



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**“OPTIMIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE ALIMENTADORES  
DE PLACAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO  
BASADO EN CONDICIÓN, EN LA PLANTA GOLD MILL EN  
MINERA YANACOCCHA S.R.L. CAJAMARCA - 2015”**

PRESENTADA POR EL BACHILLER:

**VILLEGAS PEREYRA, ARQUIMIDES**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2016**

**A:**

Mis padres, y en especial a la memoria de mi madre, quien vio y alentó el desarrollo de este trabajo de tesis, pero no pudo estar presente físicamente para verlo concluido. Dedicado a ellos, quienes tuvieron la paciencia de formarme y darme un amor incondicional e incomparable, además del ejemplo de trabajo, honradez, perseverancia, amor a Dios y actitud hacia el prójimo.

**Arquímedes.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, ser el manantial de vida y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis hermanos, familiares y amigos que durante los cinco años de estudios universitarios compartieron conmigo experiencias, conocimientos y logros que me ayudaron a lograr mi meta.

Al Ing. Luis Vílchez Flores, líder del área de ingeniería de mantenimiento de procesos en MINERA YANACOCHA S.R.L. quien siempre me brindó las facilidades, la información y orientación para la realización de la presente tesis.

**El Autor**

## **RECONOCIMIENTO**

A la Facultad Ingeniería Mecánica de la Universidad Alas Peruanas, quienes supieron impartir y compartir conocimiento y experiencias diversas que me han servido en muchos otros aspectos de la vida, y estoy seguro de que no solamente a mí, sino también a todos mis compañeros y amigos.

Al asesor de tesis Ing. Aníbal Ordinola Luján por la asesoría y orientación brindada en el desarrollo de la presente tesis.

**El Autor.**

# ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Reconocimiento.....	iii
Resumen:.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación:.....	3
1.2.1. Delimitación Espacial.....	3
1.2.2. Delimitación Social.....	3
1.2.3. Delimitación Temporal.....	3
1.2.4. Delimitación Conceptual.....	4
1.3. Problemas de Investigación.....	4
1.3.1. Problema Principal.....	4
1.3.2. Problemas Secundarios.....	4
1.4. Objetivos de la Investigación.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación.....	5
1.5.1. Hipótesis General.....	5
1.5.2. Hipótesis Secundarias.....	5
1.5.3. Variables (Definición Conceptual y Operacional).....	5
1.6. Metodología de la Investigación.....	6
1.6.1. Tipo y Nivel de la Investigación.....	6
a) Tipo de Investigación.....	6
b) Nivel de investigación.....	6
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	7
a) Método de la investigación.....	7

b) Diseño de la investigación.....	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación .....	7
a) Población.....	7
b) Muestra .....	7
1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	8
a) Técnicas .....	8
b) Instrumentos.....	8
1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación. .	8
a) Justificación.....	8
b) Importancia.....	9
c) Limitaciones .....	9
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. Antecedentes del Problema.....	10
2.2. Bases Teóricas. ....	13
2.3. Definición de Términos Básicos.....	46
<b>CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
3.1. Resultados de la Investigación .....	49
3.2. Análisis de Resultados.....	85
3.3. Interpretación de Resultados .....	96
<b>CAPÍTULO IV: CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>97</b>
3.4. Prueba de Hipótesis General .....	97
3.5. Prueba de Hipótesis Secundarias.....	97
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>99</b>
a. Conclusiones .....	99
b. Recomendaciones .....	100
c. Referencias.....	101
Anexos.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura: 1 Planta de procesos Gold Mill – Yanacocha - 2016 .....	2
Figura: 2 Alimentador de placas (Apron Feeder) .....	2
Figura: 3 Planta de Procesos Gold Mill – Yanacocha .....	14
Figura: 4 Proceso Gold Mill – Yanacocha .....	14
Figura: 5 Imagen satelital de la Planta Gold Mill – Yanacocha .....	19
Figura: 6 Alimentador de placas (Apron feeder).....	20
Figura: 7 Nuevas expectativas de mantenimiento.....	28
Figura: 8 Nuevas investigaciones de mantenimiento .....	29
Figura: 9 Cambios en las Técnicas de Mantenimiento.....	29
Figura: 10 Diez mejores prácticas del mantenimiento de clase mundial.....	32
Figura: 11 Aspectos de la confiabilidad operacional .....	33
Figura: 12 Curva P-F.....	35
Figura: 13 Curva P-F (intervalo de intervención del MBC).....	35
Figura: 14 EPOCH 4 para mediciones ultrasónicas .....	39
Figura: 15 Tiempos de mantenimiento.....	44
Figura: 16 Equipo de ultrasonido .....	55
Figura: 17 Pirómetro .....	55
Figura: 18 Juego de Herramientas del servicio especial de cadenas .....	56
Figura: 19 Descripción de herramientas del servicio especial de cadenas .....	56
Figura: 20 Medición con medidor de profundidad en Eslabón .....	59
Figura: 21 Medición con ultrasonido en Eslabón.....	59
Figura: 22 Medición Ultrasónica de Bujes.....	63
Figura: 23 Medición con Calibrador de Bujes. ....	63
Figura: 24 Medición mediante el indicador de desgaste .....	66
Figura: 25 Medición mediante el indicador de desgaste .....	67
Figura: 26 Medición de la rueda guía con medidor de profundidad .....	69
Figura: 27 Medición de la rueda guía con ultrasonido.....	69
Figura: 28 Medición de desgaste de rodillos con calibrador .....	72
Figura: 29 Posición correcta del calibrador .....	72
Figura: 30 Medida del punto de mayor desgaste .....	73
Figura: 31 Medición de rodillos mediante ultrasonido .....	73

	Pág.
Figura: 32 Indicador de desgaste de sprocket .....	76
Figura: 33 Identificación de desgaste de la rueda motriz .....	76
Figura: 34 Identificación de desgaste de la rueda motriz .....	77
Figura: 35 Disponibilidad Operativa Antes .....	87
Figura: 36 Disponibilidad operativa Después .....	88
Figura: 37 Tendencia de Desgaste de los Eslabones .....	89
Figura: 38 Tendencia de Desgaste de Bujes. ....	90
Figura: 39 Tendencia de desgaste en Artesas.....	91
Figura: 40 Tendencia de desgaste en la ruela guía .....	92
Figura: 41 Tendencia de desgaste de rodillos .....	93
Figura: 42 Vida útil antes y después .....	94
Figura: 43 Compra vs Mantenimiento .....	95
Figura: 44 Formato de informe de inspección .....	105
Figura: 45 Informe de inspección de Alimentador N°1. ....	106
Figura: 46 Informe de inspección de Alimentador N° 2. ....	107
Figura: 47 Informe de inspección de Alimentador N° 3. ....	108
Figura: 48 Informe de Inspección.....	109
Figura: 49 Informe de Inspección Alimentador N° 1.....	110
Figura: 50 Informe de Inspección Alimentador N° 2.....	111
Figura: 51 Informe de Inspección Alimentador N° 3.....	112
Figura: 52 Equipos de Ultrasonido .....	113
Figura: 48 Calibración de equipo Ultrasonido. ....	113
Figura: 49 Herramientas del Servicio Especial de Cadenas .....	114
Figura: 50 Inspección de Rueda Guía (sprocket).....	115
Figura: 51 Inspección de chute y Artesas .....	115
Figura: 52 Inspección de rodillos, bujes y eslabones .....	115
Figura: 53 Monitoreo de los equipos en estudio Gold Mill - 2015.....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Definición conceptual y operacional. ....	6
Tabla 2. Especificaciones Técnicas de la Muestra.....	50
Tabla 3. Disponibilidad Operativa de los alimentadores de placas .....	51
Tabla 4. Disponibilidad anual histórica.....	52
Tabla 5. Límites de desgaste en eslabones .....	61
Tabla 6. Modelos de Cadenas .....	62
Tabla 7. Porcentajes de Desgaste de Bujes .....	64
Tabla 8. Porcentajes de desgaste de las Artesas .....	68
Tabla 9. Porcentajes de desgaste de la Rueda Guía .....	71
Tabla 10. Porcentajes de desgaste de los Rodillos.....	74
Tabla 11. Costo de Mantenimientos Correctivos 2012 - 2015 .....	82
Tabla 12. Disponibilidad de alimentadores de placas. ....	86
Tabla 13. Análisis de disponibilidad antes .....	86
Tabla 14. Análisis de Disponibilidad Después.....	87
Tabla 15. Vida útil de los componentes .....	94
Tabla 16. Costo de mantenimiento .....	95
Tabla 17. Evaluación de repuestos .....	95

## RESUMEN:

La presente tesis fue realizada con la finalidad de optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas, mediante la aplicación del mantenimiento basado en condición, en la planta Gold Mill de minera Yanacocha S.R.L., a fin de disminuir las horas de parada no programadas, incrementar la vida útil, la productividad y minimizar los costos asociados al mantenimiento. El mantenimiento basado en condición (MBC), consiste en realizar mediciones sistemáticas de las variables operacionales de un activo. Al monitorear y registrar, mediante inspecciones periódicas, parámetros claves en el desempeño del activo, como variables operacionales, niveles de vibraciones, ruidos ultrasónicos, estado del lubricante, tiempo entre fallas, desgastes; es posible obtener patrones o señales que al analizarlas, permiten determinar la condición del equipo, y de esta manera poder planificar actividades de mantenimiento específicas y programar el momento oportuno para la intervención de dicho equipo, antes de que las fallas presenten un riesgo para la seguridad, el medio ambiente, la integridad de los equipos y así garantizar la continuidad del proceso productivo. Para lograr esto, primero se realizó un diagnóstico de la situación de los activos y una recopilación de información técnica. Luego, se determinaron las técnicas y herramientas a utilizar, y a partir de ellas se determinaron los procedimientos de inspección y otros aspectos claves como: técnicas de toma de datos, límites de operación y porcentajes de desgaste permitido. Una vez diseñado todo el programa, se procedió a su ejecución, dando como resultado la detección de diversos problemas que, de no ser corregidos a tiempo, pueden originar fallas que impactarían significativamente en la producción, seguridad y medio ambiente. Se logró incrementar en un 12% la disponibilidad y entre el 30% y 60% vida útil de los activos, Además, se determinó que la utilización del MBC como filosofía a utilizar en los alimentadores de placas, obtuvo un beneficio económico para la empresa de S/. 1359402.34, a lo largo del tiempo de estudio que se realizó desde septiembre de 2015 a Marzo de 2016.

**Palabras claves:** Mantenimiento Basado en Condición, disponibilidad, vida útil, ultrasonido.

## **ABSTRACT.**

This thesis was conducted in order to optimize the availability of apron feeders, through the application of condition-based maintenance in the Gold Mill Yanacocha mining plant S.R.L. in Cajamarca, in order to reduce unscheduled stop times, increase the service life, productivity and minimize costs associated with maintenance. The condition-based maintenance (CBM), is to perform systematic measurements of operational variables of an asset. By monitoring and recording, through regular checks, key parameters in the asset's performance, and operational variables, levels of vibration, ultrasonic noise, lubricant condition, time between failures, wear; it is possible to obtain patterns or signals when analyzed, can determine the condition of the equipment, and thus to plan activities specific maintenance and schedule the appropriate time for the intervention of such equipment before failures present a security risk , the environment, the integrity of the equipment and thus ensure the continuity of the production process. To accomplish this, first a diagnosis of the condition of assets and a collection of technical information was performed. Then, techniques and tools used were determined, and from these inspection procedures and other key aspects were identified: data collection techniques, operating limits and percentages of wear allowed. Once designed the whole program, we proceeded to execution, resulting in the detection of various problems that, if not corrected in time, can cause failures that would impact significantly on production, safety and environment. It was possible to increase by 12% availability and between 30% and 60% useful life of assets, it was also determined that the use of the MBC as a philosophy to use in apron feeders, obtained an economic benefit for the company S /. 1359402.34 (soles), over time study conducted from September 2015 to March 2016.

**Keywords:** Condition Based Maintenance, availability, shelf life, ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas se desenvuelven en un ambiente muy competitivo, ya que es necesario incrementar la rentabilidad, es por ello que el conocimiento de las últimas tendencias y filosofías en ingeniería de mantenimiento se ha convertido en uno de los pilares estratégicos para alcanzar una mejora en la eficiencia y productividad. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación analiza las oportunidades de mejora para optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L.

Y la pregunta específica es: ¿Cómo optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas, aplicando el mantenimiento basado en condición en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca - 2016?

Teniendo el siguiente objetivo: Demostrar que la aplicación del mantenimiento basado en condición como filosofía optimizará la disponibilidad de los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca – 2016.

La hipótesis es la siguiente: Al aplicar el mantenimiento Basado en Condición en los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha se logrará optimizar la disponibilidad así como también un ahorro económico significativo.

La justificación del presente trabajo es debido a la ausencia de un plan de mantenimiento como son las hojas de vida, límites de retiro de los componentes, se detectó la necesidad de implementar el MBC, la importancia del presente trabajo radica en que actualmente existen diversos programas de mantenimiento avocados a obtener el mayor rendimiento productivo de activos, esta condición de productividad será afectada por el número y tiempos de paradas por la realización de actividades de mantenimiento correctivo inesperados. Para evitar estos retrasos y pérdidas económicas se han desarrollado diversos planes de mantenimiento como lo son: Mantenimiento Preventivo, Predictivo y el cual es objeto este trabajo de investigación el MBC aplicado a los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L.

La presente tesis de grado consta de cinco capítulos:

**Primer Capítulo:** contiene descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, delimitación espacial, delimitación social, delimitación temporal, delimitación conceptual, problema principal, problemas secundarios, objetivo general, objetivos específicos, justificación, importancia y limitaciones.

**Segundo Capítulo:** incluye antecedentes del problema, bases teóricas, definición de términos básicos.

**Tercer Capítulo:** resultados del trabajo de investigación, análisis estadístico e interpretación de resultados.

**Cuarto Capítulo:** prueba de hipótesis primaria y prueba de hipótesis secundarias

**Quinto Capítulo:** Conclusiones. Recomendaciones. Referencias bibliográficas, anexos, matriz de consistencia y anexos.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

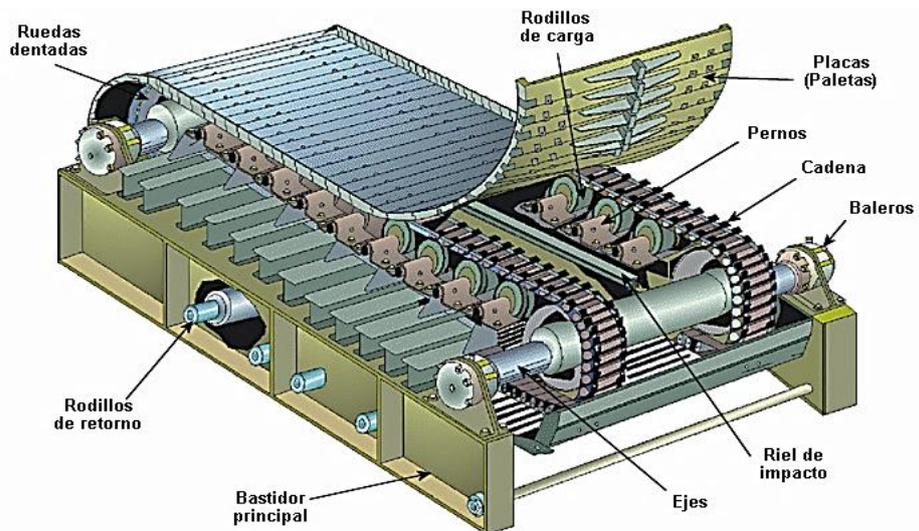
### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

El proyecto Yanacocha Gold Mil, es un circuito de molienda SAG, lixiviación y CCD, que procesa mineral chancado para producir solución rica para su procesamiento adicional en la planta de adsorción en carbón de La Quinua y relaves de arenas que son enviados a un depósito de arenas de molienda. El proyecto incluye un circuito de sulfatación, acidificación, recirculación y espesamiento (SART) para tratar minerales de transición con alto contenido de cobre anticipados para los años posteriores del plan de la mina. También se incluye en el proyecto un circuito de acidificación, volatilización y reneutralización (AVR) para recircular el cianuro excedente de regreso al circuito de molienda. Dicha planta Gold Mill opera en Minera Yanacocha S.R.L. a partir de marzo del 2008; originalmente estaba diseñada para tratar 621 T/h y una producción anual de 5.000.000 TN/A de mineral chancado, 365 días al año, con una disponibilidad del 92%, pero en la actualidad, se procesa 850TN/h y una producción anual de 6.8 MTN/A. lo que este proceso de molienda aporta con el 75% de la producción total. Para lo cual los alimentadores de placas deben contar con una disponibilidad del 95%.



**Figura: 1** Planta de procesos Gold Mill – Yanacocha - 2016  
**Fuente:** Planeamiento y Programación - Yanacocha

Los alimentadores de placas, son equipos que están diseñados para trabajos pesados con materiales abrasivos, secos y húmedos con peso elevado, grandes volúmenes y altas temperaturas. Además este tipo de equipos son aptos para ambientes con alta contaminación y corrosión y tiene una alta resistencia al impacto.



**Figura: 2** Alimentador de placas (Apron Feeder)  
**Fuente:** Minera Yanacocha S.R.L.

Actualmente el mantenimiento que se le da a estos activos no garantiza la disponibilidad requerida, debido a que se basa principalmente en actividades correctivas, producto de las fallas presentadas la disponibilidad operativa de los alimentadores de placas individualmente en los últimos años no supera el 85%, además poniendo en riesgo a la seguridad del personal que realiza los mantenimientos correctivos, la producción y en consecuencia se incrementa en costo operativo y el del mantenimiento. (Minera Yanacocha S.R.L., 2016)

Un plan de mantenimiento basado en condición, permitirá evaluar el desgaste en componentes sometidos a corrosión por abrasión y permitirá estimar la vida útil de los mismos, con esta información es posible optimizar el mantenimiento mediante una adecuada planificación y programación, reduciendo así las paradas intempestivas que impactan directamente en la producción (aumento de disponibilidad) y en los costos de mantenimiento.

## **1.2. Delimitación de la Investigación:**

### **1.2.1. Delimitación Espacial**

El presente proyecto de investigación está emplazado en los Andes peruanos, a una altura de 3.600 metros sobre el nivel del mar, a 40 kilómetros al norte de Cajamarca y 600 kilómetros al norte de Lima, en la zona de operaciones de Minera Yanacocha S.R.L.

### **1.2.2. Delimitación Social**

El desarrollo del presente proyecto es de impacto tanto a nivel local como nacional, con respecto al uso del mantenimiento basado en condición (MBC) en la gestión del mantenimiento de activos.

### **1.2.3. Delimitación Temporal**

El siguiente proyecto se llevó a cabo desde el mes de Setiembre del 2015 a Julio del 2016.

#### **1.2.4. Delimitación Conceptual**

Se abordó temas como: Mantenimiento basado en condición (MBC), ensayos no destructivos, inspección mediante ultrasonido, inspección visual, alimentadores de placas, vida útil y disponibilidad operativa.

### **1.3. Problemas de Investigación**

#### **1.3.1. Problema Principal**

¿Cómo optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas, aplicando el mantenimiento basado en condición en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca?

#### **1.3.2. Problemas Secundarios**

¿Cómo disminuir los mantenimientos correctivos de los alimentadores de placas, para aumentar su disponibilidad?

¿Cómo incrementar la vida útil de los alimentadores de placas?

### **1.4. Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de la empresa Minera Yanacocha S.R.L. en Cajamarca, aplicando el mantenimiento basado en condición.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Disminuir el tiempo anual de mantenimientos correctivos (paradas no programadas).

Evaluar condiciones de vida útil y la confiabilidad de los alimentadores de placas.

## **1.5. Hipótesis y Variables de la Investigación.**

### **1.5.1. Hipótesis General**

**H:** Al aplicar el mantenimiento Basado en Condición en los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de la empresa minera Yanacocha S.R.L. se logrará optimizar la disponibilidad, así como también un ahorro económico significativo.

