controlado un equipo aumenta su confiabilidad y efectividad reduciendo las paradas no deseadas y disminuyendo los costos de mantenimiento cuando este es netamente correctivo.

#### 3.2 CLASES DE MANTENIMIENTO

Dentro del mantenimiento de un equipo se encuentran varios tipos, está el mantenimiento conservativo o preventivo, este se realiza antes de que alguna falla ocurra, otro es el mantenimiento correctivo, que se aplica cuando ya se encuentra la falla y por último está el mantenimiento predictivo que es el encargado de predecir

---

<sup>5</sup> DEFINICIÓN ABC. Mantenimiento [Online]. Disponible <http://www.definicionabc.com/general/mantenimiento.php> [Citado 27 de Septiembre de 2016]

cuándo puede ocurrir la posible falla, en otras palabras este tipo de mantenimiento sería un caso particular del mantenimiento preventivo.

### 3.2.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el mantenimiento más primitivo o básico que se lleva a cabo en un equipo, este tipo de mantenimiento es el más común en las pequeñas y medianas empresas por su forma de operar, pues es la maquina la que impone la parada para su mantenimiento, esto se sabe cuándo ya no está operando eficientemente o en su defecto por la detención total. Su objetivo principal es restaurar el funcionamiento del equipo en el menor tiempo posible para reducir al máximo los costos, dentro de su aplicación se encuentran varios problemas, entre ellos:

- Tiempos muertos por fallas repentinas.
- Una falla pequeña que no se prevenga puede con el tiempo hace fallar otras partes del mismo equipo, generando un daño mayor.
- Es muy usual que el repuesto requerido en un mantenimiento correctivo no se encuentre disponible en la bodega, esto debido a los altos costos en que se incurre al pretender tener una disponibilidad de todas las partes que pueden fallar.
- Si la falla converge con una situación en la que no se pueda detener la producción, se incurre en un trabajo en condiciones inseguras.
- La afectación de la calidad es evidente debido al desgaste progresivo de los equipos.<sup>6</sup>

Ventajas:

- Para equipos no críticos, se opera durante toda su vida útil y evita reparaciones innecesarias.
- No requiere de personal calificado para su ejecución.

---

<sup>6</sup> INGENIERIAINDUSTRIALONLINE. Mantenimiento industrial [online] Disponible <<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>> [Citado 28 de Septiembre de 2016]

Desventajas:

- Es muy probable que ocurra una falla en el momento de la ejecución de las tareas.
- Los costos por reparación pueden ser muy costosos
- No se puede determinar el tiempo de reparación de dichas fallas.

### 3.2.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es el tipo de mantenimiento que está enfocado en la conservación de los equipos o instalaciones mediante revisiones y reparaciones periódicas con el fin de garantizar su buen funcionamiento. Su objetivo principal es evitar la presencia de fallas en los equipos y su plan consiste en tener un cronograma de actividades a realizar para anticiparse a las anomalías. Para poder usufructuar el mantenimiento preventivo es importante seguir rigurosamente las actividades estipuladas en el plan. Algunas ventajas y desventajas son:

Ventajas

- Disminución de tiempo muerto
- Mayor duración de los equipos e instalaciones
- Aumento de la confiabilidad de los activos
- Menor costo de reparación
- Uniformidad en la carga laboral del personal de mantenimiento

Desventajas:

- Requiere de personal calificado para su ejecución
- No permite determinar con exactitud el desgaste de las piezas.

### 3.2.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es el tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el comportamiento de una pieza o máquina, su objetivo principal es medir o monitorear parámetros para determinar una futura falla. Utilizando este método de mantenimiento se maximiza la vida útil de las piezas y se reparan las piezas en el momento preciso antes de que le ocurra alguna falla. Otro factor importante al tener en cuenta en este mantenimiento es el alto costo de inversión al momento de adquirir los equipos pertinentes para poder realizar las diferentes pruebas y poder determinar el comportamiento de la pieza, es por esta razón que se recomienda aplicar este tipo de mantenimiento a maquinaria muy costosa o que sean de procesos vitales para la empresa. Los métodos más comunes que se practican son:

- Análisis de espesores: Se realizan mediante ultrasonido
- Análisis de Lubricantes.
- Análisis de Vibraciones: Para este aspecto se miden aceleraciones, velocidades y amplitud.
- Análisis de Temperatura: Se hace por medio de la termografía.

Ventajas:

- Dan más continuidad en la operación.
- Más confiabilidad de los equipos.
- Los repuestos pueden ser usados por más tiempo sin necesidad de que fallen.

Desventajas:

- Siempre que hay un daño se requiere una programación.
- Requiere equipos especiales y costosos.
- Requiere de personal altamente calificado.
- Es costosa su implementación,

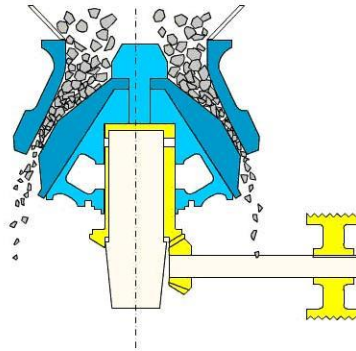
### 3.3 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.

Para el desarrollo del proyecto, la empresa cuenta con una serie de máquinas de triturado que se describen a continuación:

#### 3.3.1 Trituradora de Cono

La trituradora de cono es un tipo de máquina que posee una amplia gama de uso y es el tipo de trituradora que más se protege estructuralmente por sobre cargas. Esto es debido al sistema de muelles que levantan el cabezal permitiendo que se desaloje el área de triturado evitando que falle por un material no deseado y que supere la dureza a la que está diseñada. Este tipo de trituradoras puede ser operada como primaria o secundaria, en el caso de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S. se opera en la fase final del proceso, pues la salida de una trituradora de mandíbula es el ingreso de la trituradora de cono. La dureza del material que puede llegar a procesar esta trituradora esta entre media y alta, el tamaño del producto resultante puede ser variado modificando los espacios de apertura del cono con la carcasa, esta máquina tritura el materia cuando se abre y cierra la brecha, efecto que lo hace un excéntrico en la parte inferior del husillo. Ver figura 8

Figura 6 Trituradora de cono



Fuente: UNIQUE <<http://www.stonecrushercn.com/es/cone-crusher-works.html#.WPDwOvkX3IU>>

### 3.3.2 Trituradora de Mandíbula

A la trituradora de mandíbula también se le conoce con el nombre de trituradora de quijada. Es una máquina utilizada en la trituración llamada de primer nivel. La trituración de primer nivel es una trituración gruesa y media y las partículas trituradas que se obtienen no son tan finas como resultarían de otro proceso de trituración.

El campo que más utiliza las trituradoras de mandíbulas es el de la producción mineral e industrial. Estos procesos requieren de una trituración media o gruesa y se aplica a materiales de hasta 320 Mpa de compresión.

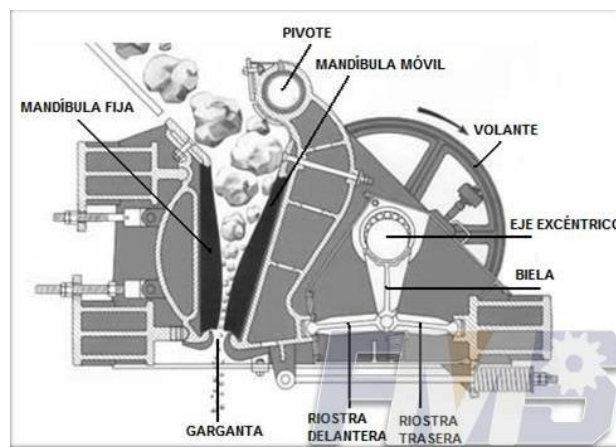
Por sus diferentes formas de triturar, la trituradora de mandíbula se puede clasificar en cualquiera de los siguientes modelos de oscilación:

- Oscilación sencilla
- Oscilación media
- Oscilación compleja

La trituradora de mandíbula recibe su nombre por el movimiento que realiza su placa de trituración, similar a una mandíbula al masticar.

El motor de la trituradora produce un movimiento oscilatorio en la placa de trituración, la cual está colocada de manera diagonal. La materia prima es introducida por la parte superior de la trituradora, que tiene una cavidad amplia que se va reduciendo a medida que el mineral entra en la máquina. El movimiento oscilatorio y la presión que la placa de trituración ejerce sobre los minerales al hacerlos chocar contra la pared interna de la trituradora es lo que provoca que las piedras se fragmenten y se complete la trituración.<sup>7</sup> Ver figura 9.

*Figura 7 Trituradora de Mandíbula*



Fuente: Formats Construction Machinery Co.,Ltd. <<http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Trituradoras-de-mand%C3%ADbulas-doble-efecto.html>>

### 3.3.3 Trituradora de Impacto

Las trituradoras de impacto aprovechan la energía del golpe para romper el material, estas máquinas presentan mejores características que las trituradoras de mandíbula y un alto factor de forma. Hay dos tipos de trituradoras de impacto, están las de barras horizontales y las de martillos, en la empresa se manejan trituradoras de martillos por experiencia de la misma.

---

<sup>7</sup> Quiminet.com [Disponible] <<https://www.quiminet.com/articulos/funcionamiento-y-caracteristicas-de-la-trituradora-de-mandibula-2653608.htm>> [citado 22 de febrero de 2017]

Aunque son varios los modelos existentes, básicamente estas trituradoras constan de una carcasa cúbica y una cámara de trituración que se cruza por un eje que se apoya mediante rodamientos en dos de sus caras laterales opuestas. Abrazando al eje está el rotor donde se alojan los elementos de percusión, que golpean y lanzan el material dentro de la cámara de impacto contra las placas de choque, situadas en la cara superior y frontal.

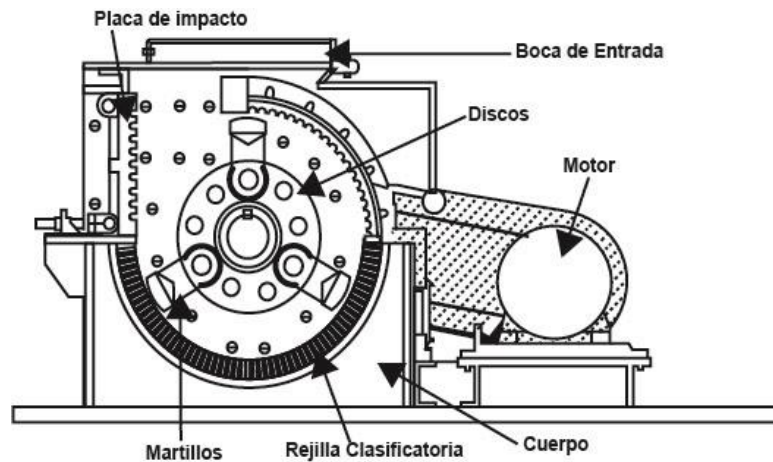
La boca de entrada se sitúa en la parte superior, en un lateral a unos 45° con la vertical, la boca de salida se encuentra en la parte inferior. Las placas de choque, de acero al manganeso, se desgastan de forma desigual, por lo que se diseñan simétricas para invertirlas y aprovecharlas mejor. Suelen ser dentadas para facilitar la fractura del material.

Suelen abrirse las máquinas por un plano horizontal a la altura de los soportes de los rodamientos del eje. En los laterales de la carcasa se sitúan puertas de registro para inspección y mantenimiento.<sup>8</sup> Ver figura 10

---

<sup>8</sup> Universidad Politécnica de Valencia, Víctor Yepes Piqueras, [disponible online]: <<http://victoryepes.blogs.upv.es/2013/03/23/que-es-una-trituradora-de-impactos/>> [citado 22 de febrero 2017]

*Figura 8 Trituradora de Impacto por martillos*



Fuente: Trituración y molienda S.A. de C.V.