### **1.5.2. Hipótesis Secundarias**

Mediante la aplicación del MBC a los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. se logra incrementar la vida útil de los mismos.

Mediante la aplicación del MBC a los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. Se logra disminuir las paradas no programadas anuales.

### **1.5.3. Variables (Definición Conceptual y Operacional)**

#### **a. Variable Independiente**

Mantenimiento Basado en condición

#### **b. Variable Dependiente**

Disponibilidad de los alimentadores de placas

Vida útil de los alimentadores de placas

## c. Definición Conceptual y Operacional

Tabla 1. Definición conceptual y operacional.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL			
		DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
VARIABLE I Mantenimiento basado en condición	<b>Mantenimiento Basado en Condición (MBC)</b> consiste en realizar mediciones sistemáticas de las variables operacionales de un activo	Inspecciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspección visual</li> </ul>	Observación	Ficha de observación
		Mediciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediciones ultrasónicas</li> <li>Mediciones con Galgas</li> </ul>	Observación	Ficha de observación
		Condición	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aceptable</li> <li>rechazado</li> </ul>	Evaluación	Registro de observación
VARIABLE II Disponibilidad de alimentadores de placas	<b>Disponibilidad:</b> la disponibilidad de un activo o equipo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante.	Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>horas disponibles a operar</li> </ul>	Evaluación	Registro de observación
		Disponibilidad operativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horas de funcionamiento</li> </ul>	Observación	Registro de observación
VARIABLE II Vida útil de los alimentadores de placa	<b>Vida útil:</b> Es la duración estimada que un activo puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido diseñado.	Ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo del activo funcionando</li> <li>Límite de retiro</li> </ul>	observación	Registro de observación

Fuente: Elaboración propia - 2016

### 1.6. Metodología de la Investigación.

#### 1.6.1. Tipo y Nivel de la Investigación

##### a) Tipo de Investigación

El tipo de investigación utilizada, es aplicada porque tanto los referentes teóricos ya mencionados y metodológicos, ya existen de los cuales nos vamos a valer y relacionarlos con nuestra variable para resolver el problema y así adquirir un nuevo conocimiento.

##### b) Nivel de investigación

El nivel de investigación es correlacional porque miden las relaciones que pueden o no darse entre dos o más variables.

## **1.6.2. Método y diseño de la investigación**

### **a) Método de la investigación**

El método utilizado es el método de investigación científica, para lo cual, se va a seguir una serie de etapas a las que hay que recorrer para obtener un conocimiento válido desde el punto de vista científico, utilizando para esto instrumentos que resulten fiables.

### **b) Diseño de la investigación**

La investigación que se desarrolla presenta el diseño no experimental - longitudinal, porque analiza los cambios a través del tiempo de determinadas variables, sucesos, contextos o bien de las relaciones entre estas.

## **1.6.3. Población y muestra de la investigación**

### **a) Población**

Nuestra población o universo son los cinco alimentadores de placas de alimentación a las fajas transportadoras en la planta Gold Mill.

### **b) Muestra**

Para la selección de nuestra muestra se ha seguido un procedimiento no probabilístico, siguiendo el criterio del autor y conforme a las circunstancias del desarrollo del proyecto.

Nuestra muestra son los tres alimentadores de placas de la pila de almacenamiento de alimentación a la faja 1300 del Molino SAG, en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L.

#### **1.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

##### **a) Técnicas**

La técnica que se utilizó en esta investigación, es la observación ya que se realizó una inspección directa del fenómeno en estudio.

##### **b) Instrumentos**

El instrumento de recolección de datos que utilizaremos es:

Observación directa del fenómeno en estudio.

- Ficha de observación **Anexo 2**
- Registro de observación **Anexo 3**

Resultados a presentar mediante tabulación y luego su grafica son los siguientes:

- Estimaciones del porcentaje de desgaste de componentes más importantes de los alimentadores de placas.
- Calculo estimado de la vida útil
- Estimación del tiempo aproximado de cambio.
- Evaluación económica de propuesta de volteo de bujes.
- Propuesta de optimización de componentes.

#### **1.6.5. Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación.**

##### **a) Justificación**

Debido a la ausencia de un plan de mantenimiento como son las hojas de vida, límites de retiro de los componentes de los alimentadores de placas, se detectó la necesidad de implementar el mantenimiento basado en condiciones para la empresa minera Yanacocha S.R.L. en la planta Gold Mill.

Con el fin de optimizar la disponibilidad en los alimentadores de placas para lograr la máxima eficiencia de los equipos y aumentar su vida útil en la operación, se quiere mostrar que el uso correcto de un plan MBC reduce las paradas intempestivas

que conllevan a pérdidas de tiempo, disminución de la calidad, promoción de la seguridad, preservación del medio ambiente entre otros factores, con esto pueden llevar a unos niveles de competitividad elevados que ayudan a la empresa en el aumento de su producción, reducción de costos y sobre todo mejor calidad y seguridad en la operación.

#### **b) Importancia**

Actualmente existen diversos programas de mantenimiento avocados a obtener el mayor rendimiento productivo de activos, esta condición de productividad será directamente afectada por el número y tiempos de paradas, por la realización de actividades de mantenimiento correctivo inesperados. Para evitar estos retrasos y pérdidas económicas, se han desarrollado diversos planes de mantenimiento como lo son: Mantenimiento Preventivo, Predictivo y el cual es objeto este trabajo de investigación el Mantenimiento Basado en la Condición.

Por tal razón se está implementando el Mantenimiento Basado en la Condición, el cual tiene como objetivo obtener el mayor número de datos provenientes del equipo, para poder realizar las actividades de mantenimiento cuando, las piezas o partes en verdad se merezcan su reemplazo. Podríamos pensar que se estaría sacrificando la confiabilidad y poner en riesgo la continuidad de la producción pero no es así, se estaría evaluando tanto los datos estadísticos del mismo como una revisión exhaustiva de los componentes.

#### **c) Limitaciones**

La presente investigación se limita solamente a determinar la disponibilidad de los alimentadores de placas de la planta Gold Mil en las operaciones de Minera Yanacocha S.R.L.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del Problema

En Venezuela, en la tesis titulada, *“Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos”*, en la universidad de Oriente, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, se concluye que: Con la implementación del programa de MBC diseñado, se logró detectar un significativo número de problemas en los activos en estudio, que, de no ser captados y corregidos a tiempo, estos problemas pueden originar la ocurrencia de los modos de fallas. El incremento del número de activos, en condiciones anormales, a lo largo del tiempo de estudió, se debió en gran medida a la no programación y ejecución de las acciones de mantenimiento, recomendadas en los reportes finales, las cuales están enfocadas a mitigar la ocurrencia de los modos de falla. A través del programa de mantenimiento diseñado, es posible mejorar la efectividad, siempre y cuando se tomen en cuenta las acciones recomendadas, debido a que está orientado a disminuir las horas de demora, por parada imprevista, de los activos. (Mundarain, 2009)

En Venezuela, en la tesis titulada, *“Implementación del mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos de mar”*, en la universidad de Oriente, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, se concluye que: El mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones en compresores de tornillo fue implementado con éxito en la empresa procesadora de productos del mar. A través de la comparación y análisis de los espectros obtenidos en el monitoreo con espectros típicos de fallas se diagnosticaron problemas de desbalance, desalineación, soldadura mecánica, roce, daños en los rodamientos y cargas en los engranajes en los compresores de tornillo. (González, 2009).

En Perú, según el trabajo de investigación de la universidad Nacional de Ingeniería, año 2005, en la tesis, *“Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores Peirce Smith de la fundición de cobre de Southern Perú Copper Corporation”*, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, se concluye que: Para el año 2005, mediante la implantación del segundo proyecto RCM a los Hornos Convertidores PS, se propone un incremento del índice de disponibilidad operacional del 1.89%, que involucra un ahorro inicial de 4'241.807.40 US\$ al año, ya que el precio del cobre ha aumentado en un 7.3% en el primer trimestre del año. En el presente año, el código de falla MPRM de reparaciones mayores u overhauls, se han disminuido los estándares de mantenimiento reduciendo a 9 y 11 días las reparaciones parciales y generales respectivamente. Para el año 2006, se propone la misma distribución de tiempos para los Hornos Convertidores PS; y para el año 2007, cuando comience a operar la nueva fundición el índice de disponibilidad será de aproximadamente 95.1%, incremento del 14.9%, debido a que se eliminará los tiempos por SCP. El incremento de disponibilidad de los Hornos Convertidores PS obtuvo un ahorro entre los 6'337,105.83 y 8'225,563.36 US\$ al año debido al incremento del precio del cobre del 29.8%, durante todo el año 2004. Mediante la

jerarquización de equipos y la formulación de los criterios necesarios para el análisis, se incrementó la importancia de la seguridad operacional y la protección ambiental, como primeros factores a tomar en cuenta en las nuevas tareas y procedimientos de trabajo. La implantación del RCM, fomentó el trabajo en equipo, convirtiéndolo en algo rutinario; donde las reuniones fueron dinámicas, logrando sinergia al interior del grupo natural de trabajo y ayudando al personal a comprender la labor de su compañero. (Córdova, 2005).

En Perú, en el trabajo de investigación de la Pontificia universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, año 2010, en la tesis, *“aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”*, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, se concluye que: De los 17 equipos estudiados 8 de ellos presentan un  $\beta < 1$ , por tanto el equipo se presenta dentro de su etapa infantil de fallas nos, describe un problema de diseño. Así mismo se presentan 5 equipos que se encuentra dentro del periodo de vida útil ( $0.98 \leq \beta \leq 1$ ) por tanto las fallas a presentarse serán del tipo aleatoria y solamente con la aplicación de un correcto monitoreo y mantenimiento preventivo serán las herramientas efectivas para optimizar e incrementar la operación del equipo en esta etapa de trabajo que presenta, garantizando así la disponibilidad de los mismos así como su confiabilidad. En el intervalo final, con 4 equipos hemos obtenido un valor de  $\beta > 1$ , encontrándose en su etapa de desgaste, esto se debe a que los equipo a los que se les realizó mantenimiento mayor ya presenta problemas estructurales 87 debido a la antigüedad, problemas por el uso de repuestos de fabricación local; los cuales no presentan las misma condiciones mecánicas que los originales. Mediante la determinación del Tiempo medio entre Falla (MTBF) nos permitió determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los motores analizados a través del método gráfico; esta etapa es de mucha importancia dado que influye directamente en la hoja de decisiones y en el establecimiento de las tareas de mantenimiento preventivo de cada uno de los motores.

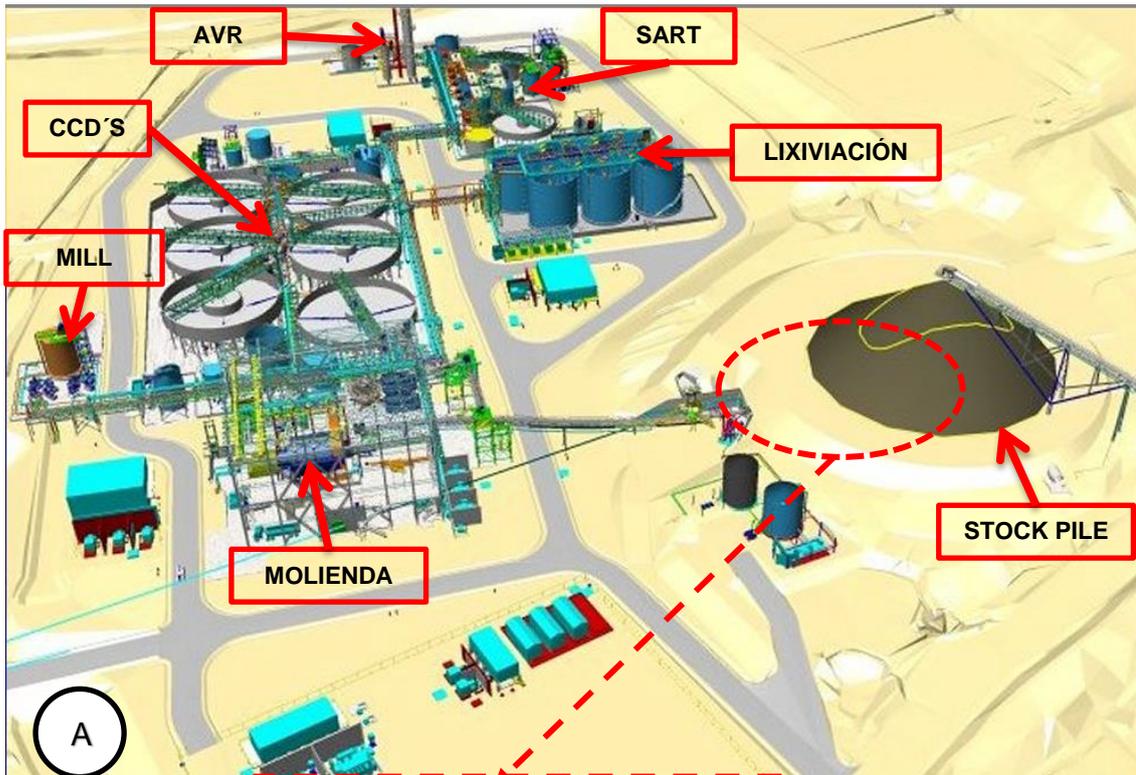
Teniendo en cuenta que el periodo de realización de mantenimiento mayor de los motores es de 3 años (1080 días); de los 4 equipos que se encuentran en su etapa de desgaste, 3 de ellos han llegado a este estado de manera prematura, ya que su periodo de operación no ha superado los 500 días. (Da Costa, 2010).

En la base de datos de la Universidad Privada del Norte Cajamarca en Perú, se indagó sobre alguna documentación con las características de este trabajo de investigación, encontrándose dos trabajos relacionados a mantenimiento, en la Universidad Nacional de Cajamarca no se encuentra alguna documentación con las características de este trabajo de investigación, y en la UAP-Filial Cajamarca se encuentran dos tesis relacionadas a mantenimiento, pero ningún trabajo de investigación relacionado con el tema de optimización de la disponibilidad de alimentadores de placas, mediante la aplicación del mantenimiento basado en condición, en la planta Gold Mill en Minera Yanacocha SRL, por lo que la presente tesis profesional se cataloga como el primer trabajo de esta magnitud.

## **2.2. Bases Teóricas.**

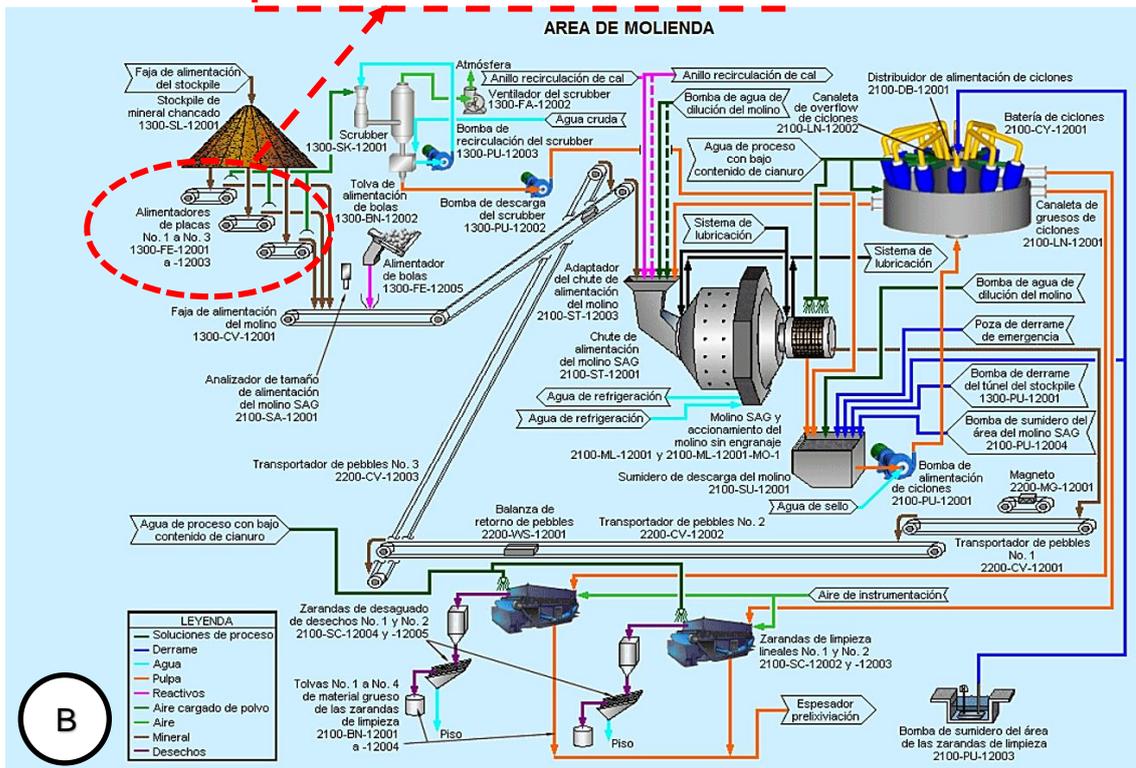
### **2.2.1. Proceso Gold Mil**

El Proyecto Yanacocha Gold Mill, es un circuito de molienda SAG, lixiviación y CCD que procesa mineral chancado para producir solución rica para su procesamiento adicional en la planta de adsorción en carbón de La Quinoa y relaves de arenas que son enviados a un depósito de arenas de molienda. Se incluye en el proyecto un circuito de sulfuración, acidificación, recirculación y espesamiento (SART) para tratar minerales de transición con alto contenido de cobre anticipados para los años posteriores del plan de la mina. También se incluye en el proyecto un circuito de acidificación, volatilización y reneutralización (AVR) para recircular el cianuro excedente de regreso al circuito de molienda.



**ALIMENTADORES DE PLACAS**

AREA DE MOLIENDA



A : **Figura: 3** Planta de Procesos Gold Mill – Yanacocha  
Fuente: Planeamiento y Programación – Yanacocha

B : **Figura: 4** Proceso Gold Mill – Yanacocha  
Fuente: Planeamiento y Programación – Yanacocha

A continuación un breve resumen de cada una de las partes y circuitos de la planta, entre ellos tenemos:

**a. Molienda**

El mineral es chancado en el circuito de chancado existente en la planta de aglomeración de La Quinua y es transportado por faja al stockpile de alimentación de mineral chancado del molino SAG. El mineral chancado es molido con solución de cianuro en un molino SAG de una sola etapa. La descarga del molino gravita a través de un trommel y los pebbles gruesos son recirculados a la alimentación del molino. La pulpa de finos del trommel es clasificada en ciclones y la pulpa de gruesos de los ciclones es recirculada de regreso al molino para su remolienda. La pulpa de overflow de los ciclones gravita hacia las zarandas de limpieza lineales y hacia un espesador de prelixiviación.

**b. Lixiviación y CCD**

La pulpa de overflow de los ciclones proveniente del circuito de molienda se deseca en el espesador de pre lixiviación de alta capacidad antes de ser tratada en el circuito de lixiviación. Esta operación de espesamiento reduce la cantidad de tanques de lixiviación necesarios para una alta recuperación de metales y reduce también la cantidad de cianuro necesaria para la lixiviación.

Después que la pulpa de overflow de los ciclones se ha espesado, es lixiviada en una serie de seis tanques agitadores usando cianuro de sodio (NaCN) y aire de planta. Se agrega cal a cuatro de los seis tanques para mantener condiciones alcalinas que impidan la formación potencial de gas cianhídrico.

La pulpa lixiviada es lavada en un circuito de decantación a contracorriente (CCD). Esto es para realizar una separación sólido/líquido y recuperar cualquier especie disuelta en una solución para su tratamiento posterior. La descarga de cada

etapa es bombeada a la próxima etapa aguas abajo mientras que la solución de overflow de cada espesador es dirigida a la etapa previa aguas arriba.

La solución rica del overflow del espesador de primera etapa es bombeada al tanque de precipitación de sulfuros SART si contiene altos niveles de cobre, o al overflow del espesador de yeso y hacia la planta de adsorción en carbón de La Quinoa si no hay presencia de cobre.

#### **c. Bombeo de Arenas de Molienda**

La pulpa de arenas de molienda del circuito CCD es depositada en un depósito de arenas de molienda (MSSF) ubicado en un área dedicada del sistema de pads de lixiviación de La Quinoa.

La última etapa del circuito CCD sirve como el espesador de arenas de molienda y es operada a una densidad de pulpa tan alta como sea posible. La pulpa resultante del circuito CCD contiene niveles de cianuro similares a aquellos de la solución estéril de lixiviación en pilas de La Quinoa. Esta pulpa es depositada en un área encarpeta del pad de lixiviación en pilas existente. La pulpa de arenas de molienda es bombeada usando dos sistemas paralelos, cada uno con cuatro bombas en serie. Un sistema opera mientras el otro ofrece un completo sistema de respaldo.

Se espera que las arenas de molienda drenen agua intersticial al ser comprimidas contra el dique. Esta agua pasa al sistema de drenaje en la base del dique e ingresa al sistema de soluciones de los pads de lixiviación.

#### **d. SART**

La solución rica del circuito CCD es procesada en el circuito SART cuando se tratan minerales de transición con alto

contenido de cobre. El circuito SART tiene el propósito de recuperar el cobre de la solución rica CCD en forma de sulfuro de cobre y convertir el cianuro disociable de ácido débil (CNWAD) en cianuro libre para su posterior recuperación y recirculación en el circuito AVR. El circuito SART consiste en la precipitación, espesamiento y filtración de sulfuros de cobre como también en la neutralización de la solución rica, precipitación del yeso y espesamiento del yeso.

La solución rica con alto contenido de cobre del circuito CCD es bombeada a un tanque de precipitación agitado, donde se agrega hidrosulfuro de sodio (NaHS) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para reaccionar con los complejos de cianuro de cobre disueltos para formar precipitados de sulfuro de cobre (Cu<sub>2</sub>S) y gas cianhídrico disuelto. La pulpa de precipitados resultante es espesada en el espesador de sulfuros SART. Una parte de los precipitados de sulfuros en la pulpa de descarga del espesador es recirculada al tanque de precipitación y a la alimentación del espesador para proveer material generador para los procesos de precipitación y espesamiento. La mayor parte de los precipitados en la pulpa de descarga del espesador es bombeada a un filtro prensa para producir sulfuro de cobre desecado.

El overflow del espesador de sulfuros SART, conteniendo solución rica acidificada, es bombeado a los tanques de neutralización a través del circuito SART, directa o indirectamente, dependiendo de la necesidad de recuperar y recircular el cianuro. La neutralización de la solución rica acidificada tiene lugar en una serie de cuatro tanques de neutralización SART agitados mediante la adición de cal. La solución rica neutralizada, conteniendo precipitados de yeso (CaSO<sub>4</sub>) de la reacción de neutralización, es desecada en el espesador de yeso. Parte de los precipitados de yeso en la pulpa de descarga del espesador son recirculados de regreso a los

tanques de neutralización y a la alimentación del espesador de yeso para proveer material generador para los procesos de precipitación y espesamiento. La mayor parte de los precipitados en la pulpa de descarga del espesador de yeso es recirculada al circuito CCD para su retratamiento.

Todos los tanques de proceso que contienen solución rica acidificada o pulpa están cubiertos y son venteados hacia un scrubber de gases para impedir el escape del gas cianhídrico. El aire venteado es depurado con una solución de soda cáustica alcalina antes de ser liberado a la atmósfera. Cualquier NaCN recuperado por la solución de soda cáustica es recirculado de regreso dentro del proceso vía el tanque de agua de dilución del molino.

**e. AVR**

El circuito AVR tiene el propósito de recuperar el gas cianhídrico disuelto de la solución rica acidificada y convertirlo en cianuro de sodio (NaCN) para reutilizarlo en el proceso de molienda. El circuito AVR se usa para mantener un balance de cianuro entre los circuitos de molienda y lixiviación en pilas cuando hay una cantidad excesiva de cianuro en la solución rica. Esta condición tiene su origen en el tratamiento de minerales de transición con alto contenido de cobre que requieren una alta concentración de cianuro en la solución rica, o cuando el molino está operando a un bajo flujo en toneladas.

El gas cianhídrico disuelto es liberado dentro de la fase gaseosa soplando una gran cantidad de aire de proceso dentro de la solución rica acidificada en una columna de desorción de cama empaquetada. El gas resultante, una mezcla de aire y gas cianhídrico, se hace pasar luego a través de una columna de absorción de cama empaquetada, donde una solución de soda cáustica alcalina convierte el gas cianhídrico en NaCN en

solución. El aire de proceso se hace circular en un circuito cerrado entre la columna de desorción y la columna de absorción, con un pequeño sangrado de aire de proceso limpio usado para mantener condiciones de vacío. El proceso AVR tiene lugar en recipientes cerrados y opera bajo condiciones de vacío para impedir el escape de gas cianhídrico.

La solución rica acidificada de la columna de desorción es bombeada a los tanques de neutralización SART para su neutralización y hacia la planta de adsorción en carbón de La Quinoa para la recuperación del oro.

La solución de NaCN recuperada de la columna de absorción es recirculada hacia el tanque de agua de dilución del molino para su reutilización en el proceso de molienda.

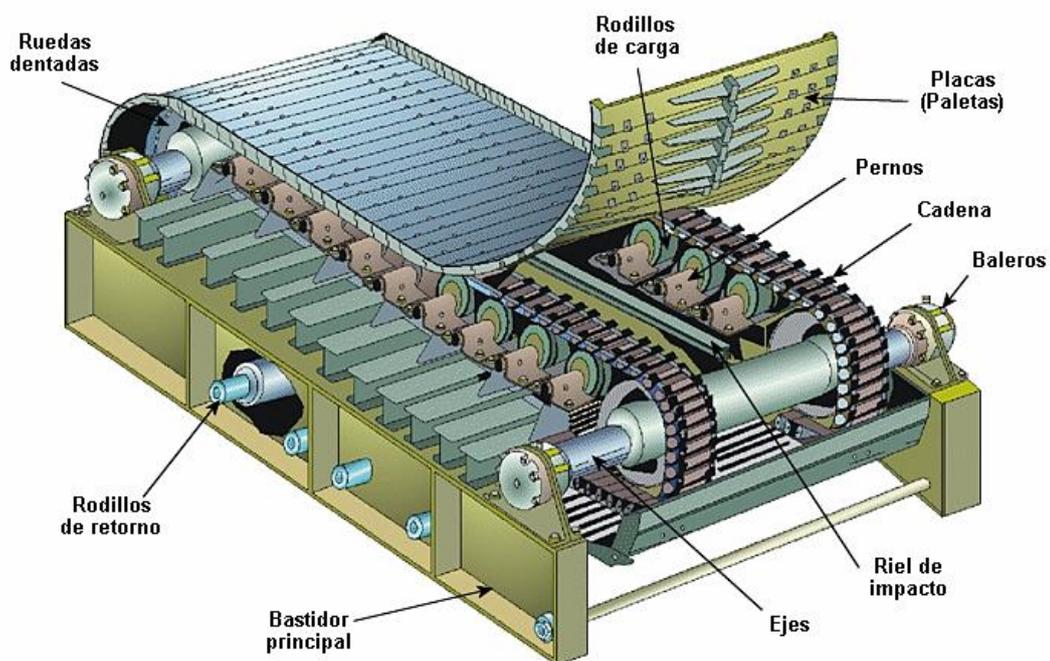


**Figura: 5** Imagen satelital de la Planta Gold Mill – Yanacocha  
**Fuente:** Google Earth - 2016

### 2.2.2. Alimentadores de Placas

Un alimentador de placas es un transportador corto y de movimiento lento. El transportador consiste en placas (también llamadas paletas, tablillas o artesas) construidas de acero

manganeso unidas entre sí para formar una banda flexible, similar a las orugas de una topadora (toradora, excavadora o dozer, bulldozer). El mineral cae sobre el alimentador desde un chute, o tolva, ubicado encima. Las placas móviles arrastran el mineral desde el punto de descarga hacia el chute de descarga, donde cae a una correa transportadora convencional más rápida. El alimentador corta constantemente una capa del material desde el punto de descarga. Las fuerzas requeridas para hacer esto significa que el alimentador debe ser de construcción robusta y las placas están hechas de una aleación de acero manganeso resistente a la abrasión. Los componentes principales del alimentador de placas son:



**Figura: 6** Alimentador de placas (Apron feeder)  
**Fuente:** Minera Yanacocha S.R.L.

**Cadenas:** Dos cadenas de acero de fuertes eslabones (similar a las cadenas de bicicletas) forman lazos continuos alrededor de los ejes de accionamiento y de cola. Las placas están empennadas a ellas.

**Placas:** Estas son piezas en capas muy pesadas y fundidas de aleación de acero manganeso.

**Ruedas dentadas:** Hay dos ruedas dentadas motrices en el extremo de cabeza del alimentador y dos ruedas dentadas en el extremo de cola. Los dientes de las ruedas dentadas engranan con las cadenas. Las ruedas dentadas están montadas sobre ejes forjados.

**Rodillos de carga:** Estos son rodillos cortos, pesados y estrechamente espaciados que soportan las cadenas (y, por lo tanto, las placas) bajo la parte cargada del alimentador de placas. Los rodillos están embridados para guiar las cadenas.

**Rodillos de retorno:** Los rodillos de retorno soportan las cadenas y placas a medida que éstas se desplazan sobre la parte inferior del alimentador en su camino de regreso al extremo de cola. Los embridados de las mismas placas viajan sobre los rodillos de retorno. Estos rodillos están más ampliamente espaciados que los rodillos de carga y están embridados en un lado solamente (como las ruedas del tren).

**Rieles de impacto:** Dos rieles de acero recorren la longitud del alimentador, debajo de las placas. Los rieles soportan las placas en el centro. Si el chute o buzón debajo de la tolva de extracción se ha vaciado y una carga cae súbita y limpiamente desde el acopio sobre el alimentador, los rieles impiden que las placas se doblen y rompan.

**Bastidor principal:** Dos miembros estructurales pesados corren a lo largo del alimentador y están unidos entre sí mediante miembros transversales. El bastidor está soldado para brindar resistencia y rigidez.

**Reductor de cambios:** Una caja de cambios es requerida para reducir la velocidad del motor a las velocidades muy lentas requeridas por el alimentador.

**Motor de accionamiento de velocidad variable:** El alimentador de placas está equipado con un motor hidráulico de velocidad variable. La velocidad de alimentación cambia mediante la variación de velocidad a la cual el fluido hidráulico es bombeado al motor.

**Chutes y blindajes:** El alimentador, el chute a través del cual el mineral cae en el alimentador desde la chimenea de extracción, y el punto de descarga están todos revestidos de acero. Revestimientos reemplazables resistentes a la abrasión están empernados al interior de los chutes para prevenir el desgaste del acero debido al contacto con el material.

### **2.2.3. Mantenimiento Basado en Condición (MBC)**

#### **2.2.3.1. Evolución del Mantenimiento.**

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al importante aumento en número y variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos y nuevos métodos de mantenimiento, y además de una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento responde a las expectativas de cambio, que incluyen una toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; relación entre mantenimiento y la calidad del producto y de poder alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener costos bajos.

Estos cambios están llevando a un cambio de aptitudes y habilidades en todas las ramas de la industria, ya que el personal de mantenimiento se ve obligado a pensar de una manera completamente nueva, pues deben actuar como ingenieros y como gerentes.

Frente a estos cambios los gerentes están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento, que eviten arranques fallidos y proyectos sin concluir; buscan un cambio en la estructura estratégica que resuma los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga a las necesidades de la compañía.

Desde la década del '30 se puede ver la evolución del cambio del mantenimiento a través de tres generaciones:

#### **a. La Primera Generación**

La primera generación que se extiende hasta la segunda guerra mundial. Debido a que la industria, en estos tiempos, no estaba altamente mecanizada, no era de mayor importancia el tiempo de parada de la máquina.

La prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para los gerentes, ya que también, la mayor parte de los equipos eran simples y sobredimensionados, originado el concepto del mantenimiento correctivo o reactivo.

Estas bondades hacían los equipos confiables y fáciles de reparar, dando como resultado la ausencia

de un mantenimiento sistemático, sino más bien, una rutina de limpieza y lubricación.

Sus principales características son:

- Equipos robustos, sobredimensionados, simples.
- Los modos de falla estaban concentrados en el desgaste de la pieza.
- No existía alta mecanización de la industria.
- Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos.
- La prevención de fallas no era de alta prioridad gerencial. La política de mantenimiento mayormente aplicada era la del mantenimiento reactivo.
- No había necesidad de un mantenimiento sistemático.
- Bajos volúmenes de producción.

#### **b. La Segunda Generación.**

Debido a la segunda guerra mundial, los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que disminuía el número de trabajadores industriales, dando como resultado el aumento de la mecanización. En la década de los '50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas, y la industria comenzaba a depender de ellas.

Debido a lo anterior, se centró la atención en el tiempo de parada de la máquina, esto llevó a la idea de que las fallas de los equipos deberían ser prevenidas, llegando al concepto del mantenimiento preventivo.

Posteriormente en la década de los ´60, consistió principalmente en las reparaciones mayores a intervalos regulares de tiempo, entonces los costos de mantenimiento comenzó a elevarse rápidamente en relación con otros costos operacionales. Esto llevó al crecimiento de los sistemas de planeamiento y control de mantenimiento, ayudaron a tener al mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la gestión del mantenimiento.

Por último, el elevado incremento del costo de capital, llevó a buscar la manera de maximizar la vida útil de estos activos y/o bienes.

Sus principales características son:

- Se comienza a dar importancia a la productividad.
- Incremento de la mecanización en las industrias y complejidad de los equipos.
- Mayor importancia a los tiempos de parada de equipos.
- Inicio del concepto de mantenimiento preventivo. Para los años 60 consistía principalmente en las reparaciones mayores (OverHaul) a una frecuencia fija.
- Crecimiento rápido de los costos de mantenimiento, respecto a otros.
- Implantación y crecimiento de sistemas de planificación y control de mantenimiento.
- Maximizar vida útil de los sistemas, equipos y dispositivos.
- Altos niveles de inventario de repuestos.
- Computadores centrales, lentos, programas que no permitían la interacción con el usuario.

### **c. La Tercera Generación.**

Desde mediados de la década de los setenta, el proceso de cambio de la industria ha ido en aumento. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones, y nuevas técnicas.

El tiempo de parada de máquina siempre ha afectado la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, e interferir con la atención al cliente.

En la década de los sesenta y setenta esto ya era una preocupación en las áreas de minería, manufacturas y transporte. En la manufactura los efectos del tiempo de parada de maquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia sistemas “just-in-time”, donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta.

Actualmente el crecimiento de la mecanización y la automatización han tornado a la confiabilidad y a la disponibilidad en factores clave en sectores tan diversos como el cuidado de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones y el manejo de las organizaciones.

### **d. Nuevas Expectativas.**

Una mayor automatización también significa que más y más fallas afectan nuestra capacidad de mantener parámetros de calidad satisfactorios.

Cada vez aparecen más fallas que originan serias consecuencias al medio ambiente o a la seguridad, al tiempo que se elevan las exigencias de éstos temas.

Se ha llegado hasta el punto en que las organizaciones deben adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental de la sociedad, FIGURA 6, o simplemente dejar de operar. Nuestra dependencia de la integridad de nuestros activos físicos cobra ahora una nueva magnitud que va más allá del costo, que es cuestión de supervivencia de la organización.

Al mismo tiempo, crece el costo de tenerlos y operarlos, para eso, deben operar eficientemente. Por último, el costo de mantenimiento, está ascendiendo, en términos absolutos.

#### **e. Nuevas Investigaciones.**

Nuevas investigaciones están cambiando las creencias referidas a la relación entre edad y las fallas. En particular, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que éstos fallen.

FIGURA 7. Muestra como al principio, la idea de que a medida los activos envejecían era más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la “mortalidad infantil” llevó a la Segunda Generación a creer en la curva de la “bañera”.

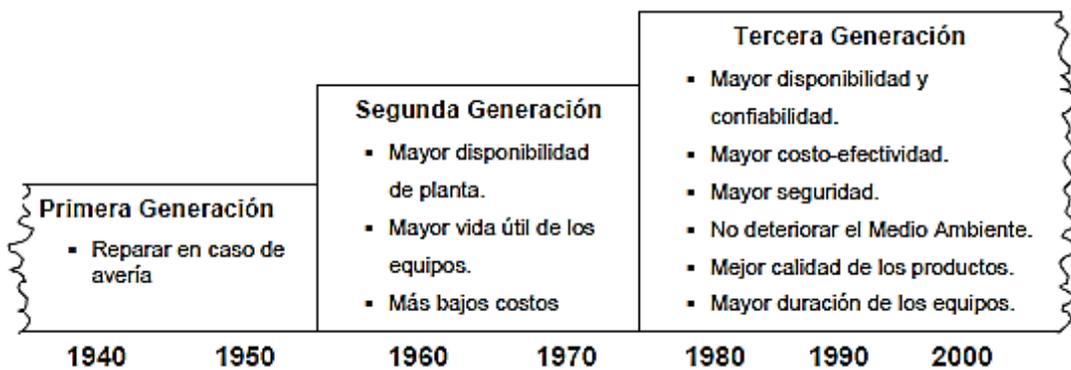
Sin embargo, las investigaciones actuales revelan, no uno, sino seis patrones de falla que realmente ocurren

en la práctica, los cuales tienen un profundo efecto sobre el mantenimiento.

**f. Nuevas Técnicas.**

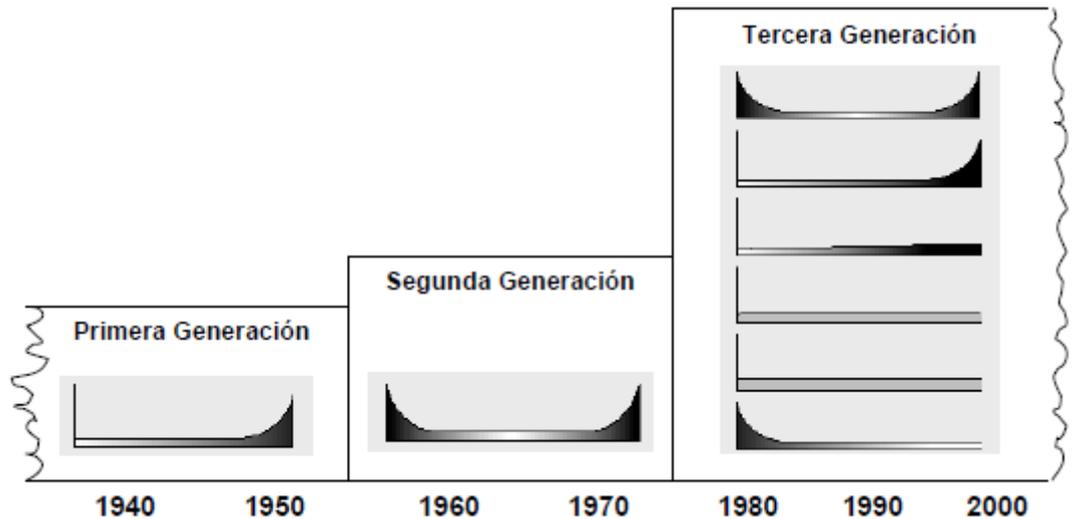
Han surgido nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, los cuales han sido desarrollados en los últimos quince años, y emergen aún más cada año. La FIGURA 9. Muestra cómo ha crecido el énfasis en los clásicos sistemas administrativos y de reparaciones mayores para incluir a nuevos desarrollos en diferentes áreas.

Uno de los mayores desafíos del personal de mantenimiento es no solo aprender estas técnicas, sino decidir cuales valen la pena y cuales no para sus propias organizaciones.