<<http://www.trituracionymolienda.com/Molinos.html>>

### 3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN

Cuando se busca aumentar niveles de productividad, calidad y seguridad de una empresa, se tiene gran variedad de estrategias que podrían encaminar a los resultados esperados, uno de estos métodos es el buen manejo del mantenimiento. Este tipo de estrategia puede llegar a asegurar la capacidad máxima de una empresa manteniendo una confiabilidad y disponibilidad alta, así se asegura que los procesos productivos van a ser constantes.

Es por esta razón que se considera implementar un sistema de información donde se encuentren todos los datos necesarios y debidamente organizados para realizar una buena gestión del mantenimiento.

Lo relacionado con el mantenimiento de una planta como las estrategias, instrumentos, operaciones y técnicas para la elaboración correcta del mantenimiento, requieren de una plataforma amigable y confiable que administre en tiempo real la planta en su totalidad. Los datos, informes y análisis de operaciones

pueden ocasionar decisiones mucho más acertadas que minimicen costos de mantenimiento.

Este sistema de información es una herramienta de gran importancia para la organización porque documenta los equipos, su ubicación y su estado dentro de los estándares de la confiabilidad. De cada equipo se pueden tener fichas técnicas, historial de mantenimiento, fotografías, proveedores, etc.

El algoritmo de este sistema de información posee cuatro fases fundamentales que son:

- Entrada
- Almacenamiento
- Procesamiento
- Salida

Al ser un algoritmo la solución planteada para el departamento de mantenimiento, se debe mantener un orden lógico que inicia con la entrada de datos, seguido a esto se debe almacenar esa información entrante para tener un acceso eficaz. En tercer lugar se debe guardar la información anterior para poder llevarla a un control sistemático, por último se utiliza esta base de datos para procesar dicha información, cuya finalidad será la realización de cálculos de acuerdo con una secuencia de acciones preestablecidas. El fin último de esta secuencia es poder programar una serie de actividades a desarrollar diariamente, mensual y/o anual.

#### 4. AUDITORIA DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO ACTUAL PARA LA COMPAÑÍA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S

Para determinar el estado actual de mantenimiento, se realizó una auditoria a la planta mediante un autoanálisis dividido en 14 aspectos importantes, en donde cada bloque consta de una serie de preguntas enfocadas a las posibles falencias o fortalezas que puede tener la compañía. En total son 120 preguntas que se reparten en los siguientes aspectos:

- A. Organización general.
- B. Métodos y sistemas de trabajo.
- C. Control técnico de instalaciones y equipos.
- D. Gestión de la carga de trabajo.
- E. Compra y logística de repuestos y equipos.
- F. Sistemas informáticos
- G. Organización del taller y mantenimiento.
- H. Herramientas y medios de prueba.
- I. Documentación técnica.
- J. Personal y formación
- K. Contratación.
- L. Documentación.
- M. Capacitación.
- N. Control de actividad.

En la tabla que se encuentra en el anexo F se muestra el formato de encuesta que se trabajó para la auditoria, en donde existen tres opciones cualitativas (si, no o intermedio) y una opción cuantitativa que va de uno a diez, siendo diez la mejor calificación y uno la calificación más baja no cumpliendo con lo mínimo que debe tener la empresa.

#### 4.1 RESULTADOS Y REPRESENTACION GRAFICA

A continuación se presentan los resultados de la auditoria

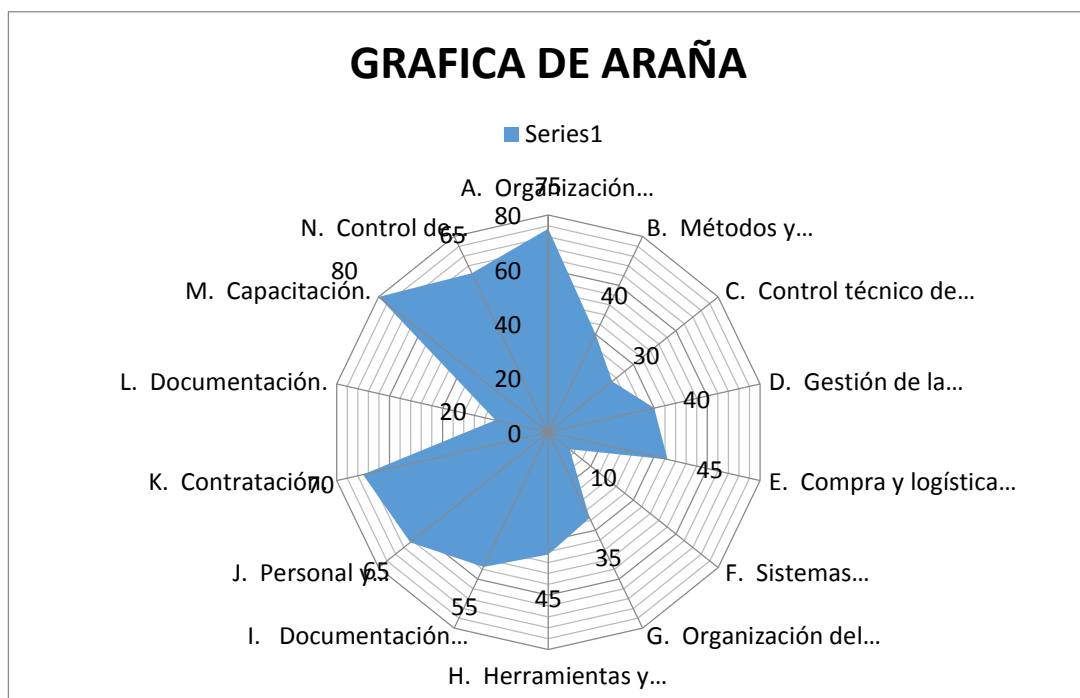
*Tabla 1 Resultados de la auditoria*

ASPECTO	NUMERO DE PREGUNTAS	PUNTOS POSIBLES	PUNTOS OBTENIDOS	PORCENTAJE
<b>A. Organización general.</b>	12	120	90	75%
<b>B. Métodos y sistemas de trabajo.</b>	12	120	48	40%
<b>C. Control técnico de instalaciones y equipos.</b>	13	130	39	30%
<b>D. Gestión de la carga de trabajo.</b>	9	90	36	40%
<b>E. Compra y logística de repuestos y equipos.</b>	10	100	45	45%
<b>F. Sistemas informáticos</b>	3	30	3	10%
<b>G. Organización del taller y mantenimiento.</b>	7	70	24,5	35%
<b>H. Herramientas y medios de prueba.</b>	7	70	31,5	45%
<b>I. Documentación técnica.</b>	7	70	38,5	55%
<b>J. Personal y formación</b>	13	130	84,5	65%
<b>K. Contratación.</b>	9	90	63	70%
<b>L. Documentación.</b>	14	140	28	20%
<b>M. Capacitación.</b>	3	30	24	80%
<b>N. Control de actividad.</b>	5	50	32,5	65%

Es de suma importancia representar los resultados mediante una gráfica para poder entender de una mejor manera las falencias y fortalezas que se tienen dentro de la compañía. Los valores obtenidos para cada ítem son el porcentaje que obtuvieron del valor total que podían obtener, de esta manera todos los aspectos son valorados de igual manera sin importa el número de preguntas.

En la figura de tela de araña se presentan los 14 aspectos que se trabajaron y el valor que obtuvieron, de allí se sacó la información para determinar qué aspectos se deben mejorar y cuales están bien. Por debajo del 50 % se cataloga como malo, entre el 50% y el 70% como regular, del 70% al 90% como bueno y del 90% hacía arriba excelente.

*Figura 9 Resultado de Auditoria*



Como se puede observar claramente en la gráfica, los puntos con mayor déficit son los sistemas de información, los inventarios, las ordenes de trabajo y el historial de los trabajos que se han realizado, todos estos puntos son trabajados en el sistema de información que se desarrolló.

Otras actividades que obtuvieron mejor valor como el control de actividades o personal, también aumentaran su desempeño gracias a la información recogida acerca de los trabajadores de la planta y el formato de orden de trabajo que se creó.

## 5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

El análisis de criticidad se puede definir como una metodología que permite decretar jerarquías o prioridades de procesos, equipos y sistemas creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, concentrando los esfuerzos y recursos en áreas donde sea de mayor importancia mejorar la confiabilidad operacional, desde el punto de vista matemático la criticidad se puede definir como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

La frecuencia tiene que ver con el número de eventos o fallas que presente el equipo o sistema que se esté analizando, la consecuencia está relacionada con el impacto en seguridad, flexibilidad operacional y costos de reparación.

Para seleccionar el método de cuantificación se toman criterios de ingeniería (ver tabla 2 y se estandarizan los factores a considerar. Cuando se tiene la lista ya evaluada se jerarquizan y sería este el resultado del análisis de criticidad.

El análisis de criticidad se aplica en cualquier conjunto de procesos, sistemas, plantas, equipos y/o partes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso donde formen parte.

Tener noción de cuáles son los equipos más críticos da un valor agregado al mantenimiento, porque se puede emplear desde un correctivo hasta uno predictivo, dando prioridad en las ordenes de trabajo a los equipos con mayor índice de criticidad.

Un análisis de criticidad realizado a la empresa Arenera Chicamocha S.A.S. permite jerarquizar los equipos, tomando los más importantes para evitar gastar tiempo importante en equipos que no afectan considerablemente la producción y calidad de la planta.

La determinación del criterio de criticidad es la relación que hay con la frecuencia y la consecuencia. La frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que

presentan el sistema o proceso evaluado y la consecuencia está referida con el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente y con el tiempo de reparación. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad.
- Medio Ambiente.
- Producción.
- Costos (operacionales y de mantenimiento).
- Tiempo promedio para reparar.

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación, para determinar el valor de la consecuencia que puede ocasionar cada equipo en el momento de fallar se define como:

$$C = (Imp_{oper} * T_{repar}) + Co_{mto} + Imp_{seguri} + Flx_{oper}$$

*Tabla 2 Valores de criterios para el análisis de criticidad*

<b>CRITERIO</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>
<i>FRECUENCIA DE FALLA</i>	MENOS DE 0,5 FALLA POR AÑO	1
	ENTRE 0,5 Y 1 FALLA POR AÑO	2
	ENTRE 1 Y 2 FALLAS POR AÑO	3
	MAS DE 2 FALLAS POR AÑO	4
<i>IMPACTO OPERACIONAL</i>	NO GENERA NINGUN RIESGO EN LA OPERACIÓN	1
	IMPACTA A NIVELES DE CALIDAD E INVENTARIOS	4
	IMPACTA LA OPERACIÓN E INFLUYE A OTROS SISTEMAS	7
	PERDIDA O PARADA TOTAL DE LA PRODUCCIÓN	10
<i>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</i>	FUNCION DE REPUESTO DISPONIBLE	1
	HAY OPCION DE REPUESTO COMPARTIDO / ALMACEN	2
	NO HAY OPCION DE REPRODUCCION Y FUNCION DE REPUESTO	4
<i>COSTO MANTENIMIENTO</i>	MENOR AL 5% DEL COSTO DEL EQUIPO	1
	MAYOR AL 5% DEL COSTO DEL EQUIPO	2
<i>IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE</i>	NO PROVOCA DAÑOS	1
	PROVOCA DAÑOS MENORES(AMBIENTE-SEGURIDAD)	3
	DAÑOS SEVEROS AFECTANDO LAS INSTALACIONES	5
	AFECTA EL AMBIENTE E INSTALACIONES	7
	AFECTA INSTALACIONES Y PERSONAL	8
<i>TIEMPO DE REPARACIÓN</i>	REPARACIÓN MENOR A 1 HORA	1
	REPARACIÓN ENTRE 1 Y 5 HORAS	3
	REPARACIÓN MAYOR 5 HORAS	5

Teniendo en cuenta los anteriores criterios con sus respectivos valores, se realizó su valoración a cada uno de los equipos de la planta, resultados que podrán ser visualizados en el anexo B. La matriz de criticidad que resulto de este análisis arrojó los datos ilustrados en la tabla 3.