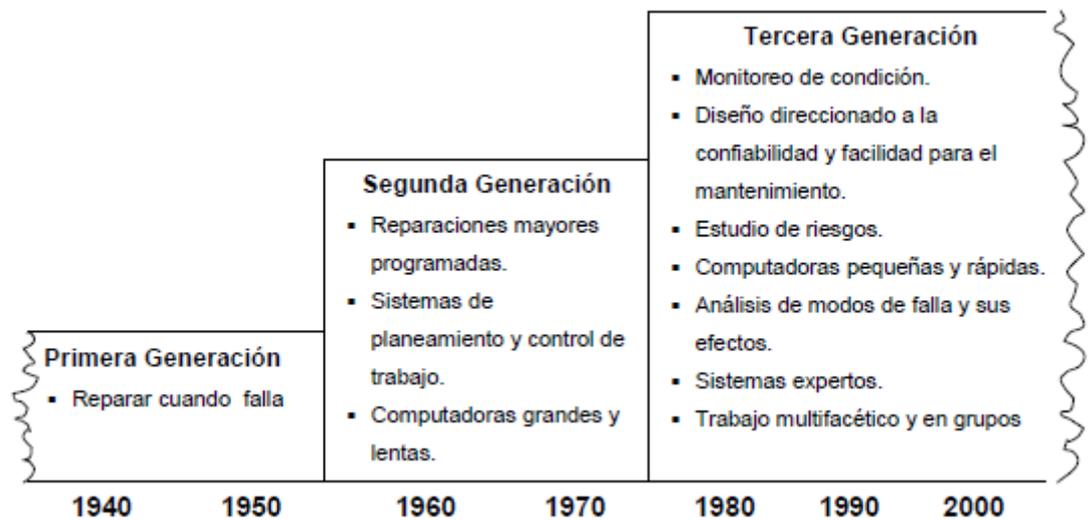


**Figura: 7** Nuevas expectativas de mantenimiento

**Fuente:** John Moubray



**Figura: 8** Nuevas investigaciones de mantenimiento  
**Fuente:** John Moubray



**Figura: 9** Cambios en las Técnicas de Mantenimiento  
**Fuente:** John Moubray

Sus principales características son:

- Alto grado de mecanización y automatización.
- Demanda por alto valor en la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, equipos y dispositivos.
- Importancia a la productividad y estándar de calidad.
- Extensión al máximo de la vida útil de los equipos y dispositivos.
- Altos volúmenes de producción.

- Alto nivel de competencia del personal de mantenimiento.
- Nuevas técnicas e investigación cuestionan lo establecido.
- Desarrollo acelerado de la tecnología de información, computadoras más rápidas, programas amigables e integración de redes
- Desarrollo del mantenimiento predictivo.
- En los últimos años de los 70. la aplicación de nuevas filosofías: Mantenimiento Productivo Total TPM, Mantenimiento Basado en condición y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM

Todos estos factores han involucrado para definir el nuevo concepto del mantenimiento desarrollado en los últimos años, denominado Mantenimiento Clase Mundial.

#### **g. Mantenimiento Clase Mundial.**

La Gestión de Activos de Clase Mundial es el conjunto de mejoras prácticas que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales, para crear un todo de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas, tal como se muestra en la FIGURA 9.

Sus principales características son:

- Establece criterios para el cumplimiento de las funciones por parte de la gente, los procesos y tecnología.
- Promueve constantemente, la revisión, y/o actualización de las mejores prácticas en el ámbito mundial.

- Enfatiza en el desarrollo de estrategias orientadas a la integración de los diferentes entes que participan en la cadena de valor de los procesos.
- Considera fundamental la tecnología de información como habilitadora esencial para la integración de los procesos.
- Asigna un peso específico a la planificación disciplinada, como función del proceso gerencial.
- Fomenta la identificación de oportunidades de mejora, generando cambios de paradigmas en el negocio.
- Orienta y gerencia el cambio planificado, como objetivo estratégico a través del desarrollo y educación permanente de la gente.

#### **h. Confiabilidad Operacional CO**

Puede definirse como la capacidad de una instalación (infraestructura, personas, tecnología) para cumplir su función, haga lo que se espera de ella; y en caso de que falle, lo haga del modo menos dañino posible.

Las empresas que insisten en confinar la Confiabilidad Operacional al departamento de Mantenimiento simplemente están dejando de lado una serie de aspectos que podrían mejorar su productividad.

#### **Parámetros Fundamentales**

La Gestión del CO se basa en cuatro parámetros fundamentales:

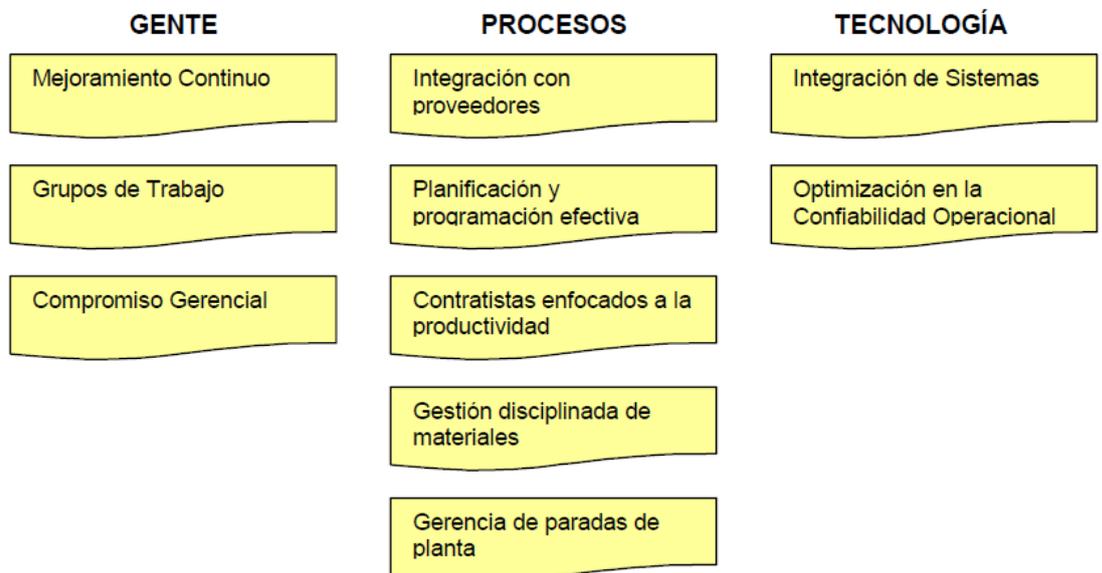
**La Confiabilidad Humana;** que involucra “la parte blanda” de la empresa, es decir, la estructura organizacional de todo el

personal, tipo de gerencia, cultura de la empresa, sistemas administrativos.

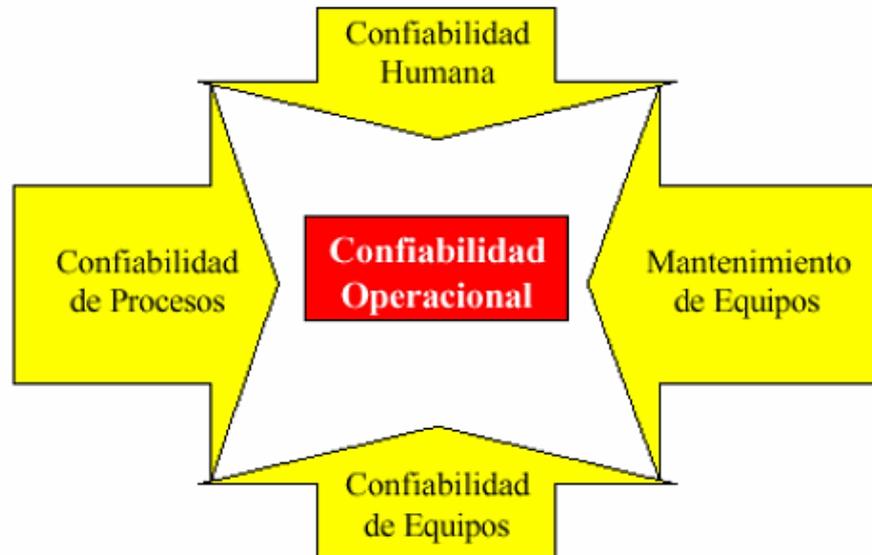
**La Confiabilidad de Procesos;** que engloba todo lo concerniente a procedimientos, procesos y operaciones.

**La Confiabilidad de Equipos;** que se orienta hacia la confiabilidad desde su diseño, es decir, involucra el tipo de diseño, cambios de tipo de material, la forma y procedimientos del ensamblaje. El objetivo fundamental de incluir los aspectos de confiabilidad desde el diseño, está relacionado con el aumento del tiempo promedio entre fallas MTBF.

**La Confiabilidad de los Procesos de Mantenimiento;** que se enfoca hacia el mantenimiento de los activos, las habilidades básicas que puede desarrollar el personal, la efectividad y calidad del mantenimiento, con el objetivo de optimizar (disminuir) el tiempo promedio para reparar MTTR.



**Figura: 10** Diez mejores prácticas del mantenimiento de clase mundial  
**Fuente:** Carlos Roberto Córdova Morales (Tesis de grado)



**Figura: 11** Aspectos de la confiabilidad operacional  
**Fuente:** REABILITYWEB

Es importante, puntualizar que en un programa de optimización del CO de un sistema, es necesario el análisis sistemático de los cuatro parámetros operacionales: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos. Ver figura 10.

La variación en conjunto o individual que pueda sufrir cada uno de los cuatro parámetros presentados, afectará el comportamiento global de la Confiabilidad Operacional de un determinado sistema.

### **Proceso de Mejoramiento**

El mejoramiento es una ruta flexible, donde las compañías buscan la excelencia empresarial y la gerencia de sus activos físicos. Es un proceso de mejoramiento continuo basado en hechos, alcanzado por una armonía de implantación de herramientas y técnicas basadas en riesgo. Las compañías que integran herramientas, técnicas y desarrollo organizativo se benefician al obtener ahorros sustanciales cada año.

A continuación se mencionan las principales aplicaciones del proceso de Mejoramiento del CO:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos estáticos y dinámicos.
- Solución de los problemas recurrentes en equipos e instalaciones que afectan los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permiten minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones, y medio ambiente.
- Establecer el alcance y frecuencia óptima de paradas de plantas.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.

#### **Técnicas del Proceso**

El mejoramiento de la CO integra la siguiente serie de técnicas.

- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM
- Análisis Causa Raíz. RCA
- Análisis de Criticidad. CA
- Inspección Basada en Riesgo. RBI
- Análisis Costo Riesgo Beneficio, y; CBA
- Optimización del Mantenimiento preventivo PMO

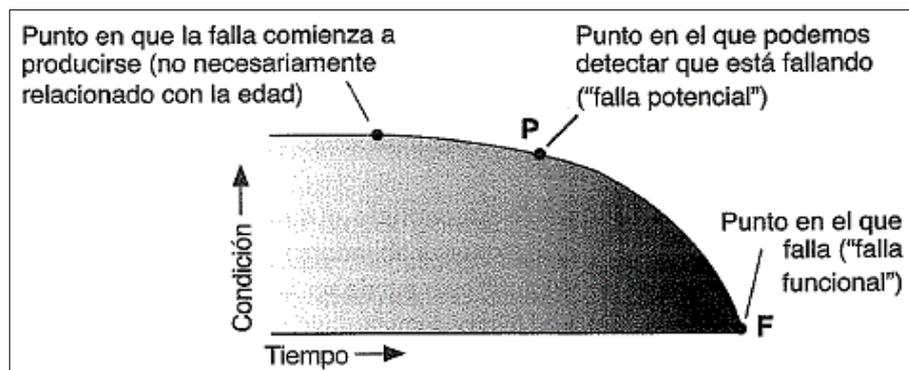
#### **2.2.4. Mantenimiento Basado en Condición (MBC)**

El mantenimiento basado en condición MBC en español en ingles CBM (Condition Based Maintenance), tiene como base el monitoreo de las condiciones o estado de los diferentes componentes de un activo para decidir el momento óptimo para realizar las tareas de mantenimiento.

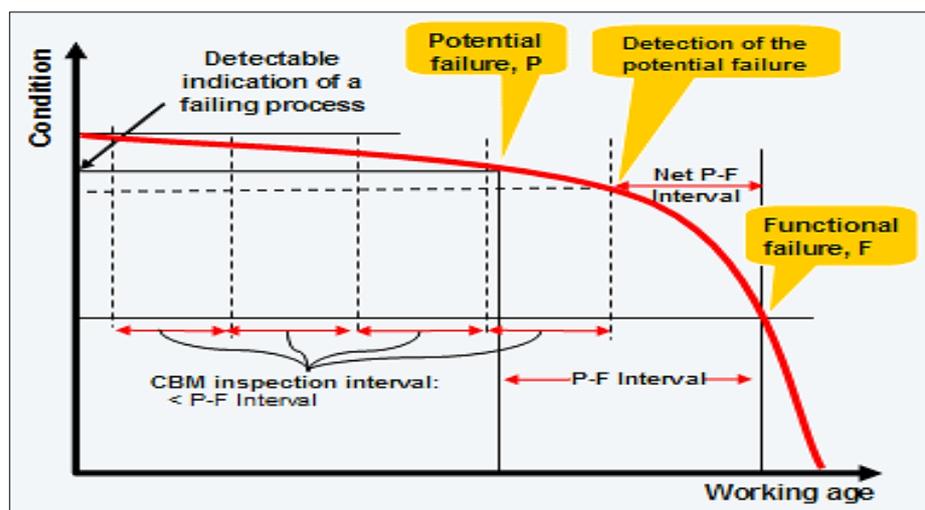
Este tipo de mantenimiento consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición.

Incluye las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación por defectos. Sus principales objetivos son:

- Reducir el impacto de los procedimientos preventivos en el resultado de la operación.
- Eliminación de desmontajes y montajes innecesarios para la inspección.
- Impedir la propagación de daños.
- Maximizar la vida útil total de los componentes de los equipos.



**Figura: 12** Curva P-F  
**Fuente:** John Moubray



**Figura: 13** Curva P-F (intervalo de intervención del MBC)  
**Fuente:** <http://solomantenimiento.blogspot.pe>

Pasos para implementar en efectivo plan de MBC.

- Recopilar las especificaciones técnicas de los activos
- Identificar los activos a incluir en el programa
- Determinar el modo y efecto de falla de los activos seleccionados
- Seleccionar la tecnología predictiva

### **2.2.5. Tecnologías Utilizadas en el MBC**

Las tecnologías utilizadas en el mantenimiento basado en condición son herramientas que permiten detectar con suficiente anticipación cambios en las condiciones mecánicas, eléctricas y operacionales del activo a través del monitoreo de variables como temperatura, ultrasonido, vibración, termografía, entre otras.

#### **a. Análisis de Vibraciones:**

El movimiento físico o movimiento de una máquina rotativa se conoce normalmente como la vibración. Dado que la frecuencia de vibración y la amplitud no se pueden medir por la vista o el tacto, un medio debe ser empleado para convertir la vibración en un producto útil que puede ser medida y analizada. La electrónica, la mecánica, la química y la física están estrechamente relacionados. Por lo tanto, sería lógicamente que la conversión de la vibración mecánica en una señal electrónica es la mejor solución. Los medios para convertir la vibración mecánica en una señal electrónica que se llama un transductor. La salida del transductor es proporcional a la rapidez con la máquina en movimiento (frecuencia) y cuánto se mueve la máquina (amplitud). La frecuencia describe lo que está mal en la máquina y describe la amplitud la relativa severidad del problema. El movimiento puede ser armónico, periódico, y / o al azar. Todo movimiento armónico es periódica. Sin embargo, todo movimiento periódico no es armónica. El movimiento

aleatorio significa que la máquina se está moviendo de una manera impredecible. (Taylor , 1994)

El análisis de vibraciones consiste en el estudio del tipo la propagación de ondas elásticas en un material homogéneo y la determinación de los efectos producidos y el modo de propagación. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica.

#### **b. Tribología y Análisis de Aceite:**

Estudia la fricción entre superficies con movimiento relativo entre sí, incluye también el estudio de la lubricación y el desgaste. Los aceites y grasas lubricantes representan la “sangre” del equipo industrial y nos refleja la salud de este, sus funciones básicas son disminuir la fricción, el desgaste y disipar el calor, por lo tanto el monitoreo del aceite o el de sus propiedades facilitan el control tanto del estado del lubricante como de manera indirecta permiten conocer el estado de los componentes. (Monje, 2010)

#### **c. Técnicas de Ultrasonido.**

##### **Principios**

El sonido es la propagación de energía mecánica (vibraciones) a Través de sólidos, líquidos y gases. La factibilidad con la cual viaja el sonido depende, sobre todo, de su frecuencia y la naturaleza del medio. El principio en el que se basa la inspección por ultrasonido es el hecho que materiales diferentes presentan diferentes “Impedancias Acústicas”.

Con frecuencias mayores al rango audible (16 a 20,000 ciclos/segundo) es conocido con el nombre de “Ultrasonido”, el cual se propaga a través de la mayoría de medios sólidos y líquidos, considerados como medios elásticos.

A frecuencias mayores a 100,000 ciclos/segundos, y gracias a su energía, el ultrasonido forma un haz, similar a la luz, por lo que puede ser utilizado para rastrear el volumen de un material. Un haz ultrasónico cumple con algunas de las reglas físicas de óptica por lo que puede ser reflejado, refractado, difractado y absorbido.

### **Inspección Ultrasónica**

La inspección ultrasónica se realiza normalmente por el método básico en el cual:

“La onda ultrasónica se transmite y se propaga dentro de una pieza hasta que es reflejada y regresa a un receptor, proporcionando información acerca de su recorrido basándose en la cantidad de energía reflejada y en la distancia recorrida”

### **Sistema de Inspección Ultrasónica**

Cuando se lleva a cabo una inspección por el método de ultrasonido industrial se requiere del uso de un Sistema de Inspección Ultrasónica (Figura 13), que consiste de los componentes básicos mencionados a continuación:

1. Generador de la señal eléctrica, un instrumento ultrasónico.
2. Conductor de la señal eléctrica, un cable coaxial.
3. El accesorio que convierte la señal eléctrica en mecánica y/o viceversa, transductor ultrasónico.
4. Medio para transferir la energía acústica a la pieza y viceversa, acoplante acústico.
5. Pieza inspeccionada.



**Figura: 14** EPOCH 4 para mediciones ultrasónicas  
**Fuente:** Leon y Russo.

El diseño de los componentes y su arreglo dependen, en primer lugar, de las características específicas de propagación de la onda ultrasónica que son utilizadas para la detección y medición de las propiedades de la pieza. Las características involucradas pueden incluir: (Leon & Russo Ingenieros S.A.C., 2012)

- La velocidad de propagación
- La geometría del haz
- La energía transferida, y
- Las pérdidas de energía

### **Termografía Infrarroja:**

La termografía es aplicada en algunos casos particulares para inspeccionar equipos rotativos como motores eléctricos, rodamientos y acoples; pero su mayor campo de aplicación y efectividad se observa en el monitoreo de equipos estáticos como hornos, transformadores, líneas de tuberías, entre otros.

### **Análisis de corriente en motores:**

Los motores eléctricos están presentes en la mayoría de las aplicaciones industriales, además de las fallas mecánicas que pueden afectar su desempeño, fallas de tipo eléctrico, que pueden originarse bien por deficiencias en la alimentación o por deficiencias en el ensamblaje. El monitoreo de la condición eléctrica se basa en la medición y registro de señales de corriente, voltaje y flujo magnético.

#### **2.2.6. Análisis de Criticidad**

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El análisis de criticidad genera una lista desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. La aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. (Huerta, 2011)

### 2.2.7. Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA/AMEF)

El AMEF como un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Con la realización del AMEF, se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias. (Córdova, 2005)

Aspectos generales del AMEF:

**Función del Activo.** Se define como el desempeño esperado de un equipo o herramienta para cumplir con un propósito específico.

- **Funciones Primarias.** Es el propósito fundamental del activo, para lo que fue concebido, es decir, para lo que se necesita y de lo que es capaz.
- **Funciones Secundarias.** Son las que soportan el cumplimiento de las funciones primarias, entre ellas, integridad ambiental y estructural, seguridad, control, confort, apariencia y dispositivos de protección.

**Falla Funcional.** Se define como el incumplimiento de una función, esta puede ser parcial o total. La falla funcional total es aquella en la que se evidencia una imposibilidad absoluta de cumplir la función principal del activo mientras que en la falla funcional parcial la función se cumple pero no de forma total.

**Modos de falla.** Son las distintas formas, modos y maneras en las que puede fallar un equipo o componente de un equipo capaz de generar una pérdida parcial o total de su función. Los modos

de falla pueden ser definidos para cualquier tipo de activo, desde un nivel muy general, hasta uno muy particular.

**Efecto de la falla.** Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido, e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla, y donde es recomendable establecer las consecuencias de la misma, esto incluye impacto en la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla. (Huerta, 2011)

### 2.2.8. Indicadores de Gestión de Equipos

- a. **Tiempo promedio entre falla (TMEF) - Mean Time Between Failure (MTBF)** Establece el periodo promedio entre fallas de un elemento en un contexto de funcionamiento dado, utilizado en elementos reparables.

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ paradas correctivas}}$$

- b. **Tiempo promedio para fallar (TPPF) - Mean Time To Failure (MTTF)** Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ Fallas}}$$

- c. **Tiempo promedio para Reparar (TPPR) - Mean Time To Repair (TPPR).** Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de

servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}}$$

**d. Disponibilidad operativa (A) (Availability).**

La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. Si la disponibilidad disminuye, es probable que también lo hagan las horas en que el equipo produce, y por ende, se hace menos efectivo. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad. (Amendola , 2014)

$$A = \frac{MUT}{(MUT + MTTR)} = \frac{HL - PP - PR}{HL}$$

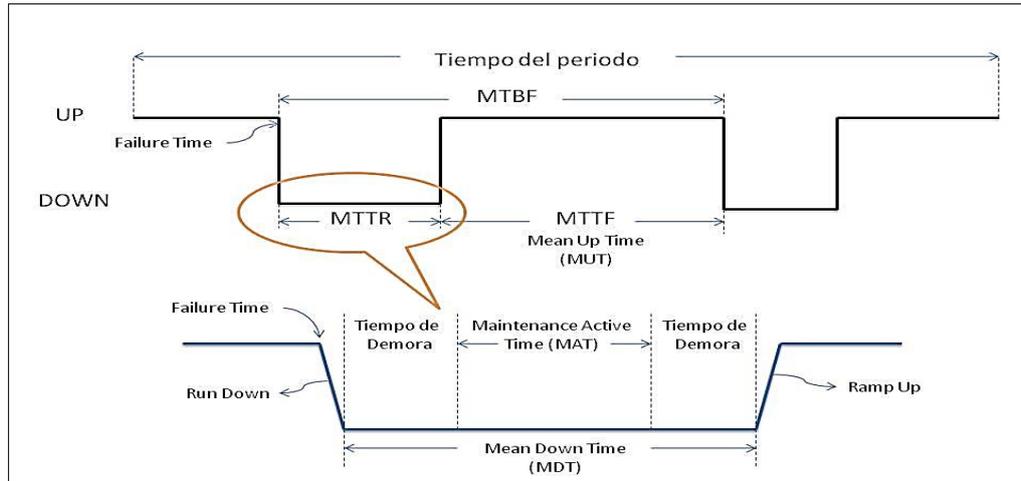
Dónde: HL: horas laborables o presupuestadas de la empresa

PP: paradas programadas para mantenimiento

PR: paradas no programadas por mantto correctivo.

MUT: (mean up time) tiempo promedio en operación o

MTBF



**Figura: 15** Tiempos de mantenimiento  
**Fuente:** Mantenimiento LA (Latino Americano)

### e. Vida Útil.

La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración en equipos.

Cuando se refiere a obras de ingeniería, como carreteras, puentes, represas, etc., se calcula en años, sobre todo para efectos de su amortización, ya que en general estas obras continúan prestando utilidad mucho más allá del tiempo estimado como vida útil para el análisis de factibilidad económica. (Wikipedia, 2014)

### f. Efectividad Operacional.

Puede definirse como la capacidad, que posee un equipo o sistema, de cumplir con sus funciones específicas y producir el efecto esperado. La efectividad relaciona las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Esta relación se evidencia en la ecuación para el cálculo de la efectividad, mostrada a continuación:

$$Efectividad = \frac{Horas\ Efectivas}{Horas\ Disponibles} \times 100$$

La efectividad operacional está estrechamente relacionada con las siguientes variables:

### **Confiabilidad.**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Si la efectividad de un equipo disminuye, es posible de que este se haga menos confiable debido a la reducción del tiempo entre fallas.

### **Mantenibilidad.**

Está definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). La mantenibilidad aumenta a medida que el tiempo fuera de servicio (TFS) disminuye. Un aumento del TFS trae como consecuencia elevación de las horas de parada y por ende reducción en la efectividad.

## **2.3. Definición de Términos Básicos**

### **2.3.1. Activo.**

Según la ISO 55000 un activo es algo que tiene un valor potencial o real para una organización así como: maquinaria, edificios, planta, etc.

**Vida del activo:** es el periodo desde su concepción hasta el final de su vida.

**Ciclo de vida del Activo:** son todas las etapas que el activo experimenta durante su vida.

### **2.3.2. Optimización.**

Planificar una actividad y que el resultado que se obtiene sea el mejor posible, es decir que se logre llegar a un punto óptimo en la disponibilidad de los alimentadores de placas realizando un adecuado mantenimiento.

### **2.3.3. Mantenimiento.**

Según DIN 31051 el mantenimiento abarca un conjunto de actividades para mantener y recuperar la situación ideal, así como la determinación y evaluación de la situación real de un sistema por medios técnicos.

Mantenimiento es el conjunto de actividades destinadas a mantener o a restablecer un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento para cumplir una función requerida.

### **2.3.4. Mantenimiento Correctivo.**

Es el conjunto de actividades realizadas después de la falla de un bien, o deterioro de sus funciones, para permitir que cumpla con su función para el cual ha sido diseñado dicho equipo.

### **2.3.5. Mantenimiento Preventivo.**

Es el mantenimiento planeado que se lleva a cabo para hacer frente a las fallas potenciales. Pueden realizarse con base en el uso o las condiciones del equipo. (Duffuaa, 2000)

Mantenimiento preventivo, involucra todas las acciones que se planean y programan con el objetivo de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos, antes de que ocurra una falla o daños mayores, eliminando o reduciendo al mínimo los gastos de mantenimientos y por supuesto, estableciendo controles para aumentar la productividad (Duffuaa, 2000)

#### **Falla.**

Se dice que un componente o equipo ha fallado cuando llega a ser completamente inoperante, puede todavía operar, pero no puede realizar satisfactoriamente la función para la que fue diseñado o por serios daños es inseguro su uso, es decir, no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad.

Incapacidad de un sistema o de uno de sus componentes para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Una condición de falla es simplemente un estado de operación insatisfactorio.

#### **Tipos de Falla.**

##### **Falla Evidente:**

Situación en la que la persona encargada de operar un equipo puede detectar una condición anormal utilizando únicamente sus sentidos, por ejemplo cuando observa un incremento en la presión diferencial de un filtro, puede advertir que este se está taponando, o cuando observa que una bomba no descarga la presión requerida por posible excesivo desgaste del impulsor, o

cuando nota una alta temperatura de un rodamiento como consecuencia de deficiencias en la lubricación.

**Falla Oculta:**

No se puede detectar durante la operación normal del equipo, estas fallas ocurren cuando se activa un evento secundario, por ejemplo una válvula de seguridad se mantiene stand by hasta que cierta presión es alcanzada por el recipiente que esta protege, en ese momento es cuando sabemos si trabaja correctamente o no.

**Falla Incipiente:**

En la mayoría de los casos las fallas son producto de un proceso de deterioro progresivo y cuantificable permitiéndose la predicción del tiempo para la falla. Incipiente es el momento en el que la falla se hace detectable. Vigilando los parámetros apropiados y definiendo valores permisibles esto resulta una tarea relativamente sencilla, la falla incipiente desde el punto de vista de la Confiabilidad es una falla funcional, es decir una de las funciones del sistema ha caído a límites inaceptables y deben planificarse las acciones proactivas, preventivas y/o correctivas oportunas para evitar la falla de la función principal del sistema.

**Equipo.**

Está constituido por un grupo de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, el cual cumple al menos una función de relevancia en forma independiente. Además se considera como un bien económico y técnico sujeto a mantenimiento.

**Sistema.**

Es un nivel de detalle constituido por un grupo de equipos que cumplen una función en específico. La mayoría están configurados en función a los procesos.

## **CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.1. Resultados de la Investigación**

La presente investigación, se ejecutó en la planta de procesos Gold Mill en la Minera Yanacocha S.R.L., ubicada en el norte del Perú, en el distrito de La Encañada, provincia y Departamento de Cajamarca, se realizó con la finalidad de optimizar la disponibilidad y la vida útil de los alimentadores de placas, de la planta mencionada, utilizando el mantenimiento basado en condición.

El estudio se centró en el área de Procesos, el cual se encarga de procesar el mineral proveniente de los tajos de operación, conjuntamente con el departamento de ingeniería de mantenimiento, el cual, se encarga de realizar actividades rutinarias como: inspecciones, pruebas, ajustes, modificaciones menores en los diferentes activos de las diferentes plantas de procesos de minera Yanacocha.

Mediante el estudio, conoceremos los problemas, deficiencias y las posibles soluciones que se puedan hacer a este tipo de activos para así disminuir las horas de paradas por mantenimientos no programados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos

### 3.1.1. Especificaciones Técnicas de los Activos.

Se procedió a realizar una recolección de datos técnicos de cada uno de los equipos. A continuación se muestran estos datos la hoja de especificaciones de los tres alimentadores de placas, ubicados debajo de la pila de almacenamiento de alimentación a la faja 1300 del molino SAG:

**Tabla 2.** Especificaciones Técnicas de la Muestra

MODELO DE ALIMENTADORES	MODELO DE CADENA	PASO (PULG)	PERNO DE ARTESA GRADO 8	PAR DE TORSIÓN	
				SISTEMA INGLES FT-LBS	SISTEMA MÉTRICO (Nm)
AF8	D6	8	¾" Dia.	370	502

**Fuente:** Ingeniería de mantenimiento Yanacocha - 2015

### 3.1.2. Mantenimientos Correctivos.

El proceso de mantenimiento programado para los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L. no se cumple según lo planificado. Lo cual afecta a la disponibilidad y rendimiento de dichos activos, lo que genera pérdidas económicas en la producción que es \$ 34000.00 por hora de parada de equipo y además pérdidas por mantenimientos correctivos que se adopta la política de trabajo de emergencia debido a que es un equipo crítico.

Para comprender el problema del presente trabajo de investigación, se recopiló información de los datos de paradas no programadas desde Febrero hasta agosto de 2016 y se obtuvo el siguiente cuadro de disponibilidad.

**Tabla 3.** Disponibilidad Operativa de los alimentadores de placas

<b>DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 1</b>				
Mes	HL	PP	PR	A
enero	744	37.2	331.72	50%
febrero	672	33.6	36.32	90%
marzo	744	37.2	207.35	67%
abril	720	36	48.91	88%
mayo	744	37.2	-9.37	96%
junio	720	36	47.65	88%
julio	744	37.2	5.34	94%
agosto	744	37.2	78.92	84%
<b>DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 2</b>				
Mes	HL	PP	PR	A
enero	744	37.2	299.18	55%
febrero	672	33.6	20.32	92%
marzo	744	37.2	248.97	62%
abril	720	36	214.02	65%
mayo	744	37.2	22.70	92%
junio	720	36	26.36	91%
julio	744	37.2	-22.37	98%
agosto	744	37.2	62.92	87%
<b>DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 3</b>				
Mes	HL	PP	PR	A
enero	744	37.2	322.53	52%
febrero	672	33.6	36.09	90%
marzo	744	37.2	211.03	67%
abril	720	36	-3.40	95%
mayo	744	37.2	-16.23	97%
junio	720	36	81.40	84%
julio	744	37.2	1.34	95%
agosto	744	37.2	74.59	85%

**Fuente:** Software de gestión de mantenimiento (SAP) – Yanacocha - 2015

La disponibilidad operativa de los alimentadores de placas no está alineada con las políticas de la empresa.

$$A = \frac{MUT}{(MUT + MTTR)} = \frac{HL - PP - PR}{HL}$$

Dónde: HL: horas laborables o presupuestadas de la empresa

PP: paradas programadas para mantenimiento

PR: paradas no programadas por mantto correctivo.

MUT: (mean up time) tiempo promedio en operación o  
MTBF

**Tabla 4.** Disponibilidad anual histórica

DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 1				
AÑO	2012	2013	2014	2015
HL	5136.00	8760.00	6552.00	8760.00
PP	256.80	438.00	327.60	438.00
PR	1374.48	2266.13	1094.48	1127.19
A	0.68	0.69	0.78	0.82
DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 2				
AÑO	2012	2013	2014	2015
HL	5136.00	8760.00	6552.00	8760.00
PP	256.80	438.00	327.60	438.00
PR	1333.14	2403.28	1097.12	1036.60
A	0.69	0.68	0.78	0.83
DISPONIBILIDAD OPERATIVA APRON 3				
AÑO	2012	2013	2014	2015
HL	5136.00	8760.00	6552.00	8760.00
PP	256.80	438.00	327.60	438.00
PR	1484.58	2206.02	1114.30	985.86
A	0.66	0.70	0.78	0.84

**Fuente:** Software de gestión de mantenimiento (SAP) – Yanacocha

En la tabla anterior se aprecia que los trabajos no programados por mantenimiento preventivo y la disponibilidad operativa desde el año 2012. Se observa que no se ha ejecutado un adecuado plan de mantenimiento a estos activos lo que conlleva a sacrificar la operatividad de los mismos.

### 3.1.3. Selección de las Herramientas Predictivas

En base a la información recabada por el área de ingeniería de mantenimiento y recomendaciones de personal especializado (Ferreyros) y a la capacidad de adaptación al entorno operacional, se optó por el Ultrasonido, como herramientas predictiva.

Esta selección fue avalada por el área de ingeniería de mantenimiento de la empresa minera Yanacocha S.R.L.

Con el objeto de complementar el diagnóstico de la condición de los activos, se implementó el monitoreo de la temperatura y actividades preventivas basadas en inspección visual, como herramientas de apoyo.

#### **a. Ultrasonido**

Ultrasonido es el nombre dado al estudio y aplicación de ondas sónicas que se transmiten a frecuencias mayores que las que pueden ser detectadas por el oído humano, arriba de 20,000 Hz (Hertz o ciclos por segundo). En las pruebas ultrasónicas por contacto, el rango de frecuencias comúnmente usado es de 2.25 a 10 MHZ (Megahertz o millones de ciclos por segundo). En algunos casos particulares se emplean frecuencias debajo de este rango y para métodos de inmersión las frecuencias pueden ser hasta de 30 MHZ.

#### **a. Indicador de Desgaste Ultrasónico**

El indicador de desgaste ultrasónico mide el grosor de los componentes mediante el envío de ondas sonoras de frecuencia alta a través del material que se está midiendo. El tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de las ondas sonoras le permite a la herramienta determinar el grosor.

Esta herramienta electrónica del Servicio Especial de Cadenas tiene las siguientes características y ventajas:

#### **Sonda emisora de ondas ultrasónicas**

- Reduce el tiempo de limpieza de piezas (especialmente bujes y zapatas).
- Elimina errores de medición por el material compactado alrededor de las piezas.
- Mide los bujes después de voltearlos.

- Elimina errores causados por las diferencias en las técnicas de medición de los inspectores.
- Mide el desgaste de la pestaña central de las ruedas guía.

### **Memoria**

- Reduce el tiempo de registro de las mediciones en el lugar de trabajo.
- Almacena los datos de inspección de 64 máquinas.
- Se descarga en el programa SEC (CTS) para computadora para cálculos automáticos de porcentaje de desgaste y proyecciones de vida útil.
- Carga inspecciones previas desde el programa para PC del Servicio Especial de Cadenas, y mejora la velocidad y la calidad de las mediciones.

### **Capacidad para idiomas**

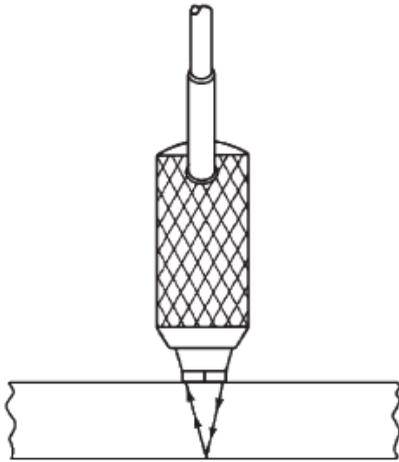
- Inglés, francés, alemán, portugués y español.

### **Conector de auriculares**

- Permite que los usuarios escuchen el indicador de emisión de sonido “acoplado.”

### **Función de retroiluminación**

- Permite a los usuarios ver la pantalla en condiciones de luz deficiente.



**Figura: 16** Equipo de ultrasonido  
**Fuente:** Ingeniería de Mantenimiento - Yanacocha

### **b. Monitoreo de Temperatura.**

Esta herramienta sirvió de apoyo al momento de diagnosticar anomalías relacionadas con los modos de falla de los alimentadores de placas, debido a que la temperatura es una variable que, en condiciones de operación normal es muy estable.



**Figura: 17** Pirómetro  
**Fuente:** Ingeniería de Mantenimiento - Yanacocha

### **c. Inspección Visual.**

La selección de las herramientas predictivas fue complementada con la implementación de Inspecciones Visuales, ya que permite detectar problemas en cuanto a: Estado físico de componentes; funcionamiento de instrumentos asociados a los activos; fugas de fluidos

manejados, niveles de lubricantes y refrigerantes; existencia de condiciones inseguras para el personal operador, de mantenimiento o inspección y riesgos para el ambiente o la seguridad además del apoyo del uso del juego de herramientas del servicio especial de cadenas.



**Figura: 18** Juego de Herramientas del servicio especial de cadenas  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CAT

Número de pieza	Descripción	Uso
6V-9413	Juego de herramientas	Juego completo de herramientas
6V-7784	Bolsa SEC	Herramientas portátiles
8H-8580	Raspador	Limpieza de los componentes del tren de rodaje
5P-3920	Regla de acero de 12"	Con calibre y medidor de profundidad
4S-9404	Calibrador de 4"	D.E. del buje
8T-7790	Calibrador de 6"	D11N, D11R D.E. de buje
4S-9405	Calibrador de 12"	Diámetro de rodillo
5P-3277	Cinta métrica de 12 pies	Paso de la cadena, ruedas motrices de D4H-D11R
5P-8616	Medidor de rueda motriz D4-D5-D6	Segmentos del mismo tamaño
5P-8617	Medidor de rueda motriz D7-D8-D9	Segmentos del mismo tamaño
6V-9410*	Medidor de profundidad Multiuso	Todos los modelos

**Figura: 19** Descripción de herramientas del servicio especial de cadenas  
**Fuente:** Ingeniería Mantenimiento - MYSRL

Una vez seleccionadas las herramientas predictivas a emplear, se procedió a plantear, diseñar y estructurar una serie de aspectos claves, relacionados con dichas herramientas y con los AMEF de los equipos en estudio, necesarios para la recolección y análisis de los datos. Estos aspectos fueron fundamentales al momento de obtener un diagnóstico acertado de la condición de los equipos. A continuación se mencionan y explican los límites de desgaste de los componentes:

#### **3.1.4. Análisis de Desgaste para Determinar la Vida Útil**

Cada componente tiene sus propias técnicas de medición, límites de desgaste, tablas de desgaste, criterios de reconstrucción, patrones de desgaste y problemas estructurales. La información general de cada componente se verá en la siguiente sección. Las excepciones y suplementos específicos se tratan en las secciones del producto correspondiente.

Todos los datos de porcentaje de desgaste son porcentajes de tiempo de uso y no porcentajes de material usado. Esto permite que se utilicen para calcular directamente la vida útil estimada hasta el límite de servicio o límite de retiro.

Las tablas de porcentaje de desgaste que se presentaran se aplican la tasa de desgaste más baja cuando la superficie templada todavía está presente y la tasa de desgaste más rápida cuando queda expuesto el material más blando.