Para tener un estándar como criterio de elección se tomará las escalas para establecer en que rango está ubicado el equipo según el análisis de criticidad.

Equipos Críticos (GRIS OSCURO-C): Estos son los sistemas que presentan mayor índice de criticidad y que tienen un alto riesgo de poner en peligro la productividad de la empresa en el momento de fallar, estos equipos tienen un valor de criticidad por encima de 151.

Equipos Medio críticos (GRIS CLARO-MC): Son equipos que tienen criticidad media, y pueden afectar la confiabilidad de la empresa pero que pueden ser sustituidos o reparados en tiempos que posiblemente no afecten demasiado, el valor de criticidad va comprendido entre 41 y 150.

Equipos No críticos (BLANCO-NC): Son los activos que menos importancia tienen en el mantenimiento, ya que no afectan la productividad de la empresa y son irrelevantes esta categoría está en por debajo de 40.

Los números dentro de cada cuadrícula representa el ítem de cada equipo de la tabla 3.

*Tabla 3 Resultado del análisis de criticidad*

4			6-7-9-10-11- 12-13-14-15			1-2-3-4-5
3						
2						
1	8-16-17-18- 19-20-21-22- 23-24-25-26- 27-28-29-30- 31-32					
	10	20	30	40	50	60

Teniendo en cuenta la anterior distribución de criticidad se puede deducir que los equipos que presentan altos índices de criticidad son las trituradoras de piedra, que en su mayor nivel se encuentra la trituradora tipo cono, seguida por las trituradoras

de impacto tipo martillo y la de mandíbulas. Con base en esta determinación se procede a realizar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad a los anteriores equipos mencionados, se realizara un plan para cada tipo de máquina y las que comprendan las mismas características se acomodara a la misma rutina establecida.

## 6. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS NO CRITICOS

### 6.1 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS CRITICOS Y NO CRITICOS

La codificación es un método muy práctico para la determinación y organización de los activos de una empresa, cada compañía es libre de elegir su método de codificación que más convenga y facilite la interpretación, se puede manejar 2 tipos de código, solo con números o alfanuméricos, depende de su utilización se determina cual es el más efectivo de aplicar.

Es importante tener un registro total de los activos presentes en la compañía para identificar su área de operación, cantidad y tipo de equipos, se sugiere seguir un tipo de codificación para poder reconocerlos y ubicarlos con facilidad como lo indica la figura 12.

*Figura 10 Estructura de codificación*



#### 6.1.1 Metodología de Codificación

Para la codificación de los activos de la empresa Arenera Chicamicha S.A.S. se maneja un sistema de codificación alfanumérico, que estará compuesto por 6 letras y 2 dígitos que se definirán a continuación:

Las 3 primeras letras darán el referente al tipo de equipo que se estará refiriendo, las segundas 3 letras indicará la marca de dicho equipo y los últimos 2 dígitos mostraran el consecutivo del activo, en caso tal que solo se encuentre 1 solo activo se colocara 00.

Las siguientes tablas muestran que códigos se manejaron para la codificación correspondiente.

*Tabla 4 Codificación por tipo de equipo*

<b>EQUIPO</b>	<b>CÓDIGO</b>
TRITURADORA DE MARTILLO	MAR
TRITURADORA DE CONO	CON
TRITURADORA DE MANDIBULA	MAN
NORIA	NOR
ZARANDO	ZAR
EXCAVADORA	ESC
CARGADOR	CAR
RETROEXCAVADORA	RES
PLANTA ELECTRICA	PLA
VOLQUETA	VOL
CAMIONETA	CMN

*Tabla 5 Codificación por marca*

<b>MARCA</b>	<b>CÓDIGO</b>
ACEANDES	ASE
METSO	MET
DISMET	DIM
CATERPILAR	CAT
CHEVROLET	CHE
DODGE	DOD
FREIGHTLINER	FRE
VOLKSWAGEN	VWV
INTERNATIONAL	INT
MAZDA	MAZ
FORD	FRD
KENWORTH	KNW

Tabla 6 Codificación de activos Arenera Chicamocha S.A.S.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MARCA	SERIE/PLACA
1	MAR-ASE-00	TRITURADORA MARTILLOS	ACEANDES	DOBLE PANTALLA
2	MAR-ASE-01	TRITURADORA MARTILLOS	ACEANDES	PANTALLA SIMPLE
3	MAR-ASE-02	TRITURADORA MARTILLOS	ACEANDES	PANTALLA SIMPLE 2
4	MAN-ASE-00	TRITURADORA DE MANDIBULA	ACEANDES	7X12
5	CON-MET-00	TRITURADORA DE CONO	METSO	HP300
6	NOR-DIM-00	NORIA	DISMET	LAVADOR
7	NOR-DIM-01	NORIA	DISMET	LAVADOR
8	ZAR-NNN-00	ZARANDO	NO REGISTRA	REF 1
9	ESC-CAT-00	EXCAVADORA	CATERPILAR	336DL
10	ESC-CAT-01	EXCAVADORA	CATERPILAR	320D
11	CAR-CAT-00	CARGADOR	CATERPILAR	938H
12	CAR-CAT-01	CARGADOR	CATERPILAR	938G
13	CAR-CAT-02	CARGADOR	CATERPILAR	950H
14	RES-CAT-00	RETROEXCAVADORA	CATERPILAR	420E
15	PLA-CAT-00	PLANTA ELECTRICA	CATERPILAR	CL15
16	VOL-CHE-00	VOLQUETA	CHEVROLET	JIV-148
17	VOL-CHE-01	VOLQUETA	CHEVROLET	INA-973
18	VOL-CHE-02	VOLQUETA	CHEVROLET	INJ-608
19	VOL-CHE-03	VOLQUETA	CHEVROLET	SUD-298
20	VOL-CHE-04	VOLQUETA	CHEVROLET	GIV-688
21	VOL-CHE-05	VOLQUETA	CHEVROLET	XMC-892
22	VOL-CHE-06	VOLQUETA	CHEVROLET	CCK-228
23	VOL-DOD-00	VOLQUETA	DODGE	FLJ-870
24	VOL-DOD-01	VOLQUETA	DODGE	FCD-236
25	VOL-FRE-00	VOLQUETA	FREIGHTLINER	XMC-278
26	VOL-FRE-01	VOLQUETA	FREIGHTLINER	SRR-992
27	VOL-VWV-00	VOLQUETA	VOLKSWAGEN	SRL-804
28	VOL-INT-00	VOLQUETA	INTERNATION AL	SUE-099
29	VOL-INT-01	VOLQUETA	INTERNATION AL	CUB-174
30	VOL-KNW-00	VOLQUETA	KENWORTH	TTV-586
31	CMN-MAZ-00	CAMIONETA	MAZDA	PIS-646
32	CMN-FRD-00	CAMIONETA	FORD	IBA-352

## 6.2 FICHAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS

La ficha técnica es un documento que contiene toda o gran parte de la información y especificaciones técnicas del equipo o sistema, es un archivo que permite identificar qué tipo de activo es el que se está analizando.

Para tener un registro e información importante de cada activo de la empresa se procede a diseñar las fichas técnicas para los equipos de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S., puesto que actualmente no se cuenta con este tipo de información, la figura 13 muestra un ejemplo para el formato que se manejó en dicha actividad. El resto de fichas técnicas se encuentran en el anexo C.

Figura 11 Ejemplo de formato de la ficha técnica

				
<b>FICHA TECNICA</b>				
<b>REFERENCIAS DEL EQUIPO</b>				
NOMBRE:	TRITURADORA MARTILLOS	MARCA:	ACEANDES	
REF:	PANTALLA SIMPLE	NIVEL CRITICIDAD	C	
CÓDIGO INV:	MAR-ASE-01	OTRO:		
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>				
POTENCIA DE 130 – 140 HP		VEL MAX GRAVILLADOR 350 -550 RPM		
VEL MAX ARENERO 800-1000 RPM		PRODUCCIÓN APROX ARENERO 60 m <sup>3</sup> /h		
MATERIAL DEL ROTOR AISI 1040		PRODUCCIÓN APROX GRAVILLADOR 90 m <sup>3</sup> /h		
MATERIAL CARCAZA AISI 1040		PLACAS DE REVESTIMIENTO ASTM A 128 GR C		
MATERIAL EJE ACERO AISI 4340		PANTALLAS ASTM A 128 GRADO C		
MARTILLOS ASTM A 128 GRADO C				
<b>RECOMENDACIONES</b>				
TAMAÑO DE GRANO DE ENTRADA QUE ESTÉ ENTRE 1 – 5 PULGADAS				
IMPACTOR ESTA DISEÑADO PARA FUNCIONAR DE 3 - 4 MESES CUANDO SE TRABAJA 8 h/día				
<b>FOTO DEL EQUIPO</b>				
				

### 6.3 RUTINAS DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS NO CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.

Para cada uno de los equipos que hace parte de los activos de la empresa, se sugirió unas rutinas de mantenimiento periódicos con base en información suministrada por los fabricantes y por la misma experiencia de la empresa, este tipo de rutinas está reflejado en las tareas a realizar por el personal de mantenimiento u operario. Se clasifican por su periodo que puede ser diario, semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral y/o anual.

El tener un plan de mantenimiento no significa que los indicadores de confiabilidad, disponibilidad se vayan a ver favorecidos, si no se tiene la neta disposición del personal que lleva a cabo las tareas, es un compromiso que debe estar alimentado por la parte administrativa de la compañía, esta disposición de los operarios y demás personal dan el valor agregado que necesita la empresa para brindar productos y servicios de calidad.

Para cada uno de los equipos de la empresa se les determina una rutina de mantenimiento preventivo que aumenta la vida útil de los activos, los equipos no críticos y medio críticos se aconseja un mantenimiento preventivo y en los casos que se pueda aplicar correctivo se determina según sea el caso, para aquellos que tienen nivel de criticidad críticos, se determina una rutina de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM). A continuación se da el ejemplo de una rutina de mantenimiento para un equipo de nivel medio crítico.

Figura 12 Modelo de rutina de mantenimiento

			
RUTINA DE MANTENIMIENTO			
COD. EQUIPO	RES-CAT-00	NOMBRE	RETROEXCAVADORA
MARCA	CATERPILAR	MODELO	420 E
ITEM	DESCRIPCIÓN		FRECUENCIA
1	Lubricación de tren de rodaje.		50 h
2	Lubricación de rodillos de la cadena.		50 h
3	Apriete de tornillería.		50 h
4	Inspeccionar nivel de electrolitos en la batería.		50 h
5	Inspeccionar el estado del cableado.		50 h
6	Inspeccionar el apriete en las terminales de la batería.		50 h
7	Inspeccionar el funcionamiento del tablero de instrumentos.		50 h
8	Revisar el funcionamiento de luces e interruptores.		50 h
9	Inspeccionar fugas y daños hidráulicos.		50 h
10	Revisión de pitos.		50 h
11	Revisar latonería y corrosión.		50 h
12	Revisar el nivel de líquido del parabrisas.		50 h
13	Tensionar la oruga.		250 h
14	Apretar pasador y bujes.		250 h
15	Inspeccionar válvulas de control de mando		500 h
16	Inspeccionar el sistema de presión hidráulica		1000 h
RECOMENDACIONES			
17	En caso de falla llamar al personal encargado.		
18	No sobrepasar el límite de peso estipulado por el fabricante.		
19	Tener siempre los repuestos mínimos para cada máquina.		