Se incluyen tablas para aplicaciones de impacto alto y bajo, donde corresponda. También se proporcionan tablas de desgaste permisible mayor y menor para la integridad estructural de los eslabones y bujes de los alimentadores. Las recomendaciones para la selección de las tablas de desgaste permisible mayor o menor y de impacto alto, moderado o bajo,

se encuentran al inicio de cada sección de las tablas de desgaste. Las mediciones correspondientes al 100% de desgaste (el límite de servicio) están subrayadas.

En la mayoría de los casos, las estimaciones de límite de servicio hechas con menos del 30% de desgaste no se pueden considerar precisas.

Sin embargo, estas estimaciones se pueden usar para determinar las fechas de servicio.

Se proporcionan porcentajes mayores del 100% para poder calcular las estimaciones hasta el 120% de desgaste. También pueden hacerse proyecciones retrospectivas hasta el límite de servicio (100%) para determinar cuándo se llegó al límite de servicio.

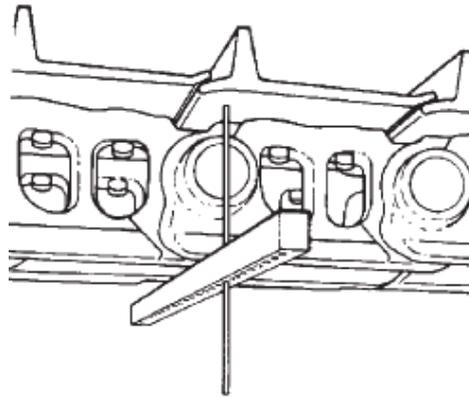
Una explicación independiente bajo cada subsección de componente (eslabones, bujes, etc.) describe cómo se deduce el límite de servicio y el riesgo correspondiente cuando el componente se desgasta más allá de ese punto.

NOTA: La estimación de la inspección, vida útil y mantenimiento/reconstrucción de los trenes de rodaje de la competencia no puede determinarse con la información de este trabajo de investigación debido a la falta de información de diseño, desgaste estimado y límites de servicio, aunque algunas de las dimensiones más importantes sean similares.

#### **a. Desgaste del riel de eslabones**

##### **Técnica de medición**

Las mediciones de los eslabones de cadena se pueden obtenerse con el medidor de profundidad o con el indicador de desgaste ultrasónico.



**Figura: 20** Medición con medidor de profundidad en Eslabón  
**Fuente:** CATERPILLA®

El medidor de profundidad indica la altura del eslabón desde la superficie del riel a la zapata de cadena. La ubicación para la correcta medición del eslabón de cadena es la parte exterior de los eslabones, en el extremo del pasador. Ponga el medidor de profundidad tan cerca como sea posible del extremo del pasador, asegurándose antes que los eslabones y la superficie de las artesas estén limpios. Asegúrese de que el medidor está plano sobre los rieles del eslabón y perpendicular a la superficie de la zapata. La medición debe tomarse con una exactitud de 0,01 pulg ó 0,25 mm.



**Figura: 21** Medición con ultrasonido en Eslabón  
**Fuente:** CATERPILLAR®

El indicador de desgaste ultrasónico mide la distancia desde la superficie del riel hasta el orificio del buje. Ponga la sonda en el eslabón sobre la línea central del buje y deslícela a lo largo de la superficie de la banda de rodadura para obtener el menor valor.

## **Límites de desgaste**

Los límites de desgaste de los eslabones se determinan fijando el desgaste permisible en una fracción del espacio libre entre el eslabón y el rodillo.

En un eslabón y un rodillo 100% desgastados, las pestañas del rodillo están en contacto con las masas del pasador del eslabón o con los bujes.

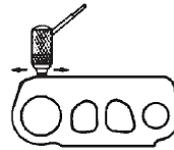
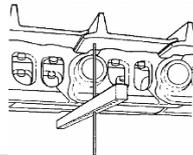
Cuando el desgaste supera el 100%, el desgaste de la masa del eslabón reduce la capacidad de penetración del pasador, y el desgaste de los bujes puede producir grietas.

Si el eslabón se desgasta más allá del 100%, los daños estructurales pueden resultar en grietas, roturas y en pasador y bujes sueltos.

## **Límites de desgaste — Mayor y menor**

Los límites de desgaste de los eslabones de la cadena sellada y lubricada se determinan mediante la fuerza de resistencia restante al agrietamiento.

**Tabla 5.** Límites de desgaste en eslabones



medidor de profundidad		% desgaste	ultrasonido		
pulgadas	(mm)		pulgadas	(mm)	
5.19	132.0	0	1.69	42.9	
5.17	131.5	4	1.67	42.4	
5.15	131.0	8	1.65	41.9	
5.13	130.5	12	1.63	41.4	
5.11	130.0	16	1.61	40.9	
5.09	129.5	20	1.59	40.4	
5.07	129.0	24	1.57	39.9	
5.05	128.5	28	1.55	39.4	
5.03	128.0	32	1.53	38.9	
5.01	127.5	36	1.51	38.4	
4.99	126.5	40	1.49	37.9	
4.97	126.0	44	1.47	37.4	
4.95	125.5	48	1.45	36.9	
4.93	125.0	52	1.43	36.4	
4.91	124.5	56	1.41	35.9	
4.89	124.0	60	1.39	35.4	
4.87	123.5	64	1.37	34.9	
4.85	123.0	68	1.35	34.4	
4.83	122.5	72	1.33	33.9	
4.81	122.0	76	1.31	33.4	
4.79	121.5	80	1.29	32.9	
4.77	121.0	84	1.27	32.4	
4.75	120.5	88	1.25	31.9	
4.73	120.0	91	1.23	31.4	
4.71	119.5	94	1.21	30.9	
4.69	119.0	97	1.19	30.4	
4.67	118.5	100	1.17	29.9	Operativo
4.65	118.0	103	1.15	29.4	Retiro o cambio de eslabones
4.63	117.5	106	1.13	28.9	
4.61	117.0	109	1.11	28.4	
4.59	116.5	112	1.09	27.9	
4.57	116.0	115	1.07	27.4	
4.55	115.5	118	1.05	26.9	
4.53	115.0	121	1.03	26.4	Falla

Fuente: Servicio especial de cadenas - 2012

## Límites de servicio de eslabones anteriores

### PASO 1

$$\text{Altura del nuevo eslabón} - \text{Altura del eslabón desgastado} \\ = \text{Cantidad de desgaste}$$

### PASO 2

$$\frac{\text{Cantidad de desgaste}}{\text{Desgaste permisible}} \times 100 = \text{porcentaje de desgaste}$$

Tabla 6. Modelos de Cadenas

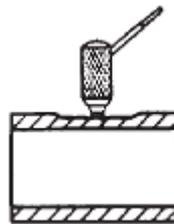
Modelo	Paso de cadena	Número de pieza de eslabón	Altura de eslabón nuevo	Desgaste permisible	Servicio
D2	6,12 pulg (155,4 mm)	5B-3129 y 30	3,00 pulg (76,2 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	2,75 pulg (69,9 mm)
D3	6,125 pulg (155,3 mm)	6S-3143 y 44	3,18 pulg (81 mm)	0,26 pulg (7 mm)	2,92 pulg (74 mm)
D4	6,75 pulg (171,5 mm)	5K-9423 y 24	3,66 pulg (93,0 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	3,41 pulg (86,6 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	5K-9457 y 58	3,66 pulg (93,0 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	3,41 pulg (86,6 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	4K-6647 y 48	3,66 pulg (93,0 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	3,41 pulg (86,6 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	4K-7039 y 40	3,66 pulg (93,0 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	3,41 pulg (86,6 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	6B-6645 y 46	3,53 pulg (89,7 mm)	0,25 pulg (6,4 mm)	3,28 pulg (83,3 mm)
D5	6,91 pulg (175,5 mm)	5S-683 y 84	4,06 pulg (103,1 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	3,69 pulg (93,7 mm)
D6 es el tipo de cadena de los alimentadores	8,00 pulg (203,2 mm)	9M-5627 y 28	4,50 pulg (114,3 mm)	0,30 pulg (7,6 mm)	4,20 pulg (106,7 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	2S-5959 y 60	4,00 pulg (101,5 mm)	0,34 pulg (8,6 mm)	3,66 pulg (93,0 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	7M-8863 y 64	3,91 pulg (99,3 mm)	0,30 pulg (7,6 mm)	3,61 pulg (91,7 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	1M-1431 y 32	3,91 pulg (99,3 mm)	0,30 pulg (7,6 mm)	3,61 pulg (91,7 mm)
	6,75 pulg (171,5 mm)	5H-8579 y 60	3,78 pulg (96,0 mm)	0,30 pulg (7,6 mm)	3,48 pulg (88,4 mm)
D7	8,50 pulg (215,9 mm)	2S-1749 y 50	4,75 pulg (120,7 mm)	0,35 pulg (8,9 mm)	4,40 pulg (111,8 mm)
	8,50 pulg (215,9 mm)	1M-9001 y 02	4,75 pulg (120,7 mm)	0,35 pulg (8,9 mm)	4,40 pulg (111,8 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	1S-6433 y 34	4,63 pulg (117,6 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,25 pulg (108,0 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	7M-8085 y 66	4,50 pulg (114,3 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,12 pulg (104,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	1S-1863 y 64	4,62 pulg (117,5 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,24 pulg (107,5 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	1S-6433 y 34	4,50 pulg (114,3 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,12 pulg (104,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	7M-6763 y 64	4,50 pulg (114,3 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,12 pulg (104,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	2M-7265 y 66	4,50 pulg (114,3 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,12 pulg (104,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	2H-959 y 60	4,50 pulg (114,3 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,12 pulg (104,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	7H-3799 y 800	4,88 pulg (124,0 mm)	0,33 pulg (8,4 mm)	4,55 pulg (115,6 mm)
D8	9,00 pulg (228,6 mm)	1S-4033 y 34	5,25 pulg (133,3 mm)	0,42 pulg (10,7 mm)	4,83 pulg (122,7 mm)
	9,00 pulg (228,6 mm)	2M-8813 y 14	5,12 pulg (130,0 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,74 pulg (120,4 mm)
	9,00 pulg (228,6 mm)	1M-1447 y 48	5,12 pulg (130,0 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	4,75 pulg (120,7 mm)
	9,00 pulg (228,6 mm)	9M-3843 y 44	5,12 pulg (130,0 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	4,75 pulg (120,7 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	1S-8839 y 40	4,97 pulg (126,2 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,59 pulg (116,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	7H-3799 y 800	4,88 pulg (124,0 mm)	0,33 pulg (8,4 mm)	4,55 pulg (115,6 mm)
	8,00 pulg (203,2 mm)	2H-953 y 54	4,75 pulg (120,7 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	4,38 pulg (111,3 mm)
D9	10,25 pulg (260,4 mm)	9S-1927 y 28	6,12 pulg (155,5 mm)	0,50 pulg (12,0 mm)	5,62 pulg (142,5 mm)
	10,25 pulg (260,4 mm)	7S-3925 y 26	5,68 pulg (144,5 mm)	0,38 pulg (10,0 mm)	5,30 pulg (134,5 mm)
	10,25 pulg (260,4 mm)	1S-6323 y 24	5,68 pulg (144,5 mm)	0,38 pulg (10,0 mm)	5,30 pulg (134,5 mm)
	10,25 pulg (260,4 mm)	8M-6901 y 02	5,56 pulg (141,2 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	5,19 pulg (131,8 mm)
	10,25 pulg (260,4 mm)	2M-5649 y 50	5,56 pulg (141,2 mm)	0,37 pulg (9,4 mm)	5,19 pulg (131,8 mm)
	9,00 pulg (228,6 mm)	2M-1623 y 24	5,25 pulg (133,4 mm)	0,35 pulg (8,9 mm)	4,90 pulg (124,5 mm)
	9,00 pulg (228,6 mm)	2F-5879 y 80	5,00 pulg (127,0 mm)	0,38 pulg (9,7 mm)	4,62 pulg (117,3 mm)

Fuente: CATERPILLAR®- 2007

## b. Desgaste de Bujes de Cadena Sellada y Lubricada

### Técnica De Medición

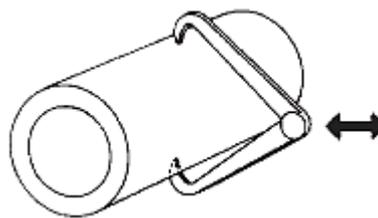
El buje de cadena es el componente más importante del tren de rodaje que se debe medir e interpretar con exactitud, Para hacerlo, dispone de tres métodos de medición. Debe consultar la sección individual de la familia de modelo para obtener recomendaciones específicas sobre el método que se debe usar, porque la tercera herramienta que se describe aquí, el medidor de profundidad, sólo registra desgaste de posición vertical.



**Figura: 22** Medición Ultrasónica de Bujes.  
**Fuente:** CATERPILLAR®

### 1. Método del indicador de desgaste ultrasónico.

Este método es el más preciso porque mide el grosor de la pared del buje. Para medir, deslice lentamente la sonda por los lados de mando de retroceso, avance y vertical. Use la medida más pequeña para determinar el porcentaje desgastado.



**Figura: 23** Medición con Calibrador de Bujes.  
**Fuente:** CATERPILLAR®

### 2. Método con calibrador

Este método mide el diámetro del buje. Con una limpieza cuidadosa y una técnica apropiada puede ser precisa, pero es susceptible al error si no se mide apropiadamente.

**Tabla 7.** Porcentajes de Desgaste de Bujes

Calibrador		Desgaste Permissible		Ultrasonido		Medidor de Profundidad	
Pulgadas	(mm)	Menor % Desgaste	Mayor % Desgaste	Pulgadas	(mm)	Pulgadas	(mm)
2.86	72.6	0	0	0.53	13.5	3.52	89.4
2.85	72.4	5	4	0.52	13.2	3.51	89.2
2.84	72.1	10	8	0.51	13.0	3.5	88.9
2.83	71.9	15	12	0.5	12.7	3.49	88.6
2.82	71.6	20	16	0.49	12.4	3.48	88.4
2.81	71.4	25	20	0.48	12.2	3.47	88.1
2.8	71.1	30	24	0.47	11.9	3.46	87.9
2.79	70.9	35	28	0.46	11.7	3.45	87.6
2.78	70.6	40	32	0.45	11.4	3.44	87.4
2.77	70.4	45	36	0.44	11.2	3.43	87.1
2.76	70.1	50	40	0.43	10.9	3.42	86.9
2.75	69.9	55	44	0.42	10.7	3.41	86.6
2.74	69.6	60	46	0.41	10.4	3.4	86.4
2.73	69.3	65	48	0.4	10.2	3.39	86.1
2.72	69.1	70	50	0.39	9.9	3.38	85.9
2.71	68.8	72	52	0.38	9.7	3.37	85.6
2.7	68.6	74	54	0.37	9.4	3.36	85.3
2.69	68.3	76	56	0.36	9.1	3.35	85.1
2.68	68.1	78	58	0.35	8.9	3.34	84.8
2.67	67.8	80	60	0.34	8.6	3.33	84.6
2.66	67.6	82	62	0.33	8.4	3.32	84.3
2.65	67.3	84	64	0.32	8.1	3.31	84.1
2.64	67.1	86	66	0.31	7.9	3.3	83.8
2.63	66.8	88	68	0.3	7.6	3.29	83.6
2.62	66.5	90	70	0.29	7.4	3.28	83.3
2.61	66.3	92	72	0.28	7.1	3.27	83.1
2.6	66.0	94	74	0.27	6.9	3.26	82.8
2.59	65.8	96	76	0.26	6.6	3.25	82.5
2.58	65.5	98	78	0.25	6.4	3.24	82.3
2.57	65.3	100	80	0.24	6.1	3.23	82.0
2.56	65.0	102	82	0.23	5.8	3.22	81.8
2.55	64.8	104	84	0.22	5.6	3.21	81.5
2.54	64.5	106	86	0.21	5.3	3.2	81.3
2.53	64.3	108	88	0.2	5.1	3.19	81.0
2.52	64.0	110	90	0.19	4.8	3.18	80.8
2.51	63.8	112	92	0.18	4.6	3.17	80.5
2.5	63.5	114	94	0.17	4.3	3.16	80.3
2.49	63.2	116	96	0.16	4.1	3.15	80.0
2.48	63.0	118	98	0.15	3.8	3.14	79.8
2.47	62.7	120	100	0.14	3.6	3.13	79.5
2.46	62.5	-	102	0.13	3.3	3.12	79.2
2.45	62.2	-	104	0.12	3.0	3.11	79.0
2.44	62.0	-	106	0.11	2.8	3.1	78.7
2.43	61.7	-	108	0.1	2.5	3.09	78.5
2.42	61.5	-	110	0.09	2.3	3.08	78.2
2.41	61.2	-	112	0.08	2.0	3.07	78.0
2.4	61.0	-	114	0.07	1.8	3.06	77.7
2.39	60.7	-	116	0.06	1.5	3.05	77.5
2.38	60.5	-	118	0.05	1.3	3.04	77.2
2.37	60.2	-	120	0.04	1.0	3.03	77.0

Mantto

Retiro

Fuente: Servicio Especial de Cadenas y Propia – 2016

## **Límites de desgaste — Mayor y menor**

Los límites de desgaste de los bujes de la Cadena Sellada y Lubricada los determina la resistencia restante al agrietamiento. En la tabla de desgaste de buje se proporcionan columnas de desgaste del 2% titulada “Mayor desgaste permisible” y “Menor desgaste permisible.”

Cuando se alcanza el 100% de desgaste, la columna con menor capacidad de desgaste proporciona un mayor grosor de pared de buje que la columna con mayor capacidad de desgaste. Observe, por ejemplo, que en las tablas de desgaste, bajo las mediciones ultrasónicas, la pared del buje es siempre más gruesa y, por lo tanto, más resistente a las grietas, en la columna con menor capacidad de desgaste que en la columna con mayor capacidad de desgaste.

La selección de la columna óptima de desgaste permisible maximizará la vida útil del buje evitando al mismo tiempo el agrietamiento del eslabón. La columna de porcentaje de desgaste óptimo depende de la resistencia relativa al agrietamiento del buje necesaria en su caso.

La cantidad de resistencia necesaria contra el agrietamiento depende de la vida estimada del buje y la aplicación.

## **Volteo de los bujes de la cadena sellada y lubricada**

Los bujes de la Cadena Sellada y Lubricada deben voltearse basándose en las pautas que se indican basado que es una cadena D6.

## **Límites de desgaste**

Como se indicó anteriormente, los límites de desgaste de los bujes de la cadena sellada se determinan según la resistencia

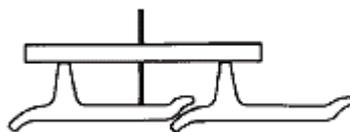
restante antes y después del volteo. El desgaste permisible de los bujes externos de la cadena sellada es considerablemente menor que el de los bujes de la cadena sellada y lubricada. La menor capacidad de desgaste hasta el punto de servicio es de 0,14 pulg (3,6 mm). El desgaste mayor permisible hasta el punto de servicio es de 0,19 pulg (4,8 mm). Los límites de desgaste siempre deben seleccionarse dependiendo del grado de impacto esperado, y no de la abrasión o vida útil deseada.

Los valores de las tablas de desgaste de los bujes de la Cadena Sellada incorporan (a) una tasa de desgaste de aproximadamente el doble del desgaste esperado, después de que la profundidad de templado del buje se ha desgastado totalmente, y (b) un desgaste esperado aún más rápido (aproximadamente tres veces más) después de que una cantidad considerable de desgaste interno acelere el desgaste por causa de cargas de interferencia mayores y el movimiento relativo entre los bujes y la rueda motriz.

### c. Desgaste de la Artesa

#### Técnica de medición

El desgaste de la garra es la única posición de desgaste medible en la artesa para la que se ha proporcionado límites y tablas de porcentaje de desgaste. El grosor de la placa puede medirse y compararse con las dimensiones nuevas para determinar el desgaste. Las Artesa de la cadena se pueden medir con el indicador de desgaste ultrasónico o con el medidor de profundidad.