Para obtener la información completa de las rutinas de mantenimiento recomendada a cada uno de los activos de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S se mostraran en el anexo D.

## 7. RCM APLICADO A LOS QUIPOS CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMUCHA S.A.S.

### 7.1 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD

El mantenimiento basado en confiabilidad es el tipo de mantenimiento que permite identificar piezas o sistemas delicados dentro de una organización o más particularmente dentro de un equipo, para disminuir sus posibles fallas definiéndole rutinas de mantenimiento preventivo basado en un diagrama de decisiones una vez siendo definido sus funciones, fallas funcionales, modos de falla etc.

### 7.2 ENFOQUE DEL RCM

Las definiciones formales de RCM son las siguientes:

- Es un proceso utilizado para determinar los requisitos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operativo.
- Un proceso utilizado para determinar lo que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe cumpliendo con las funciones previstas en su contexto operativo actual.
- RCM es un método para desarrollar y seleccionar alternativas de diseño de mantenimiento basadas en criterios de seguridad operacional y económica. RCM emplea un sistema de efecto en el análisis de funciones del sistema, fallas de funciones y prevención de estos fallos.
- RCM es un sistema de consideración de la funcionalidad del sistema, la forma en que las funciones pueden fallar, y una prioridad basada en la consideración de la seguridad y la economía que identifica las tareas aplicables y eficaces.

En pocas palabras, la metodología de RCM se describe completamente en cuatro características únicas:

- Preservar funciones
- Identificar los modos de falla que pueden anular la función.
- Priorizar las necesidades de la función (a través de modos de falla).
- Seleccionar sólo las tareas aplicables y efectivas.

RCM se centra en el enfoque de "función del sistema". Los sistemas redundantes y complejos tienen confiabilidad diseñada directamente en su diseño. La fiabilidad del sistema puede reducirse si las tareas de mantenimiento y las frecuencias no son sus componentes integrales. El exceso de mantenimiento reduce la fiabilidad del sistema debido a fallos inducidos por el mantenimiento. Para el sistema altamente confiable la confiabilidad del sistema es muy a menudo reducida debido a la intervención humana bajo el pretexto de PM. Por lo tanto, la metodología RCM ha tenido éxito en la construcción de sistemas altamente fiables.

Los beneficios de RCM incluyen:

- El desarrollo de planes de mantenimiento de alta calidad en menos tiempo y a menor costo.
- La disponibilidad de un historial de mantenimiento para cada sistema que es capaz de correlacionar esta experiencia con partes especificadas y sus modos de falla y criticidad.
- La garantía de que todas las partes importantes de mantenimiento y sus modos de falla y criticidad se consideran en el desarrollo de los requisitos de mantenimiento.
- Mayor probabilidad de que el nivel y el contenido del requisito de mantenimiento se especifique de forma óptima.
- La base para el intercambio de información de rutina entre el personal de ingeniería y la dirección, incluso en una organización muy dispersa.

### 7.3 METODOLOGÍA RCM

La metodología que permite un buen uso del sistema de confiabilidad RCM se puede determinar resolviendo 7 preguntas claves que permitan evitar posibles fallas que puedan generar consecuencias graves, estas se muestran a continuación:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se analiza?
- ¿Cuáles son los estados de falla (Falla funcional) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no se puede encontrar una tarea predictiva o preventiva adecuada?

#### 7.3.1 Funciones de desempeño

Antes de pretender aplicar alguna metodología que permita asegurar que todo equipo funcione de la manera correcta y cumpla con lo que el operador espera, se debe considerar dos aspectos importantes:

- Definir qué es lo que se espera del equipo.
- Asegurar que el equipo si cumpla con lo que se espera.

El primer paso del RCM es definir estrictamente las funciones de los equipos dentro de su contexto operativo y los estándares de desempeño deseados. Se pueden establecer en dos categorías las funciones esperadas, funciones primarias y secundarias.

Funciones Primarias: Tiene que ver con las funciones que satisfagan el para qué fue adquirido ese equipo. En esta categoría se miran velocidades, rendimientos, capacidad de transporte o almacenamiento, calidad del producto o servicio.

Funciones Secundarias: Indica que funciones cumple el sistema aparte de su función principal. Hay otro tipo de áreas que los usuarios esperan que realice el equipo como el control, confort, integración estructural, economía, estándares ambientales, etc.

Los operadores deben tener conocimiento real de que aporta el equipo para el bienestar físico y financiero de la organización como un todo, de modo que estén involucrados en el proceso RCM desde su inicio.

### 7.3.2 Fallas funcionales

El mantenimiento debe realizarse con el fin de asegurar el desempeño óptimo del equipo, y para que esto no suceda debe ser consecuencia de algún tipo de falla en el sistema. Sin embargo, antes de aplicar la conjunción de herramientas apropiadas, se necesita identificar el tipo de falla que pueda presentarse, en el proceso RCM se realizan dos niveles:

- Identificar qué falencias llevaron a la falla.
- Investigar que situaciones son las causantes de esa falencia.

En el RCM los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, esto se reconoce cuando el equipo deja de cumplir con su labor o tiene bajos rendimientos en comparación con los estándares definidos previamente.

### 7.3.3 Modos de falla

Como se menciona anteriormente se ha identificado cada falla funcional y se ha entrado a averiguar qué es lo que genera esa falla que ahora se llamara modo de falla, estos incluyen aquellos percances que han ocurrido en máquinas similares o a fines que han sido tratadas por mantenimientos previos, como también, fallas que no han ocurrido aun pero que dentro de las críticas realizadas pueden llegar a afectar la falla en cuestión.

Las listas de modo de fallas incorporan fallas causadas por deterioros de uso, desgaste normal y por errores humanos (por parte de los operarios y personal de

mantenimiento) o por desperfectos del diseño que pueden ser manejados e identificados apropiadamente.

#### 7.3.4 Efectos de falla

Los efectos de falla describen las consecuencias generadas por el modo de falla, se deben enlistar todos los posibles efectos para poder incluir la información pertinente y poder respaldar la evaluación de consecuencias. Se analiza si hay evidencias de que la falla ocurrió, al igual se debe revisar si se tiene una amenaza medioambiental que pone en riesgo la producción y que debe hacerse para evitar dicha falla.

#### 7.3.5 Consecuencias de falla

Una consecuencia es el efecto que genera una falla a la organización ya sea en un contexto operacional, administrativo, en calidad, seguridad al medio ambiente, etc. Siempre que se tenga una afectación económica o de tiempo, son complicaciones que se deben evitar en la empresa para aumentar o mantener la confiabilidad. No todas las consecuencias tienen la misma repercusión, habrá unas con criterios graves de atención como otras de efecto irrelevante. El RCM se caracteriza por considerar que las consecuencias son más importantes que las características técnicas, esta estrategia secciona consecuencias en cuatro ramas:

- Consecuencias operativas: Implican la producción de la planta
- Consecuencias no operativas: Solo afectan económicamente a la empresa por la reparación.
- Consecuencias de fallas ocultas: No inciden directamente pero exponen a la compañía a fallas múltiples.
- Consecuencias medioambientales y seguridad: Si viola alguna norma ambiental o pone en riesgo la integridad del operario.

Categorizando este tipo de consecuencias de falla, revela la importancia de cada una de ellas y permite concentrar esfuerzos en las que verdaderamente necesitan de atención.

#### 7.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LAS TRITURADORAS

Para la producción de piedra triturada se requiere seguir una serie de pasos que para cada una de las maquinas difieren en algunos aspectos, principalmente todo empieza con la extracción de material crudo del rio, este es extraído por las excavadoras y cargado en las volquetas que se encuentran disponibles para esta labor, este material es transportado a la máquina que corresponda según es planeado por la experiencia de la empresa, puede ser llevado a un zarando clasificador, allí se pretende separar la arena de la piedra, y clasificar por tamaño, de esta clasificación se obtienen diferentes productos, se encuentra la arena pareja y gruesa y el bolo de diferentes tamaños. Lo que no entra en estas características es almacenado para posteriormente llevarlo a alguna de las trituradoras disponibles.

Cuando el material crudo es llevado a la trituradora de impacto tipo martillo, que en el caso de Arenera Chicamocha S.A.S. cuenta con 3 máquinas de este estilo, el material es dejado por la volqueta en la tolva de alimentación que posee una especie de malla la cual no permite el ingreso de piedras demasiado grandes que puedan causar daños considerables al triturador, ver en figura 14, este material va siendo evacuado por una cinta transportadora que dosifica el ingreso de material al impactor, en un tramo anterior a la trituradora se pasa el material por un zarando vibratorio que contiene una serie de aspersores que lavan el material obteniendo de este proceso la arena, también permite el paso de la piedra más pequeña con ciertas características o dimensiones que no necesiten ser trituradas por la máquina. Ver figura 15.

*Figura 13 Malla de precaución trituradora de martillos*



*Figura 14 Zarando vibratorio con aspersores*



Una vez realizado este proceso el material que ingresa al triturador es partido por los martillos y evacuado para un clasificador que selecciona los tamaños adecuados de la piedra, el material que no sea seleccionado es retroalimentado al triturador por medio de una cinta transportadora para repetir el proceso. La figura 16 muestra el proceso anteriormente descrito.

*Figura 15 Proceso de trituración máquina de martillos*



A diferencia de esta trituradora se encuentra el proceso de trituración de la tipo cono, que contiene una fase antes a su trituración realizada por la trituradora de mandíbula, para esta máquina el ingreso de piedras que sobrepasen los límites pueden generar atascamientos que ocasionan fallas graves a la máquina, es por esa sencilla razón que se necesita de una trituradora primaria que pre fracture la piedra para que pueda ser ingresada al machacador tipo cono, al igual que la trituradora de martillos, esta posee una malla que no permite el ingreso de material demasiado grande para evitar sobre cargas en el machacador como lo indica la figura 17, la diferencia de estas máquinas es el tipo de piedra que pueden procesar, la de mandíbulas acepta piedras de tamaños mucho más grandes que la que soporta la trituradora de martillos.

*Figura 16 Malla de precaución para trituradora primaria*



Dentro de los procesos mencionados en la máquina de trituración tipo cono se encuentra una fase anexa que tiene que ver con las norias, estas máquinas son encargadas de filtrar el barro producido en el lavado del crudo y despachar la arena lista para su comercialización, en la figura 18 se puede apreciar la noria filtrando el material y obteniendo dicha arena.

*Figura 17 Proceso de la noria*



## 7.5 DETERMINACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE LOS EQUIPO CRITICOS DE LA PLANTA

Para la determinación o identificación de los subsistemas de los equipos críticos de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S. se mencionaran para cada una de las máquinas y si se repite ese mismo subsistema en otra de las maquinas se referenciará para identificarlos, se tomara como ejemplo la máquina de trituración tipo cono, esta es la más completa y presenta todo los subsistemas que comprenden las otras máquinas.

### 7.5.1 Trituradora Tipo Cono

*Figura 18 Sistemas de la trituradora tipo cono*



#### 7.5.1.1 Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación es el encargado de surtir el proceso del material crudo, este por lo general está ubicado en la parte más alta de la locación de la máquina.

Los elementos que conforman este sistema son:

- Tolva de descarga
- Motor eléctrico
- Banda transportadora y accesorios

#### 7.5.1.2 Sistema de Lavado

El sistema de lavado es el encargado de como su nombre lo indica, lavar el material, este proceso tiene dos modos de funcionar, uno es por medio de aspersores que están ubicados sobre el zarando vibratorio o segundo es realizado por un operario que maneja una manguera el chorro de agua y va lavando el material por partes.