**Figura: 24** Medición mediante el indicador de desgaste  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas - CAT

El indicador de desgaste ultrasónico mide la distancia desde la punta de la garra (Pestaña) hasta la parte inferior de la placa. Esta medición debe tomarse a 1/3 de la distancia total desde el borde exterior de la Artesa, y la sonda puede ponerse en la parte de arriba o de abajo.

El desgaste de altura de la garra se mide con el medidor de profundidad, fijando la base entre dos garras adyacentes y midiendo hacia abajo hasta la placa. La posición del medidor de profundidad debe estar a 1/3 de distancia hacia adentro a partir del borde exterior de la zapata. Cuando se miden garras sencillas, deben incluirse dos zapatas y la cadena debe estar recta entre estas dos secciones. Las mediciones deben hacerse con una exactitud de 0,02 pulg o 0,5 mm.



**Figura: 25** Medición mediante el indicador de desgaste  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

**Tabla 8.** Porcentajes de desgaste de las Artesas

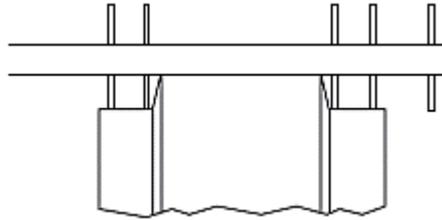
Medidor de Profundidad		Alto impacto % Desgaste	Impacto bajo/moderado % Desgaste	Ultrasonido		
Pulgadas	(mm)			Pulgadas	(mm)	
2.55	64.8	0	0	3.05	77.5	
2.50	63.5	5	4	3.00	76.2	
2.45	62.2	10	8	2.95	74.9	
2.40	61.0	15	12	2.90	73.7	
2.35	59.7	20	16	2.85	72.4	
2.30	58.4	25	20	2.80	71.1	
2.25	57.2	30	24	2.75	69.9	
2.20	55.9	35	28	2.70	68.6	
2.15	54.6	40	31	2.65	67.3	
2.10	53.3	45	34	2.60	66.0	
2.05	52.1	50	37	2.55	64.8	
2.00	50.8	55	40	2.50	63.5	
1.95	49.5	60	43	2.45	62.2	
1.90	48.3	65	46	2.40	61.0	
1.85	47.0	70	49	2.35	59.7	
1.80	45.7	75	52	2.30	58.4	
1.75	44.5	80	55	2.25	57.2	
1.70	43.2	84	58	2.20	55.9	
1.65	41.9	88	61	2.15	54.6	
1.60	40.6	92	64	2.10	53.3	
1.55	39.4	96	67	2.05	52.1	
1.50	38.1	100	70	2.00	50.8	
1.45	36.8	104	73	1.95	49.5	
1.40	35.6	108	76	1.90	48.3	
1.35	34.3	112	79	1.85	47.0	
1.30	33.0	116	82	1.80	45.7	
1.25	31.8	120	85	1.75	44.5	
1.20	30.5	-	88	1.70	43.2	
1.15	29.2	-	91	1.65	41.9	
1.10	27.9	-	94	1.60	40.6	
1.05	26.7	-	97	1.55	39.4	
1.00	25.4	-	100	1.50	38.1	Mantenimiento
0.95	24.1	-	103	1.45	36.8	
0.90	22.9	-	106	1.40	35.6	
0.85	21.6	-	109	1.35	34.3	
0.80	20.3	-	112	1.30	33.0	
0.75	19.1	-	115	1.25	31.8	
0.70	17.8	-	118	1.20	30.5	Retiro
0.65	16.5	-	121	1.15	29.2	

Fuente: Manual CTS - 2016

#### d. Desgaste de la Rueda Guía — Ruedas Guía

##### Técnica de medición

El desgaste de la banda de rodadura y de la pestaña central son los sitios de medición de desgaste en las ruedas guía.



**Figura: 26** Medición de la rueda guía con medidor de profundidad  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

El desgaste de la banda de rodadura se determina midiendo con el medidor de profundidad desde la pestaña de la banda de rodadura central hasta la superficie de la banda de rodadura. Tome una lectura de ambos lados de la banda de rodadura central y haga el promedio de las mediciones. El mayor error al medir el desgaste de la banda de rodadura de la rueda guía se produce por el desgaste de la pestaña de centro, que altera el punto de referencia. Si se sospecha este tipo de desgaste, debe tratar de compensarse al hacer la lectura. Recuerde que la medición del desgaste de la banda de rodadura de la rueda guía aumenta con el desgaste de la banda de rodadura y disminuye con el desgaste de la pestaña central.



**Figura: 27** Medición de la rueda guía con ultrasonido  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLA®

El desgaste de la pestaña central se mide con el indicador de desgaste ultrasónico solamente en las ruedas guía fabricadas (soldadas). El indicador mide el grosor de la pestaña central y debe tomarse directamente en el centro de la pestaña. Para

obtener el desgaste de la superficie de la banda de rodadura use el medidor de profundidad convencional, y luego añada el desgaste de la pestaña central antes de determinar el porcentaje de desgaste.

### **Límites de desgaste**

Los límites de desgaste de la banda de rodadura de la rueda guía se basan en dos criterios básicos: La capacidad de reconstrucción de la superficie de la banda de rodadura más el espacio libre entre la pestaña central y los bujes de la cadena. Si la rueda guía se desgasta más allá del 110%, el espesor mínimo de la banda de rodadura impedirá su reconstrucción.

### **Capacidad de reconstrucción**

La banda de rodadura y la pestaña de la rueda guía pueden reconstruirse (soldarse) varias veces, si no están desgastadas más allá de los límites de servicio y si el desgaste de la pestaña central se considera dentro del punto de servicio.

Por lo general, las ruedas guías reconstruidas con las dimensiones originales tienen una vida útil igual a la de la banda de rodadura original, con los mismos límites de desgaste.

**Tabla 9.** Porcentajes de desgaste de la Rueda Guía

Medidor de Profundidad		% desgaste	Ultrasonido		Desgaste de pestaña central	
Pulgadas	(mm)		Pulgadas	(mm)	Pulgadas	(mm)
0.78	19.8	0	0.49	12.4	0.00	0.0
0.80	20.3	6	0.47	11.9	0.02	0.5
0.82	20.8	12	0.45	11.4	0.04	1.0
0.84	21.3	18	0.43	10.9	0.06	1.5
0.86	21.8	24	0.41	10.4	0.08	2.0
0.88	22.4	30	0.39	9.9	0.1	2.5
0.9	22.9	36	0.37	9.4	0.12	3.0
0.92	23.4	42	0.35	8.9	0.14	3.5
0.94	23.9	48	0.33	8.4	0.16	4.0
0.96	24.4	54	0.31	7.9	0.18	4.5
0.98	24.9	60	0.29	7.4	0.20	5.0
1.00	25.4	66	0.27	6.9	0.22	5.5
1.02	25.9	72	0.25	6.4	0.24	6.0
1.04	26.4	76	0.23	5.8	0.26	6.5
1.06	26.9	78	0.21	5.3	0.28	7.0
1.08	27.4	80	0.19	4.8	0.3	7.5
1.1	27.9	82	0.17	4.3	0.32	8.0
1.12	28.4	84	0.15	3.8	0.34	8.5
1.14	29.0	86	0.13	3.3	0.36	9.0
1.16	29.5	88	0.11	2.8	0.38	9.5
1.18	30.0	90	0.09	2.3	0.40	10.0
1.20	30.5	92	0.07	1.8	0.42	10.5
1.22	31.0	94	0.05	1.3	0.44	11.0
1.24	31.5	96	0.03	0.8	0.46	11.5
1.26	32.0	98	0.01	0.3	0.48	12.0
1.28	32.5	100				
1.3	33.0	102				
1.32	33.5	104				
1.34	34.0	106				
1.36	34.5	108				
1.38	35.1	110				

**Nota:** La medida obtenida con ultrasonido es solo para determinar el desgaste de la pestaña.

 Mantenimiento

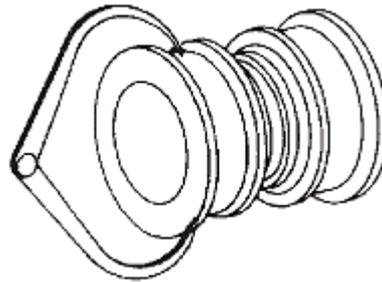
Fuente: Manual CTS - 2016

### e. Desgaste de los Rodillos

Entre todos los desgastes, el de los rodillos de carga es el más difícil de medir e interpretar.

#### Técnica para medir el desgaste.

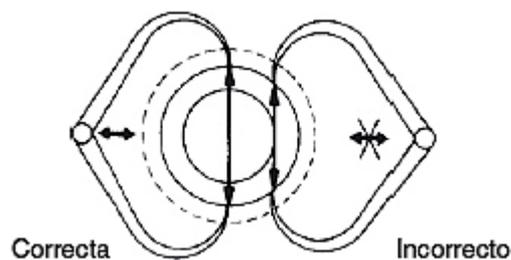
El desgaste de los rodillos de cadena se puede determinar por tres métodos, midiendo el diámetro de la banda de rodadura con un calibre grande, la altura de la pestaña con un medidor de profundidad y el grosor del aro con el indicador de desgaste ultrasónico.



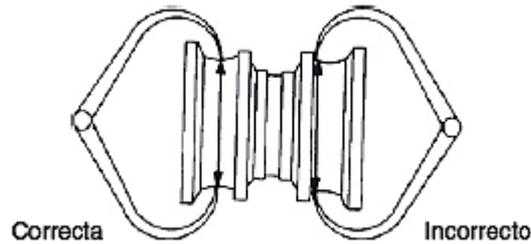
**Figura: 28** Medición de desgaste de rodillos con calibre  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

#### Medición con calibre

- Coloque el calibre de forma que las puntas del calibre estén tocando la banda de rodadura en la posición más desgastada del diámetro.
- Mueva el calibre hacia adelante y hacia atrás para hallar el menor diámetro posible.



**Figura: 29** Posición correcta del calibre  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

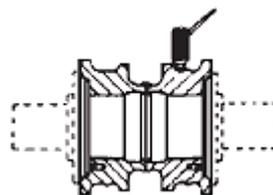


**Figura: 30** Medida del punto de mayor desgaste  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

### Errores más comunes en las mediciones con calibrador

- No limpiar las superficies antes de hacer la medición, lo cual puede indicar un desgaste menor que el real.
- No pasar el calibrador hacia adelante y hacia atrás por la superficie de la banda de rodadura para encontrar el verdadero diámetro menor.
- No medir ambas bandas de rodadura, exterior e interior. Esto puede tender a subestimar el efecto de desgaste si la banda de rodadura interior se desgasta más.
- El exceso de tensión de los calibradores puede generar una lectura de desgaste excesiva debido al efecto de rebote que se produce cuando los calibradores dejan de estar bajo un contacto de compresión con las bandas de rodadura.

Todos estos errores son similares a los errores y resultados de medición de los bujes.

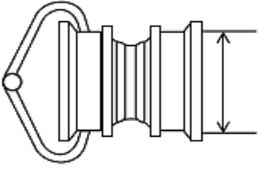
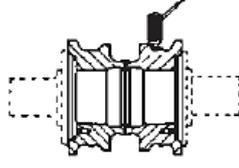


**Figura: 31** Medición de rodillos mediante ultrasonido  
**Fuente:** Servicio Especial de Cadenas – CATERPILLAR®

### Medición con el indicador de desgaste ultrasónico

El indicador de desgaste ultrasónico mide la distancia desde la superficie de desgaste del rodillo hasta su diámetro interior.

**Tabla 10.** Porcentajes de desgaste de los Rodillos

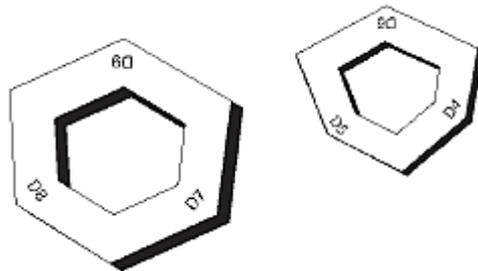
		% desgaste				
Calibrador			Medidor de Profundidad		Ultrasonido	
Pulgadas	(mm)		Pulgadas	(mm)	Pulgadas	(mm)
8.25	209.6	0	0.74	19.0	1.88	47.8
8.21	208.5	6	0.76	19.5	1.86	47.2
8.17	207.5	12	0.78	20.0	1.84	46.7
8.13	206.5	18	0.80	20.5	1.82	46.2
8.09	205.5	24	0.82	21.0	1.80	45.7
8.05	204.5	30	0.84	21.5	1.78	45.2
8.01	203.5	36	0.86	22.0	1.76	44.7
7.97	202.4	42	0.88	22.5	1.74	44.2
7.93	201.4	48	0.90	23.0	1.72	43.7
7.89	200.4	54	0.92	23.5	1.70	43.2
7.85	199.4	60	0.94	24.0	1.68	42.7
7.81	198.4	66	0.96	24.5	1.66	42.2
7.77	197.4	70	0.98	25.0	1.64	41.7
7.73	196.3	73	1.00	25.5	1.62	41.1
7.69	195.3	76	1.02	26.0	1.60	40.6
7.65	194.3	79	1.04	26.5	1.58	40.1
7.61	193.3	82	1.06	27.0	1.56	39.6
7.57	192.3	85	1.08	27.5	1.54	39.1
7.53	191.3	88	1.10	28.0	1.52	38.6
7.49	190.2	91	1.12	28.5	1.50	38.1
7.45	189.2	94	1.14	29.0	1.48	37.6
7.41	188.2	97	1.16	29.5	1.46	37.1
7.37	187.2	100	1.18	30.0	1.44	36.6
7.33	186.2	103	1.20	30.5	1.42	36.1
7.29	185.2	106	1.22	31.0	1.40	35.6
7.25	184.2	109	1.24	31.5	1.38	35.1
7.21	183.1	112	1.26	32.0	1.36	34.5
7.17	182.1	115	1.28	32.5	1.34	34.0
7.13	181.1	118	1.30	33.0	1.32	33.5
7.09	180.1	121	1.32	33.5	1.30	33.0
7.05	179.1	124	1.34	34.0	1.28	32.5
7.01	178.1	127	1.36	34.5	1.26	32.0
6.97	177.0	130	1.38	35.0	1.24	31.5
6.93	176.0	133	1.40	35.5	1.22	31.0
6.89	175.0	136	1.42	36.0	1.20	30.5

6.85	174.0	139	1.44	36.5	1.18	30.0
6.81	173.0	142	1.46	37.0	1.16	29.5
6.77	172.0	145	1.48	37.5	1.14	29.0
6.73	170.9	148	1.50	38.0	1.12	28.4
6.69	169.9	151	1.52	38.5	1.10	27.9
6.65	168.9	154	1.54	39.0	1.08	27.4
6.61	167.9	157	1.56	39.5	1.06	26.9
6.57	166.9	160	1.58	40.0	1.04	26.4
6.53	165.9	163	1.60	40.5	1.02	25.9
6.49	164.8	166	1.62	41.0	1.00	25.4
6.45	163.8	169	1.64	41.5	0.98	24.9
6.41	162.8	172	1.66	42.0	0.96	24.4
6.37	161.8	175	1.68	42.5	0.94	23.9
6.33	160.8	178	1.70	43.0	0.92	23.4
6.29	159.8	181	1.72	43.5	0.90	22.9
6.25	158.8	184	1.74	44.0	0.88	22.4
6.21	157.7	187	1.76	44.5	0.86	21.8
6.17	156.7	190	1.78	45.0	0.84	21.3
6.13	155.7	193	1.80	45.5	0.82	20.8
6.09	154.7	196	1.82	46.0	0.80	20.3
6.05	153.7	199	1.84	46.5	0.78	19.8
6.01	152.7	202	1.86	47.0	0.76	19.3
5.97	151.6	205	1.88	48.0	0.74	18.8
5.93	150.6	208	1.90	48.5	0.72	18.3
5.89	149.6	211	1.92	49.0	0.70	17.8
5.85	148.6	214	1.94	49.5	0.68	17.3
5.81	147.6	217	1.96	50.0	0.66	16.8
5.77	146.6	220	1.98	50.5	0.64	16.3
5.73	145.5	223	2.00	51.0	0.62	15.7
5.69	144.5	226	2.02	51.5	0.60	15.2
5.65	143.5	229	2.04	52.0	0.58	14.7

Fuente: Elaboración propia Basado en el Manual CTS - 2016

#### f. Desgaste de la Rueda Motriz (Sprocket)

Se recomienda reemplazar los segmentos de la rueda motriz en el momento del giro del buje o del reemplazo del conjunto de eslabón.



**Figura: 32** Indicador de desgaste de sprocket  
**Fuente:** Manual CTS (servicio especial de cadenas)

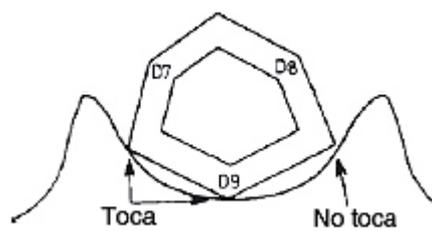
Use el indicador de reutilización de rueda motriz (D7-D9 = 5P-8617; D4-D6 = 5P-8616) para cadenas selladas o cadenas selladas y lubricadas.

Los medidores han sido diseñados para no tener en cuenta el estado de la punta del diente de la rueda motriz y determinar la relación de desgaste en la raíz del diente en comparación con el desgaste en los lados del diente, siendo el desgaste de los lados del diente el factor determinante de su capacidad de reutilización.

El indicador debe ponerse dentro de uno o más dientes con la punta en la raíz y apuntando hacia el centro de la rueda motriz.

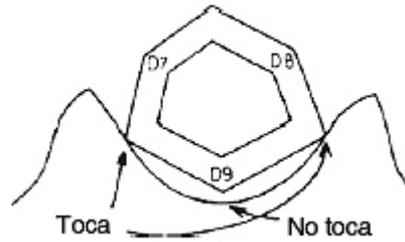
Si la punta del indicador toca la base del diente, el diente de la rueda motriz está desgastado en más del 50%. Y a la inversa, si la punta del indicador no toca la raíz del diente, la rueda motriz tiene un desgaste menor del 50% y se puede reutilizar.

La rueda motriz tiene más del 50% de desgaste.



**Figura: 33** Identificación de desgaste de la rueda motriz  
**Fuente:** Manual CTS (servicio especial de cadenas)

La rueda motriz tiene menos del 50% de desgaste.



**Figura: 34** Identificación de desgaste de la rueda motriz  
**Fuente:** Manual CTS (Servicio Especial de Cadenas)

### **Evaluación de vida útil de alimentadores de placas**

Las cadenas son la parte más importante y la que conlleva un costo elevado, por ello el eslabón es el componente base o núcleo con el que deben compararse otros componentes. Use las normas que se describen abajo.

#### **La cadena:**

Igualé la vida útil del pasador y el buje a la vida útil del eslabón girando o reemplazando los bujes si fuera necesario.

- Igualé la vida útil del rodillo de cadena a la vida útil del eslabón intercambiando los rodillos si fuera necesario.
- Igualé la vida útil de la rueda guía a la vida útil del eslabón intercambiando las ruedas guía si fuera necesario.
- Igualé la vida útil de la zapata y la vida útil del eslabón reparando o reemplazando la garra si fuera necesario.
- Sincronice estas acciones de mantenimiento para conseguir el costo más bajo por hora y minimizar al mismo tiempo el tiempo de inactividad del equipo.

#### **Límites de desgaste**

Las tablas de desgaste muestran siempre las mediciones de desgaste hasta el 100% y el 120%. El punto del 100% se considera el punto de servicio/mantenimiento. Como se muestra

en la tabla de abajo, sólo unos cuantos componentes requieren mantenimiento.

El punto de desgaste del 120% se describe frecuentemente como el punto de destrucción. Como norma general, el tren de rodaje puede comenzar a fallar o ‘destruirse’ cerca de este punto de desgaste del 120%. Sin embargo, el tren de rodaje (excepto los bujes) puede operar más allá del 120% de desgaste antes de que se produzca la “destrucción.”