Los elementos que constituyen este sistema son:

- Motobomba eléctrica.
- Tuberías y accesorios
- Válvulas
- Aspersores

#### 7.5.1.3 Sistema de Trituración

El sistema de trituración en este tipo de maquina es el sistema que más esfuerzo mecánico presenta, debido a las altas cargas y esfuerzos que sufren cada una de las partes que lo componen, especialmente en el cono triturador porque es la pieza que mayor atención requiere por parte del departamento de mantenimiento, su principal y única función es triturar la piedra. Este sistema funciona dependiendo del tipo de máquina.

Los elementos que componen este sistema son:

- Cono
- Excéntrico
- Pantallas
- Motor eléctrico
- Sistema de transmisión de potencia

#### 7.5.1.4 Sistema de Transporte

Se refiere a sistema de transporte a cada uno de los mecanismos que permiten el traslado de material de un lado a otro por medio de bandas transportadoras, este sistema se encuentra debajo de la tolva de alimentación que traslada el material

hasta el zarando vibratorio, también se puede encontrar en la salida de la trituradora permitiendo la retroalimentación o en su defecto el apilamiento del material, este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- Banda o cinta
- Motor eléctrico
- Caja reductora
- Rodamientos guías o de apoyo

#### 7.5.1.5 Sistema eléctrico y de control

Este sistema se encarga de alimentar eléctricamente toda la máquina permitiendo el control de cada uno de sus partes, en la cabina de control se opera todos los sistemas y se monitorea su normal funcionamiento. Los elementos que constituyen este sistema son:

- Red eléctrica
- Panel de control
- Planta eléctrica

#### 7.5.1.6 Sistema hidráulico

Este sistema se encuentra particularmente en la máquina de trituración por cono, es un sistema necesario para la prevención de sobrecargas en el triturador, su función es levantar el cabezal de la trituradora permitiendo desalojar la cámara para poder poner en marcha la trituración sin material y no sobrecargar al sistema en el arranque. Está compuesto por los siguientes elementos:

- Motor hidráulico
- Cilindros actuadores
- Tuberías
- Válvulas
- Tanque

## 7.5.2 Trituradora de Mandíbula

*Figura 19 Sistemas de la trituradora de mandíbula*



La máquina trituradora de piedra tipo mandíbula posee los mismos sistemas anteriormente mencionados en la máquina tipo cono, estas difieren su método de trabajo en la forma que parten la piedra y posee un sistema menos.

### 7.5.2.1 Sistema de Trituración

El sistema de trituración de este tipo de máquina presenta altos esfuerzos de compresión, el elemento encargado de realizar este proceso es el denominado mandíbula, que es movido por el Pitman quien proporciona el movimiento vaivén que permite abrir y cerrar la mandíbula recibiendo y sacando el material ya procesado, este sistema es el que mayor atención requiere por parte del departamento de mantenimiento.

Los elementos que componen este sistema son:

- Pitman
- Amortiguadores
- Mandíbula
- Motor eléctrico

- Pantallas
- Sistema de transmisión de potencia

### 7.5.3 Trituradora de Martillo

*Figura 20 Sistemas de la trituradora de martillos*



La máquina trituradora de piedra de martillos posee los mismos sistemas anteriormente mencionados en la máquina tipo cono, estas difieren su método de trabajo en la forma que parten la piedra y posee un sistema menos.

#### 7.5.3.1 Sistema de Trituración

El sistema de trituración de este tipo de máquina presenta altos esfuerzos de impacto, el elemento encargado de realizar este proceso es el denominado martillo, que es solidario a un eje que quien proporciona el giro que hace impactar los martillos a la piedra, este sistema junto con las pantallas son los que mayor atención requieren por parte del departamento de mantenimiento.

Los elementos que componen este sistema son:

- Pantallas
- Amortiguadores
- Martillos
- Motor eléctrico
- Eje
- Sistema de transmisión de potencia

#### 7.6 IMPLEMENTACIÓN DEL RCM PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA EMPRESA ARENERA CHICAMOCHA S.A.S.

La implementación de la metodología RCM para los equipos críticos de la empresa Arenera Chicamocha S.A.S se representa en un cuadro que definirá cada una de las funciones del equipo, fallas funcionales, modos de falla, efecto de falla y consecuencia de la falla. A continuación se mostrará la metodología RCM para cada una de las maquinas críticas.

Tabla 7 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de cono

FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONCECUENCIAS DE FALLA
1 Fracturar el material	1A Ajuste de la cámara de trituración des calibrado	1A1 Desgaste del cono  1A2 Amortiguación defectuosa  1A3 Atascamiento de material	Baja presión de trituración  Aumenta la vibración del triturador Se fracturan las soldaduras Aumentan los esfuerzos en el triturador  Sobre cargas en el excéntrico  sobrecargas en el sistema de transmisión Desgaste prematuro del cono	El material sale defectuoso, sin dimensiones requeridas No se procesa el material debidamente y se recurre a reproceso  Genera demasiado ruido en la máquina Debilita el sistema y acelera fallas Puede hacer fallar cualquier elemento de la maquina  Falla del excéntrico por fatiga Sobrecostos por energía Falla del piñón o corona Más tiempo muerto por reparación del cono
	1B Calentamiento del triturador	1B1 Bomba deteriorada 1B2 Flujo incorrecto del retorno del aceite 1B3 Aero refrigerante taponado	No proporciona el caudal requerido por el sistema Se congestiona la línea de descarga Se sobrecalienta el sistema	Baja la presión o eficiencia de la maquina  Hay líneas que quedan presurizadas y generan fallas en el sistema Deterioro de las piezas por recalentamientos

		1B4	Lubricación del triturador insuficiente	Aumenta el rozamiento de las piezas	Baja la eficiencia del sistema
		1B5	Lubricante con demasiada impureza	Desgasta más rápido las piezas	Se presentan ralladuras en los elementos móviles del equipo
	1C		La bomba no proporciona aceite o la presión es muy baja o inestable		
		1C1	Nivel de aceite del depósito insuficiente	Acelera el desgaste de las piezas	Aumenta el desgaste de las piezas móviles por falta de lubricación
		1C2	Sentido de rotación contrario	No proporciona el fluido al sistema	Puede fallar el equipo por falta de lubricación
		1C3	Entra aire en el circuito de aspiración	Proporciona cavitación y falla en el sistema	Puede fallar el sistema por caídas de presión
		1C4	Aceite muy viscoso	Aumenta el gasto de energía	Se frena el sistema por amortiguación viscosa
		1C5	Tubo de aspiración o descarga taponado	Genera sobrepresiones en las líneas del fluido	No permite el flujo adecuado por las líneas de lubricación y puede afectar la eficiencia del equipo
		1C6	Acoplamiento bomba motor roto	Fugas de aceite Genera vibraciones por desbalanceo	Deja escapar el lubricante afectando los niveles de aceite Desajusta todo elemento que este sujeto solidariamente
		1C7	Velocidad del motor del GPM insuficiente	Puede afectar el suministro de aceite en el sistema	Bajo nivel de lubricación en el sistema, genera sobrecalentamientos por aumento de fricción entre los elementos móviles

		1C8	Desgaste excesivo de la bomba	Cae la presión de las líneas	Aumento de temperatura en el sistema
		1C9	Enchufe muy pequeño o exceso de dimensión en tuberías	Aumenta las impurezas en el aceite Puede llegar a generar un corto por alta tensión en el enchufe, demasiada caída de presión por las líneas del sistema	Tapona filtros y no permite el paso eficiente del lubricante  Baja eficiencia del equipo y pérdidas de energía
		1C10	Tubos o filtros tapados	Afectan la vida útil del aceite	Hacen fallar el sistema si hay acumulación de sedimentos
	1D	1D1	Aceite muy viscoso	Aumento del gasto de energía	Se frena el sistema por amortiguación viscosa
		1D2	Motor frenado	No proporciona las RPM necesarias a la bomba	Baja presión en las línea de lubricación
		1D3	Velocidad del motor demasiado alta	Aumenta la temperatura del motor Sobrecarga el sistema	Puede fundir el motor por exceso de fricción Aumenta la presión en las líneas de lubricación
	1E	1E1	Desgaste de los piñones	Disminuye la eficiencia de la bomba	No hay buena lubricación del sistema
		1E2	Acoplamiento flojo	Genera vibraciones	Acelera falla de la estructura
		1E3	Materiales extraños en la bomba	Produce fallas en los elementos	Acelera el desgaste de los elementos
	1F	1F1	Agua en el circuito	Genera baja viscosidad del lubricante	Puede rayar los elementos móviles

	1G	Sistema de lubricación taponado	1F2	Entra aire en el circuito de aspiración	Proporciona cavitación y falla en el sistema	Vibraciones en las líneas de lubricación y posibles golpes de ariete	
			1F3	Mezcla de aceite no compatible	Genera baja viscosidad del lubricante	Puede rayar los elementos móviles	
			1G1	No hay respiradero en la caja de contra-árbol	Caídas de presión por gases, o aire en el sistema	Presurización de gases en el tanque de almacenamiento	
			1G2	Filtro taponado del depósito o de la caja del contra-árbol	No filtra debidamente el aceite y restringe el paso del lubricante	Baja la eficiencia del sistema y no permite el libre paso del lubricante	
	1G3	Juntas deterioradas en el triturador	Genera vibraciones	Aceleran fallas de la estructura del sistema			
	1H	Fuga de aceite en el contra-árbol	1H1	El triturador no está puesto a la presión atmosférica	Presenta sobre cargas en el sistema	Aumentando el gasto de energía	
1H2	Estanqueidad del lado polea	Perdida de lubricante	Puede presentar filtraciones de aceite				
1H3	Estanqueidad del lado piñón						
2	2A	Lavado de material	Bajo caudal en los aspersores	2A1	Tapada las salidas de los aspersores	No sale suficiente agua No permite el lavado esperado No envía caudal suficiente para el lavado	Perdida de material dentro del proceso por falta de lavado
2A2				Falla de la bomba	No llega a las aspersores el caudal suficiente o a baja presión		

		2A3	Potencia baja de la bomba	No proporciona la columna de agua adecuada para el sistema		
		2A4	Fugas en las tuberías	Escape del fluido perdiendo presión No llega el suficiente caudal a los aspersores		
		2A5	Tapado la línea de absorción de la bomba	Disminuye el caudal a impulsar		
	2B	Falla en la vibración de la zaranda	2B1	Motor eléctrico defectuoso	No genera las RPM requeridas	Se baja la eficiencia de la zaranda por las bajas revoluciones No permite el tamizado correcto del material Genera ruidos y desgastes de la maquina Disminuye la vida útil del sistema
			2B2	Excéntrico defectuoso	No ocasiona el vibrado esperado	
	2B3	Amortiguación defectuosa	Aumenta fallas por falta de amortiguación Debilita la estructura con fisuras por vibración			
2C	Falla en las mallas previas al triturador	2C1	Desgaste de la malla de filtrado	No tamiza el material debidamente	Altera la calidad del producto	
3	3A	La noria no arranca o se detiene frecuentemente	3A1	Correas de transmisión demasiado sueltas	Disminuye la potencia	No transmite la potencia correctamente, generando pérdidas
			3A2	Motor sobrecargado	Acelera falla en el motor	Puede quemar el motor por la sobrecarga

		3A3	Bajo voltaje en el motor	Baja la eficiencia del sistema	No arranca la maquina pero el motor si funciona
		3A4	Motor pasa demasiada corriente	Funcionalidad del equipo inapropiado	Lleva a fallas eléctricas y riesgos humanos por sobrecargas de energía
	3B		Funcionamiento Ruidoso		
		3B1	Rodamientos defectuosos	Incremento en la temperatura del sistema Vibraciones excesivas	Ocasiona problemas por fallas térmicas Debilita la estructura del sistema
		3B2	Hay tornillos flojos	Vibraciones y ruidos extraños	Acorta la vida útil del activo
		3B3	Guardas mal instaladas o sin mantenimiento	Desajuste del sistema	Acelera fallas por mal funcionamiento
	3C		Derrame de material		
		3C1	Aumento de material	Sobrecarga el sistema de transmisión de potencia	Falla el eje de trasmisión
		3C2	Máquina sobrecargada	Aumenta esfuerzos en elementos de la maquina	Acelera deterioro de elementos por fatiga
		3C3	Carga inapropiada	Desbalancea el sistema y genera esfuerzos	Debilita el sistema y acelera fallas
		3C4	Solidificación de material arcilloso	Se carga el sistema con material inapropiado	Aumenta esfuerzos innecesarios en el sistema
		3C5	Almacenaje o manejo inapropiado	Funcionalidad del equipo inapropiado	Acelera fallas por mal operación
	3D		El material no es procesado correctamente		
		3D1	Velocidad alta	Eficiencia de la maquina baja	No se alcanza a procesar debidamente el material

	3E	Motor recalentado	3E1,	Baja lubricación en los moto reductores	Fallas térmicas de los elementos	Funde las piezas o deteriora su vida útil
4	4A	No arranca la cinta transportadora	4A1	Correas de transmisión demasiado sueltas	Disminuye la potencia	Gasto innecesario de energía
			4A2	Falla eléctrica de alimentación	No permite el arranque del motor	No funciona el sistema de transporte
	4B	Ruidos y vibración excesiva	4B1	Rodamientos defectuosos	Vibraciones excesivas Calentamiento del sistema	Debilita y desajusta el sistema Fallas por esfuerzos térmicos
			4B2	Baja lubricación en los moto reductores	Baja eficiencia del sistema por exceso de fricción	Calentamiento de las partes móviles del sistema de trasmisión
4B3			Tornillos desajustados	Generan vibraciones y ruidos	Desajusta el sistema en general	
4C	No trasmite la potencia	4C1	Engranajes defectuosos	No trasmite la potencia eficientemente	El sistema no se mueve, puede ocasionar perdidas de material	
		4C2	Desacoplamiento del sistema	El motor se mueve pero el moto reductor no	Gasto innecesario de energía, no se aprovecha la gastada	
5	5A	Falla en la uniformidad de las mallas	5A1	Desgaste de la malla de filtrado	No tamiza el material debidamente	Altera la calidad del producto

Tabla 8 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de mandíbula

FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONCECUENCIAS
1 Fractura de material	1A Falla en el Pitman	1A1 Desgaste de los elementos	Presenta vibraciones por desajustes	Es más factible a fallar sin aviso
		1A2 Desajuste de excéntrico	No proporciona el ángulo de pellizco suficiente al material	Genera ruidos y se desgasta más rápido
		1A3 Placas de trituración desgastadas	No tritura bien el material	Baja la calidad de los productos
		1A4 Lubricación defectuosa	Se recalienta el sistema	Se desgastan más rápido las piezas móviles
	1B Baja potencia del motor	1B1 Sistema eléctrico insuficiente	Proporciona bajas eficiencias en la maquina	hace corto eléctrico por las exigencias
		1B2 Especificaciones del motor insuficientes	No suministra la potencia o rpm necesarias	Se quema el motor por requerimientos excesivos
	1C Transmisión de potencia insuficiente	1C1 Sistemas de correas desajustadas	Puede deslizarse y baja la efectividad de la transmisión de potencia	Baja la eficiencia de la maquina
		1C2 Desgaste de correas	Puede inhabilitar el sistema	falla y/o baja la eficiencia de la maquina
		1C3 Desgaste de poleas	Puede inhabilitar el sistema	Bajan la eficiencia de la maquina
	1D Taponamiento en el sistema de alimentación	1D1 Material demasiado grande	No deja fluir normalmente el material y baja la producción	Se puede detener la producción por obstaculización del material

	1E	Falla en la amortiguación	1E1	Resortes defectuosos	Puede aumentar vibraciones no deseadas en el sistema	Generan ruidos y vibraciones que debilitan el sistema
			1E2	Placas deslizantes con juego	No amortigua bien los movimientos de la mandíbula	Se generan sobre esfuerzos en las piezas móviles
			1E3	Barras de amortiguación desajustadas	Puede presentar juegos y baja la eficiencia de la amortiguación	Se generan sobre esfuerzos en las piezas móviles
	1F	Calentamiento del sistema	1F1	Lubricación insuficiente	Baja la lubricación aumentando la fricción	Se rayan las piezas móviles debilitando el sistema
			1F2	Exceso de impurezas en las piezas móviles	Genera fricción y desgaste en las piezas	Se rayan las piezas móviles debilitando el sistema
	2	2A	No arranca la cinta transportadora	2A1	Correas de transmisión demasiado sueltas	Disminuye la potencia
2A2				Falla eléctrica de alimentación	No permite el arranque del motor	No funciona el sistema de transporte
2B		Ruidos y vibración excesiva	2B1	Rodamientos defectuosos	Vibraciones excesivas	Debilita y desajusta el sistema
			2B2	Baja lubricación en los moto reductores	Calentamiento del sistema	Fallas por esfuerzos térmicos
			2B3	Tornillos desajustados	Baja eficiencia del sistema por exceso de fricción	Calentamiento de las partes móviles del sistema de trasmisión
2C		No trasmite la potencia	2C1	Engranajes defectuosos	Generan vibraciones y ruidos	Desajusta el sistema en general
			2C2	Desacoplamiento del sistema	No trasmite la potencia eficientemente	El sistema no se mueve, puede ocasionar pérdidas de material
				El motor se mueve pero el moto reductor no	Gasto innecesario de energía, no se aprovecha la gastada	

Tabla 9 Funciones, fallas y modos de falla de la trituradora de martillos

FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	CONCECUENCIAS
1 Fractura de material	1A Falla en el eje impactor	1A1 Desgaste de los elementos	Presenta vibraciones por desajustes	Es más factible a fallar sin aviso
		1A2 Juego en el acople eje/impactores	No proporciona el ángulo de pellizco suficiente al material	Genera ruidos y se desgasta más rápido
		1A3 Impactores de trituración desgastados	No tritura bien el material	Baja la calidad de los productos
		1A4 Lubricación defectuosa	Se recalienta el sistema	Se desgastan más rápido las piezas móviles
	1B Baja potencia del motor	1B1 Sistema eléctrico insuficiente	Proporciona bajas eficiencias en la maquina	Hace corto eléctrico por las exigencias
		1B2 Especificaciones del motor insuficientes	No suministra la potencia o rpm necesarias	Se quema el motor por requerimientos excesivos
	1C Transmisión de potencia insuficiente	1C1 Sistemas de correas desajustadas	Puede deslizarse y baja la efectividad de la transmisión de potencia	Baja la eficiencia de la maquina
		1C2 Desgaste de correas	Puede inhabilitar el sistema	Falla y/o baja la eficiencia de la maquina
		1C3 Desgaste de poleas	Puede inhabilitar el sistema	Bajan la eficiencia de la maquina
	1D Taponamiento en el sistema de alimentación	1D1 Material demasiado grande	No deja fluir normalmente el material y baja la producción	Se puede detener la producción por obstaculamiento del material

	1E	Falla en los impactores	<p>1E1 Martillos desgastados</p> <p>1E2 Tornillos de sujeción desajustados</p> <p>1E3 Pantallas de impacto desgastadas</p>	<p>Deja de fracturar eficientemente el material</p> <p>Presenta vibraciones y desgaste más rápido de las piezas impactores</p> <p>Deja de fracturar eficientemente el material</p>	<p>Baja la calidad de los productos</p> <p>Se desajustan las piezas y baja la eficiencia y eficacia del equipo</p> <p>Baja la calidad de los productos</p>
	1F	Calentamiento del sistema	<p>1F1 Lubricación insuficiente</p> <p>1F2 Exceso de impurezas en las piezas móviles</p>	<p>Baja la lubricación aumentando la fricción</p> <p>Genera fricción y desgaste en las piezas</p>	<p>Se rayan las piezas móviles debilitando el sistema</p> <p>Se rayan las piezas móviles debilitando el sistema</p>
2	2A	No arranca la cinta transportadora	<p>2A1 Correas de transmisión demasiado sueltas</p> <p>2A2 Falla eléctrica de alimentación</p>	<p>Disminuye la potencia</p> <p>No permite el arranque del motor</p>	<p>Gasto innecesario de energía</p> <p>No funciona el sistema de transporte</p>
	2B	Ruidos y vibración excesiva	<p>2B1 Rodamientos defectuosos</p> <p>2B2 Baja lubricación en los moto reductores</p> <p>2B3 Tornillos desajustados</p>	<p>Vibraciones excesivas</p> <p>Calentamiento del sistema</p> <p>Baja eficiencia del sistema por exceso de fricción</p> <p>Generan vibraciones y ruidos</p>	<p>Debilita y desajusta el sistema</p> <p>Fallas por esfuerzos térmicos</p> <p>Calentamiento de las partes móviles del sistema de trasmisión</p> <p>Desajusta el sistema en general</p>

	2C	No trasmite la potencia	2C1 Engranajes defectuosos	No trasmite la potencia eficientemente	El sistema no se mueve, puede ocasionar perdidas de material
			2C2 Desacoplamiento del sistema	El motor se mueve pero el moto reductor no	Gasto innecesario de energía, no se aprovecha la gastada
3	Lavado de material	3A	Bajo caudal en los aspersores	3A1 Tapada las salidas de los aspersores	No sale suficiente agua No permite el lavado esperado No envía caudal suficiente para el lavado
				3A2 Falla de la bomba	No llega a las aspersores el caudal suficiente o a baja presión
			3A3 Potencia baja de la bomba	No proporciona la columna de agua adecuada para el sistema	Perdida de material dentro del proceso por falta de lavado
			3A4 Fugas en las tuberías	Escape del fluido perdiendo presión No llega el suficiente caudal a los aspersores	
			3A5 Tapado la línea de absorción de la bomba	Disminuye el caudal a impulsar	
	3B	Falla en la vibración de la zaranda	3B1 Motor eléctrico defectuoso	No genera las RPM requeridas	Se baja la eficiencia de la zaranda por las bajas revoluciones
3B2 Excéntrico defectuoso			No ocasiona el vibrado esperado	No permite el tamizado correcto del material	
3B3 Amortiguación defectuosa			Aumenta fallas por falta de amortiguación	Genera ruidos y desgastes de la maquina	

			Debilita la estructura con fisuras por vibración	Disminuye la vida útil del sistema
	3C Falla en las mallas previas al triturador	3C1 Desgaste de la malla de filtrado	No tamiza el material debidamente	Altera la calidad del producto
4 Clasificación del material	4A Falla en la uniformidad de las mallas	4A1 Desgaste de la malla de filtrado	No tamiza el material debidamente	Altera la calidad del producto

### 7.6.1 Tareas proactivas e intervalos de tareas

¿Qué se debe hacer para atender cada una de las fallas?

La realización de las tareas debe tener un carácter muy objetivo dependiendo de la atención que se deba desempeñar en cada modo de falla, inicialmente se sugiere seccionar o categorizar cada modo según sea su consecuencia, se encuentran cuatro categorías,

- Consecuencia de falla oculta
- Consecuencia para la seguridad o el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

### 7.6.2 Diagrama de Decisión

La metodología RCM presenta un diagrama de decisiones que se tiene en cuenta para determinar las tareas que se le debe realizar al equipo con aras de disminuir o minimizar las posibles fallas que lleven a problemas en la compañía, este diagrama se denomina, diagrama de decisiones, tomado de Mounbray Jhon. Desarrollando el dicho diagrama junto con el personal encargado del mantenimiento en la empresa, se le dio a cada uno de los modos de falla su respectiva evaluación.

Dentro de esta tabla se encuentra implícitamente la categoría del modo de falla que se le asigno o que era propiamente de cada modo de falla, Las siguientes tablas muestran el resultado que se obtuvo de esta calificación para cada una de las maquinas críticas.

Tabla 10 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de cono

MODO DE FALLA	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	INTERVALO	ENCARGADO	TAREA	
					S1	S2	S3							
					O1	O2	O3							
					N1	N2	H3							
1	1A	1A1	N			S					MENSUAL	TECNICO	INSPECCIONAR ESTADO DEL CONO Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1A2	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	INSPECCIONAR ESTADO DE MUELLES Y CAMBIAR SI ES NECESARIO
		1A3	S	N	N	S	S					DIARIO	OPERARIO	INSPECCIONAR Y LIMPIAR
	1B	1B1	N				N	S				MENSUAL	TECNICO	REALIZAR MANTENIMIENTO RESPECTIVO
		1B2	N				S					TRIMESTRAL	TECNICO	INSPECCIONAR Y CORREGIR SI ES NECESARIO
		1B3	S	N	N	N	S					TRIMESTRAL	TECNICO	INSPECCIONAR Y CORREGIR SI ES NECESARIO
		1B4	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	TECNICO	REVISAR Y ADICIONAR LUBRICANTE SI ES NECESARIO
		1B5	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR LUBRICANTE
	1C	1C1	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	TECNICO	REVISAR Y ADICIONAR LUBRICANTE SI ES NECESARIO
		1C2	S	N	N	S	S					SEMESTRAL	TECNICO	CONECTAR EL MOTOR DE FORMA CORRECTA SI ES NECESARIO
		1C3	N				S					MENSUAL	OPERARIO	PURGAR EL CIRCUITO SI ES NECESARIO
		1C4	S	N	N	S	S					MENSUAL	OPERARIO	CAMBIAR ACEITE
		1C5	S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	OPERARIO	LIMPIAR LINEA QUE ESTE TAPONADA SI ES NECESARIO
1C6		S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR EL ACOPLAMIENTO	
1C7		N				S					MENSUAL	TECNICO	INSPECCIONAR Y CAMBIAR MOTOR SI ES REQUERIDO	
1C8		N				N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	INSPECCIONAR Y REPARAR SI ES NECESARIO	
1C9		N				N	N	N	S			INMEDIATO	TECNICO	INSTALAR PIEZAS QUE CUMPLAN LOS REQUERIMIENTOS
1C10		N				N	N	S			TRIMESTRAL	OPERARIO	CAMBIAR FILTROS Y LIMPIAR TUBERIAS	

1	1D	1D1	N			S					MENSUAL	OPERARIO	CAMBIAR EL ACEITE POR EL QUE CUMPLA LAS ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	
		1D2	S	N	N	S	S				MENSUAL	OPERARIO	DESMONTAR Y REPARAR SI ES NECESARIO, REVISAR RODAMIENTOS	
		1D3	S	N	N	S	S				MENSUAL	OPERARIO	AJUSTAR VELOCIDAD OPTIMA DEL MOTOR	
	1E	1E1,	N			N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1E2,	N			S					MENSUAL	OPERARIO	AJUSTAR TORNILLERIA DEL ACOPLAMIENTO	
		1E3,	N			S					TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
	1F	1F1	N			S					TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1F2	S	N	N	S	S				MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y PUGAR EL SISTEMA DE SER NECESARIO	
		1F3	N			N	N	N	S		MENSUAL	OPERARIO	ANALISAR EL DESGASTE DEL EQUIPO Y CAMBIAR EL ACEITE SI ES NECESARIO	
	1G	1G1	N			N	N	N	S		INMEDIATO	TECNICO	DISEÑAR RESPIRADERO DE LA CAJA	
		1G2	N			N	N	S			TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1G3	S	N	N	S	N	N	S		MENSUAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
	1H	1H1	N			S					TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR PRESIONES DEL TRITURADOR	
		1H2	S	N	N	N	N	N	S		SEMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR SELLOS	
		1H3	S	N	N	N	N	N	S		SEMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR SELLOS	
	2	2A	2A1	S	N	N	S	N	N	N		DEJAR FALLAR	OPERARIO	LIMPIAR LAS SALIDAS
			2A2	S	N	N	S	N	N	N		DEJAR FALLAR	TECNICO	REPARAR BOMBA
			2A3	S	N	N	S	N	N	N		DEJAR FALLAR	TECNICO	REPARAR BOMBA
2A4			S	N	N	S	N	N	N		DEJAR FALLAR	OPERARIO	CORREGIR FUGAS	
2A5			S	N	N	S	S				TRIMESTRAL	OPERARIO	LIMPIAR LINEA DE SUCCIÓN	
2B		2B1	S	N	N	S	N	N	S		TRIMESTRAL	TECNICO	REPARAR MOTOR	
		2B2	S	N	N	S	N	N	S		TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		2B3	S	N	N	S	N	N	S		TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
2C		2C1	S	N	N	S	N	N	S		TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y SOLDAR PIEZAS QUE LO REQUIERAN	
3	3A	3A1	N			N	N	S		MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR LAS CORREAS DE SER NECESARIO		

4	3A	3A2	S	N	N	S	N	N	S			DIARIO	OPERARIO	REVISAR Y LIMPIAR DE SER NECESARIO	
		3A3	N				S					TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CORREGIR FALLAS ELECTRICAS	
		3A4	N				S					TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CORREGIR FALLAS ELECTRICAS	
	3B	3B1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		3B2	S	N	N	S	N	N	S			SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR TORNILLERIA	
		3B3	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO	
	3C	3C1	S	N	N	N	S					SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y LIMPIAR DE SER NECESARIO	
		3C2	S	N	N	N	S					SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y DESALOJAR MATERIAL DE SER NECESARIO	
		3C3	S	N	N	N	S					DIARIO	OPERARIO	REVISAR TIPO DE CARGA	
		3C4	S	N	N	N	S					MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y LIMPIAR DE SER NECESARIO	
		3C5	S	N	N	S	S					MENSUAL	OPERARIO	REVISAR MANUAL DE OPERACIÓN	
	3D	3D1	S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	TECNICO	AJUSTAR VELOCIDAD DE LA NORIA	
	3E	3E1,	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	ADICIONAR LUBRICANTE DE SER NECESARIO	
	4	4A	4A1	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO
			4A2	S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y CORREGIR PROBLEMA ELECTRICO
4B		4B1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO	
		4B2	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	ADICIONAR LUBRICANTE DE SER NECESARIO	
		4B3	S	N	N	S	N	N	S			SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR TORNILLERIA DE SER NECESARIO	
4C		4C1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO	
	4C2	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO		

Tabla 11 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de mandíbula

MODO DE FALLA	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	INTERVALO	ENCARGADO	TAREA	
					S1	S2	S3							
					O1	O2	O3							
					N1	N2	H3							
1	1A	1A1	N			N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1A2	N			N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
		1A3	N			N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR FRONTALES Y LATERALES
		1A4	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y ADICIONAR LUBRICANTE SI ES NECESARIO
	1B	1B1	S	N	N	S	S					SEMANAL	TECNICO	REVISAR Y AJUSTAR A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
		1B2	S	N	N	S	S					SEMANAL	TECNICO	REVISAR Y AJUSTAR A ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	1C	1C1	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	AJUSTAR A LA TENCIÓN REQUERIDA
		1C2	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	OPERARIO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO
		1C3	S	N	N	S	N	N	S			ANUAL	OPERARIO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO
	1D	1D1	S	N	N	S	S					DIARIO	OPERARIO	LIMPIAR MALLA DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN
	1E	1E1	S	N	N	S	N	S				SEMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO
		1E2	S	N	N	S	N	S				ANUAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO
		1E3	S	N	N	S	S					MENSUAL	TECNICO	REVISAR Y AJUSTAR SI ES NECESARIO
	1F	1F1	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y ADICIONAR LUBRICANTE SI ES NECESARIO
1F2		S	N	N	S	S					SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y LIMPIAR SI ES NECESARIO	
2	2A	2A1	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO
		2A2	S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CORREGIR PROBLEMA ELÉCTRICO
	2B	2B1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO
		2B2	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	ADICIONAR LUBRICANTE DE SER NECESARIO
		2B3	S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR TORNILLERÍA DE SER NECESARIO
	2C	2C1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO
2C2		S	N	N	S	N	N	S			MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO	

Tabla 12 Resultado de diagrama de decisiones para la trituradora de martillos

MODO DE FALLA	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	INTERVALO	ENCARGADO	TAREA		
					S1	S2	S3								
					O1	O2	O3								
					N1	N2	H3								
1	1A	1A1	S	N	N	S	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO	
		1A2	N				S					SEMANAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO	
		1A3	S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR IMPACTORES
		1A4	S	N	N	S	N	N	S				MENSUAL	OPERARIO	LUBRICAR PIEZAS MOVILES
	1B	1B1	N				S					MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y ACONDICIONAR A REQUERIMIENTOS	
		1B2	N				S					MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y ACONDICIONAR A REQUERIMIENTOS	
	1C	1C1	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	TENSIONAR CORREAS	
		1C2	S	N	N	S	N	N	S			SEMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR CORREAS DE TRANSMISION DE POTENCIA	
		1C3	S	N	N	S	N	N	S			ANUAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO	
	1D	1D1	S	N	N	S	S					DIARIO	OPERARIO	REVISAR Y LIMPIAR DE SER NECESARIO	
	1E	1E1,	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	CAMBIAR IMPACTORES	
		1E2,	N				N	S				MENSUAL	OPERARIO	AJUSTAR TORNILLERIA	
		1E3,	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR PANTALLAS DE SER NECESARIO	
	1F	1F1	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	LUBRICAR PIEZAS MOVILES	
1F2		S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	LIMPIAR IMPUREZAS DEL LUBRICANTE Y ADICIONAR SI ES NECESARIO		
2	2A	2A1	S	N	N	S	N	S				MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO	
		2A2	S	N	N	S	S					TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CORREGIR PROBLEMA ELECTRICO	
	2B	2B1	S	N	N	S	N	N	S			TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO	

3	2C	2B2	S	N	N	S	N	N	S				MENSUAL	OPERARIO	ADICIONAR LUBRICANTE DE SER NECESARIO
		2B3	S	N	N	S	N	N	S				MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR TORNILLERIA DE SER NECESARIO
		2C1	S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR DE SER NECESARIO
		2C2	S	N	N	S	N	N	S				MENSUAL	OPERARIO	REVISAR Y AJUSTAR DE SER NECESARIO
	3A	3A1	S	N	N	S	N	N	N				DEJAR FALLAR	OPERARIO	LIMPIAR LAS SALIDAS
		3A2	S	N	N	S	N	N	N				DEJAR FALLAR	TECNICO	REPARAR BOMBA
		3A3	S	N	N	S	N	N	N				DEJAR FALLAR	TECNICO	REPARAR BOMBA
		3A4	S	N	N	S	N	N	N				DEJAR FALLAR	OPERARIO	CORREGIR FUGAS
		3A5	S	N	N	S	S						TRIMESTRAL	OPERARIO	LIMPIAR LINEA DE SUCCIÓN
	3B	3B1	S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REPARAR MOTOR
3B2		S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
3B3		S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR SI ES NECESARIO	
3C	3C1	S	N	N	S	N	N	S				TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y SOLDAR PIEZAS QUE LO REQUIERAN	
4	4A	4A1	S	N	N	N	S					TRIMESTRAL	TECNICO	REVISAR Y CAMBIAR PIEZAS QUE SEAN NECESARIAS	

En la anterior tabla se encuentra la solución al diagrama de decisiones, las primeras cuatro columnas se refieren a la información del modo de falla, las siguientes diez columnas son la respuesta a las preguntas planteadas por el diagrama y las últimas tres son las referentes a la frecuencia a la que se debe realizar cada tarea o en su defecto se determina si no es necesario una estrategia de mantenimiento programado, también se dice quién es el encargado de realizar dicha tarea.

Las columnas tituladas con H, S, E, O y N son las que determinan en que categoría de consecuencia se encuentra cada modo de falla.

La titulada con H1, S1, O1, N1 son usadas para determinar si se puede asignar una tarea a condición apropiada para anticipar ese modo de falla y evitar las consecuencias.

La titulada con H2, S2, O2, N2 es usada para determinar si se encontró una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiado para prevenir las fallas.

Las columnas tituladas con H3, S3, O3, N3 son las utilizadas para la determinación de sustituciones cíclicas con el fin de evitar las fallas.

Las H4, H5 y S4 son registradas para resolver las preguntas características a cada uno.

## 7.7 RESULTADOS DE LA METODOLOGIA RCM

El método aplicado para determinar las tareas proactivas necesarias para el mantenimiento preventivo basado en confiabilidad (RCM) reveló en general que para cada una de las maquinas es posible analizar su operación y definir una posible causa y darle solución si es llegado el caso de fallar, es necesario seguir rigurosamente los planes diseñados para aumentar su confiabilidad y darle a la empresa una seguridad para realizar sus trabajos sin peligros a una parada inesperada.

El sistema que mayor atención requiere por el departamento de mantenimiento es el sistema de trituración. Para cada una de las maquinas este sistema es el que mayor desgaste y problemas tiene desde el punto de vista operacional.

En las anteriores tablas se pueden identificar todos los problemas que pueden llegar a hacer fallar la máquina y también se muestra su posible causa dándole una solución, este procedimiento es de mucha importancia porque permite actuar bajo criterios confiables y reducir tiempos en la búsqueda del posible daño.

La trituradora de cono presenta 63 modos de falla, es la máquina que mayor modos de falla tiene porque tiene sistemas que las otras dos máquinas no poseen lo que hace que sea la maquina más completa.

La trituradora de Mandíbula es la máquina que menos modos de falla tiene, esto se debe a que es usada como trituradora primaria, es decir, que es utilizada para pre-partir la piedra y ser enviada a la trituradora de cono, es esta sencilla razón la que no deja que sea muy complejo su funcionamiento.

La trituradora de martillos posee 32 modos de falla y es una máquina que se puede categorizar como completa pero su modo de operación es bastante específico y sencillo lo que no permite que sea complejo su análisis.

Luego de analizar todos los modos de falla de cada una de las maquinas por el método de Mounbray Jhon se determinó las rutinas de mantenimiento teniendo en cuenta los criterios de los operarios y el personal especializado del mantenimiento de dichos equipos, se encuentran rutinas semanales, mensuales trimestrales, semestrales y anuales.

## 8. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 8.1 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Para poder observar las ventajas que brindara el plan de mantenimiento, se debe realizar una puesta a punto de toda la maquinaria de la compañía, el costo total se presenta a continuación.

*Tabla 13 Costos de puesta a punto*

ITEM	CONCEPTO	VALOR	TOTAL
VOLQUETA	Cambio de llantas Cambio de rodamientos Cambios de aceites y valvulina Repuestos internos Mano de obra	\$ 150.000.000 \$ 2.160.000 \$ 3.250.000 \$ 15.000.000 \$ 70.000.000	\$240.000.000
MAQUINARIA AMARILLA	Ajuste general Cambio de batería Liquido de sistema hidráulico Repuestos internos Mano de obra	\$ 35.000.000 \$ 6.000.000 \$ 4.800.000 \$ 12.000.000 \$ 4.000.000	\$ 61.800.000
SOFTWARE	Ajuste de computadora Mano de obra Complementos	\$ 70.000 \$ 2.100.000 \$ 30.000	\$ 2.200.000
CONTRATOS	Contratación a terceros para tareas de mantenimiento que no realiza la empresa.	\$ 520.000.000	\$ 520.000.000

TRITURADORAS	Sistema de trituración	\$ 120.000.000	\$ 382.000.000
	Sistema hidráulico	\$ 36.500.000	
	Bandas transportadoras	\$ 26.500.000	
	Repuestos internos	\$ 134.000.000	
	Mano de obra	\$ 65.000.000	
			\$ 1206.000.000

## 8.2 TAZA INTERÉS-RETORNO

La TIR (tasa de retorno a la inversión) se puede definir de una manera sencilla como la tasa de interés a la cual se recupera una inversión.

El criterio de decisión consistirá en comparar la TIR del proyecto con la tasa de interés mínima deseada para el proyecto (i)

TIR = i, la inversión es indiferente.

TIR > i, la inversión es aceptable.

TIR < i, la inversión es rechazable.

Para poder calcular la TIR se iguala el  $V_p n$  (valor presente neto) a cero y de esta forma se puede analizar mejor la inversión inicial contra la TIR. La ecuación que se utilizo es la siguiente:

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I$$

$F_t$  Es el flujo de caja en el periodo t

N es el número de periodos

I inversión inicial

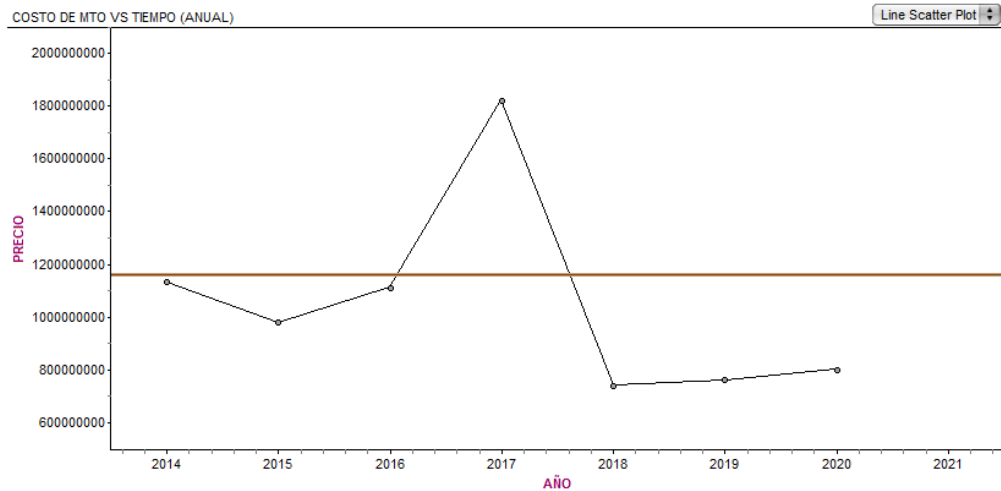
*Tabla 14 Periodos con flujos de caja e inversión*

PERIODO	FLUJO DE CAJA	INVERSIÓN
1	\$ 90.200.000	\$ 1206.000.000
2	\$ 84.420.000	\$ 1206.000.000
3	\$ 93.435.500	\$ 1206.000.000
4	\$ 78.328.200	\$ 1206.000.000
5	\$ 102.123.400	\$ 1206.000.000
6	\$ 96.243.200	\$ 1206.000.000
7	\$ 87.546.000	\$ 1206.000.000
8	\$ 91.367.000	\$ 1206.000.000
9	\$ 78.475.800	\$ 1206.000.000
10	\$ 112.328.500	\$ 1206.000.000
11	\$ 106.590.300	\$ 1206.000.000
12	\$ 103.298.600	\$ 1206.000.000

Para los datos anteriores se calculó la TIR=4,7 % con periodos trimestrales.

A continuación se presenta la tabla de costo de mantenimiento contra el tiempo expresado en años, los datos a partir del año 2017 son los esperados después de implementar el plan de mantenimiento. La línea marrón horizontal representa la media del costo de los mantenimientos anteriores a la implementación del plan.

Figura 21 Grafica de gastos VS años



Como se puede observar en la gráfica el costo inicial del plan de mantenimiento en el año 2017 tiene un valor bastante alto ya que prácticamente duplica la media de los mantenimientos anteriores, pero el valor del mantenimiento a partir de este año empieza a disminuir notoriamente hasta estabilizarse en un valor bastante menor que los mantenimientos antes de implementar el plan.

## 9. CONCLUSIONES

- Del análisis de criticidad se puede determinar que hay 5 equipos críticos de 32 analizados, estos equipos están dentro del departamento de producción que comprenden las maquinas trituradoras de piedra, entre ellas la tipo cono, mandíbula y martillos.
- Con la codificación de los activos se demostró mayor facilidad de identificación de los equipos para el personal.
- El análisis RCM realizado a los equipos críticos arrojó que el sistema que más presenta fallos y afecta importantemente la operatividad de la compañía es el sistema de trituración, este sistema es el que muestra mayores esfuerzos mecánicos y de desgaste.
- El sistema hidráulico de la trituradora de cono es el segundo sistema que más impacta la operatividad de la máquina, se recomienda seguir pautas del plan de mantenimiento para evitar fallas funcionales.
- Los impactores de la trituradora de martillos son el principal elemento de monitoreo por el operador, su funcionamiento es vital para la máquina y estas piezas son las que están sometidas a los mayores esfuerzos, junto con las pantallas.
- Se halló déficit en la documentación manejada en la compañía ya que no se tiene registro de los mantenimientos que se realizan a la maquinaria, así como los repuestos que se utilizan en cada mantenimiento o quien los realiza. Solo el 20% de las operaciones que se realizan a la maquinaria queda registrada y ningún registro de que operador ejecuto la acción.
- No se encontró ningún sistema de información que responda a las necesidades de la compañía, todas las actividades que se registran quedan guardadas en físico, originando problemas en el momento de buscar la información ya que se pierde tiempo y se corre el riesgo de perderse.
- Se encontró que el costo de mantenimiento para los años anteriores es bastante elevado, ya que para el 2015 se gastaron \$453.500.000 millones en mantenimiento de la maquinaria amarilla, \$333.000.000 en la flota de

volquetas y \$346.000.000 en las trituradoras sumando un total de \$1132.500.000, valor que se mantendría para el año siguiente ya que en el 2016 se gastó \$1186.700.000. Se espera que con la puesta a punto de la maquinaria y aplicando del RCM se establezca en una cifra cercana a los \$800.000.000 millones.

- El sistema de información realizado organizó la documentación presente en la compañía teniendo en cuenta los inventarios de bodega, fichas técnicas, rutinas de mantenimiento y facilitó el registro sobre el historial de cada uno de los equipos.

## BIBLIOGRAFIA

- BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de mantenimiento. Material docente. (2013: Bucaramanga). Lecturas y diapositivas de la asignatura ingeniería de mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2013. 291p.
- MATEUS PARRA, Jairo y PÀEZ CASAS, Juan Carlos. Desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada y vehículos de transporte del municipio de LA PAZ SANTANDER. Trabajo de grado ingeniero mecánico: Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica 2015.
- PEDRAZA NUÑEZ, Aris Heitson y ORTIZ RUIZ, Edwin. Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para la planta de triturado y maquinaria pesada, empresa latinoamericana de construcciones S.A. (LATINCO S.A.), Sector Curos-Málaga (Santander). Trabajo de grado ingeniero mecánico: Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica 2016.
- VALENCIA QUINTERO, Carlos Antonio y MORERA ARDILA, Víctor Hugo. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de concreto hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado ingeniero mecánico: Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica 2013.
- V.S. Deshpande, J.P. Modak. Application of RCM to a médium scale industry. En: Reliability Engineering and system safety. Nagpur, Maharashtra, 31 diciembre 2001. 13 pág.