Esto depende de varios factores, incluyendo la aplicación, las condiciones del terreno, las experiencias anteriores y la resistencia del cliente al tiempo de inactividad.

Si se va a trabajar hasta el punto de destrucción, es importante dejar las piezas del equipo tanto como sea posible, para minimizar el costo por hora. Al realizar una inspección del tren de rodaje en el punto del 120% de desgaste, use las siguientes normas para determinar si se debe continuar con las piezas o si se deben reemplazar. (CATERPILLAR®, 2007)

### **Mantenimiento**

Mantenimiento con el 100% de desgaste

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| ➤ Eslabón           | Ninguno                |
| ➤ Pasadores y bujes | Giro                   |
| ➤ Rodillos          | Ninguno                |
| ➤ Rodillos de carga | Ninguno                |
| ➤ Rueda guía        | Reconstruida (soldada) |
| ➤ Rueda motriz      | Ninguna                |
| ➤ Zapata            | Reparación de la garra |

### **Destrucción**

**Componente**

**Modalidad de falla**

- Eslabones Agrietamiento, pasadores y bujes flojos, daño de la masa del pasador
- Bujes Agrietamiento
- Zapatas Agrietamiento, flexión.
- Ruedas guía Agrietamiento, daño en los bujes
- Rodillos de retorno Agrietamiento, daño en los bujes de la cadena
- Rodillos de carga Agrietamiento, daño en los bujes, en las masas de eslabón y en las pestañas de los rodillos.

### **Cálculos para estimar la vida Útil**

El objetivo de los cálculos es estimar el tiempo restante de los componentes hasta el 100% de desgaste (punto de mantenimiento) y/o el 120% de desgaste (destrucción).

Simplemente determinar el porcentaje desgastado es sólo el primer paso. La estimación de los puntos de servicio permite programar el tiempo de inactividad para aumentar la disponibilidad de la máquina y reducir el costo por hora de producción.

La secuencia de los pasos para estimar los puntos de servicio son:

1. Determine el porcentaje de desgaste en las tablas
2. Determine las horas de la superficie de desgaste. Reste la lectura del horómetro cuando los componentes se instalaron de la lectura del horómetro en el momento de la inspección o en con ayuda del SAP donde se registran todas las ordenes de trabajo.
3. Determine el total de horas posibles hasta el 100% de desgaste dividiendo las horas de la superficie de desgaste entre el porcentaje desgastado:

Ejemplo:

$500 \text{ Hrs actual} \div 0,25 \text{ (25\% de desgaste)} = 2.000 \text{ Hrs (potencial total hasta 100\% de desgaste)}$

4. Determine las horas potenciales hasta el 120% de desgaste multiplicando el total de horas potenciales hasta el 100% de desgaste por 1.2:

$2.000 \times 1.2 = 2.400 \text{ (potencial total hasta 120\% de desgaste)}$

5. Averigüe las horas restantes de la pieza para alcanzar el total de horas posibles, restando las horas de la superficie de desgaste:

$2.000 - 500 = 1.500 \text{ SMU (restante hasta 100\% de desgaste)}$

$2.400 - 500 = 1.900 \text{ SMU (restante hasta 120\% de desgaste)}$

6. Anote las piezas con el potencial total más bajo o las horas menores restantes. Calcule el tiempo en semanas o meses hasta la próxima inspección, mantenimiento o reemplazo necesario.

### **3.1.5. Implementación.**

La implementación incluye la realización de diversas actividades y sus responsables que permitan implementar un programa de monitores usando las técnicas antes mencionadas. Las actividades a considerar tienen tres responsables principales que son: planeamiento y programación, ingeniería de mantenimiento y ejecución de mantenimiento

#### **Planeamiento y programación:**

- Solicitar cotizaciones a los proveedores y evaluarlas
- Colocar orden de compra, considerando montos, tiempo de entrega, transporte y términos de pago.
- Tiempo de entrega del servicio

### **Ingeniería de mantenimiento**

- La capacitación y/o actualización para el personal seleccionado.
- Entrenamiento, en esta etapa se realiza con la presencia del equipo y básicamente se refiere a incrementar las destrezas de manejo, calibración e identificación de anomalías, la cual va a depender de la formación del personal involucrado.

### **Ejecución del mantenimiento**

- Preparación de planes de inspección.
- Preparación de formatos y distintos documentos para realizar la inspección.
- Brindar las facilidades para realizar las inspecciones

#### **3.1.6. Costos**

Generalmente, el tema de costos en toda empresa que tiende a ser líder en su sector, es de que buscara los mecanismos más adecuados, para poder reducir los costos, de esta forma pues será de mucha importancia la reducción de los costos de mantenimiento, como parte del costo total de la empresa.

Para conseguir dicha reducción de estos costos, pero con un servicio de mantenimiento de calidad, se tiene que analizar y garantizar que el producto final, cumpla satisfactoriamente con los requisitos preestablecidos del cliente y la sociedad, con el mínimo costo, contribuyendo así a maximizar los beneficios de la empresa.

Todos los sectores de la empresa directa o indirectamente, contribuyen para alcanzar, mantener y mejorar la calidad del producto, el proceso y los servicios. Para tal efecto citaremos los costos que a nuestro entender, nos darán una visión más panorámica, de lo que fue los costos de mantenimiento antes y después de aplicado el programa de mantenimiento basado en condición.

### a. Costos de Mantenimiento Actual

Los costos de mantenimiento, que inicialmente se encontró, generalmente se tomaba de una forma rutinaria y lo trataban como un costo histórico de mantenimiento correctivo, pero nosotros nos propusimos a tener que realizar un levantamiento de información técnica y económica, para lo cual se recurrió principalmente a la recolección de los datos históricos del SAP de la empresa, ubicándose las partidas correspondientes al área específica de mantenimiento, relacionadas con el personal, materiales y consumibles, boletas y facturas que se pagó a terceros, y otros gastos que se abonaron durante esa gestión de tiempo en el que se tomó estos datos, que nos servirán para el análisis respectivo, y estos son pertenecientes a un periodo de 4 años, es decir desde junio el año 2012 a diciembre de 2015.

**Tabla 11.** Costo de Mantenimientos Correctivos 2012 - 2015

APRON N°	FUNCTIONAL LOCATION	ORDER TYPE	MAIN WORK	YEAR	TOTAL ACTUAL COST
APRON FEEDER N° 1	3000-30-30-02-FEE5001	PM02	10WO	2012	9153.83
	3000-30-30-02-FEE5001	PM02	10WO	2013	18206.28
	3000-30-30-02-FEE5001	PM02	10WO	2014	93200.28
	3000-30-30-02-FEE5001	PM02	10WO	2015	508505.7
APRON FEEDER N° 2	3000-30-30-02-FEE5002	PM02	10WO	2012	8582.96
	3000-30-30-02-FEE5002	PM02	10WO	2013	64975.39
	3000-30-30-02-FEE5002	PM02	10WO	2014	164053.95
	3000-30-30-02-FEE5002	PM02	10WO	2015	492948.32
APRON FEEDER N° 3	3000-30-30-02-FEE5003	PM02	10WO	2012	8582.96
	3000-30-30-02-FEE5003	PM02	10WO	2013	64975.39
	3000-30-30-02-FEE5003	PM02	10WO	2014	164053.95
	3000-30-30-02-FEE5003	PM02	10WO	2015	492948.32

Fuente: Planeamiento de Mantenimiento - SAP - 2016

Se puede observar, del cuadro anterior que el crecimiento del costo de mantenimiento del año 2015 con respecto al del año 2014, es de 255 % aproximadamente, y desde el año 2012 hasta el año 2014, el incremento acumulado es de 1501 %

aproximadamente, Con esto nos damos cuenta rápidamente, de cómo se estaban efectuando los costos de mantenimiento, utilizando un programa de mantenimiento tradicional, es decir en aquellos donde no se usan técnicas modernas de mantenimiento, y con deficientes principios de administración por objetivos, ya que es normal que el comportamiento histórico de los gastos tengan como una característica común el de crecer en el tiempo, todo esto se manifiesta con el hecho de que los equipos de producción, a medida que va pasando el tiempo se van envejeciendo , y como no existe un control detallado y específico, de su estado real de operación. Hasta el punto en que la situación ya se torna preocupante, por el simple hecho de no preveer, esta realidad será absorbida por el programa de mantenimiento propuesto, y que se verá reflejado con cifras y en provecho de la empresa. Para tal efecto, determinaremos los costos de mantenimiento de la problemática actual, y para lo cual se establecerá, unas partidas que se tiene que considerar en los gastos, y estas son:

**Mano de Obra de personal directo.**

En este rubro están considerados: los operarios, oficiales mecánicos y ayudantes, y a estos señores se les abona por sus servicios, de forma mensual, lo cual no se va considerar porque es pago fijo de la empresa.

**Compra de materiales.**

En este rubro sí que es importante, tomar en cuenta como se estaban ejecutando las compras de los materiales, que se iban a utilizar en el mantenimiento de los equipos, entre los cuales podemos citar: repuestos diversos de las máquinas, tales como: rodamientos, cadenas, sprocket, ruedas guías, filtros, aceites, mangueras, materiales consumibles. La información, que se tuvo de parte de planeamiento, se tuvo

que clasificar los gastos de lo que era estrictamente de mantenimiento y lo de producción, felizmente que su centro de costos, tenían un código, para diferenciar los gastos empleados para cada área específica, y el trabajo se hizo más claro y preciso.

Juego de cadenas	S/. 96250.00 (cotización)
Otros	S/. 150000.00

### **Pago a terceros.**

A este rubro pertenecen todas las empresas y/o personas naturales, que le brindan servicios a la empresa, relacionados con la ejecución de trabajos específicos, que no se pueden hacer con el personal de mantenimiento de la planta. Estos servicios son diversos, y tienen diferentes actividades, tales como: mecanizado, inspecciones, limpieza para la realización de trabajos ya previamente concebidos y que se ejecutaran en esa época, tales como: reparación de tanques, arenado y pintura de ciertas partes de una maquinaria, fabricaciones de estructuras metálicas, reparaciones varias, etc. Como podremos apreciar este gasto es variable en el tiempo, de acuerdo a las necesidades y no es previsible.

Volteo de bujes	S/. 20000.00
Trabajos de Mecanizado	S/. 30000.00
Otros	S/. 40000.00

### **3.1.7. Evaluación Económica**

En el análisis económico comparamos costo beneficio de utilizar el mantenimiento basado en condición para optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas de la planta Gold Mill en Minera Yanacocha S.R.L. en Cajamarca.

### **Propuesta N° 1**

Mantenimiento del volteo de bujes de cadena cuando su desgaste es del 100%, teniendo en cuenta que la vida de la mina es hasta el 2021 y que se debería comprar 1 cadena debido a que la empresa especializada trasladaría desde las operaciones a su taller especializado para realizar dicha actividad, lo cual tendría una duración de 3 semanas tiempo que no podemos tener el equipo inoperativo.

Volteo de bujes de los 5 alimentadores de placas existentes en la planta.

Volteo  $S/. 20000 \times 4 = S/. 80000$

Compra de cadena  $S/. 96250 \times 1 = S/. 96250$

Mano de obra terceros  $20000 \times 5 \text{cambios} = S/. 100000$

Total =  $S/. 276250$

### **Propuesta N° 2**

Mantenimiento cambio de cadenas cuando su desgaste es del 120%, teniendo en cuenta que la vida de la mina es hasta el 2021.

Cambio en los 5 alimentadores de placas existentes en la planta.

Compra de cadena  $96250 \times 5 = 481250$

Mano de obra terceros  $20000 \times 5 \text{cambios} = 100000$

Total = 581250

## **3.2. Análisis de Resultados.**

A continuación se presenta el análisis estadístico del periodo de ejecución desde el mes de setiembre de 2015 a marzo de 2016, en el área de ingeniería de mantenimiento de procesos de la Minera Yanacocha, para lo cual se detalló en base a tres indicadores como: Disponibilidad, vida útil de las partes críticas de los equipos y la parte económica.

### 3.2.1. Análisis Estadístico de la Disponibilidad

Se muestra la tendencia de la disponibilidad operativa de los alimentadores de placas de la planta de procesos Gold Mill en Minera Yanacocha S.R.L. de los meses de Enero hasta agosto del 2015, esta información permitió identificar algunos errores que ayudó a mejorar en plan MBC.

**Tabla 12.** Disponibilidad de alimentadores de placas.

DISPONIBILIDAD OPERATIVA				
MES	ANTES	MES	DESPUES	DIF. DESPUES
Enero	52%	Septiembre	92%	40%
Febrero	90%	octubre	92%	1%
Marzo	65%	Noviembre	93%	28%
Abril	83%	Diciembre	94%	11%
Mayo	95%	Enero	94%	-1%
Junio	88%	Febrero	93%	5%
Julio	96%	Marzo	94%	-2%

**Fuente:** Elaboración Propia – 2016

En la tabla, se aprecia la síntesis de la disponibilidad de los alimentadores de placas de la planta de procesos Gold Mill, con tendencia lineal, debido a que dichos activos trabajan todos los meses del año casi por igual, los cuales tienen su parada cuando el molino SAG deja de trabajar para mantenimiento

**Tabla 13.** Análisis de disponibilidad antes

<i>Análisis Antes</i>	
Media	0.81285714
Error típico	0.06270544
Mediana	0.88
Moda	#N/A
Desviación estándar	0.16590301
Varianza de la muestra	0.02752381
Curtosis	0.1193008
Coficiente de asimetría	-1.160037
Rango	0.44
Mínimo	0.52
Máximo	0.96
Suma	5.69
Cuenta	7
Coficiente de variación	20.410%

**Fuente:** Elaboración Propia - 2016



**Figura: 35** Disponibilidad Operativa Antes  
**Fuente:** Elaboración Propia - 2016

En el gráfico se aprecia la síntesis de la disponibilidad operativa de los alimentadores de placas antes de la aplicación del mantenimiento basado en condición, desde Enero hasta agosto de 2015, en el cual se aprecia que la disponibilidad media es de 81%, en la cual la variabilidad es 20%, es decir se tiene poco control sobre la disponibilidad de los equipos.

**Tabla 14.** Análisis de Disponibilidad Después.

<i>Análisis después</i>	
Media	0.931428571
Error típico	0.00340068
Mediana	0.93
Moda	0.94
Desviación estándar	0.008997354
Varianza de la muestra	8.09524E-05
Curtosis	-1.816608997
Coefficiente de asimetría	-0.353044967
Rango	0.02
Mínimo	0.92
Máximo	0.94
Suma	6.52
Cuenta	7
Coefficiente de variación	0.96597%

**Fuente:** Elaboración Propia - 2016



**Figura: 36** Disponibilidad operativa Después  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016

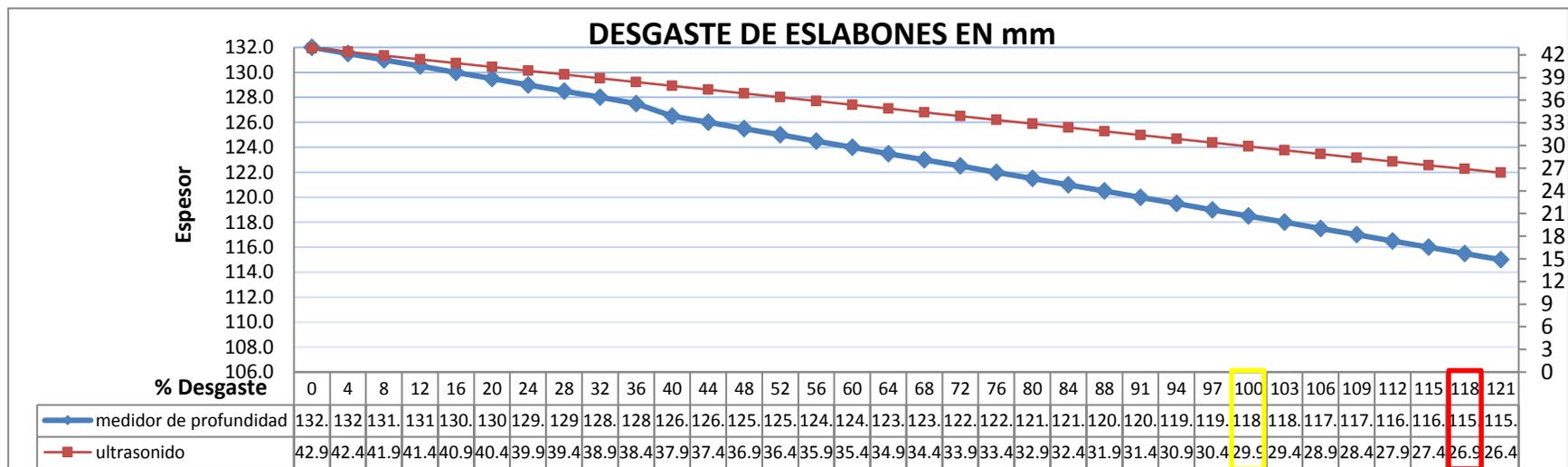
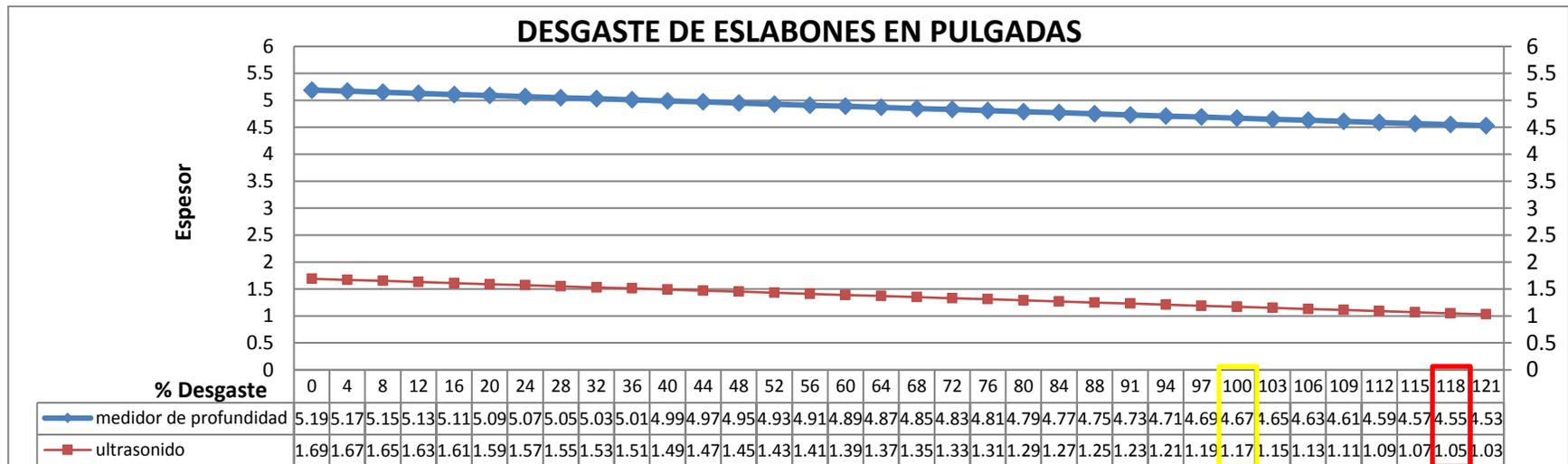
En el grafico se aprecia la síntesis de la disponibilidad operativa de los alimentadores de placas desde Septiembre de 2015 a marzo de 2016, en el cual se aprecia que la disponibilidad media creció a poco más de 93%, en la cual la variabilidad es menor al 1%, es decir se tiene más control sobre dicha variable.

### 3.2.2. Análisis de la Vida Útil

Se muestra las tendencias de la vida útil de las partes de desgaste de los alimentadores de placas de la planta de procesos Gold Mill en Minera Yanacocha S.R.L. para lo cual se determina el tiempo en que dichos componentes vas a necesitar cambio o un mantenimiento.

Antes de la realización del presente trabajo de investigación, los componentes que aceptan mantenimiento así como cadenas, Tabletas (Artesas) y ruedas guía tenían una sola vida hasta su desecho, es decir no se daba un adecuado mantenimiento.

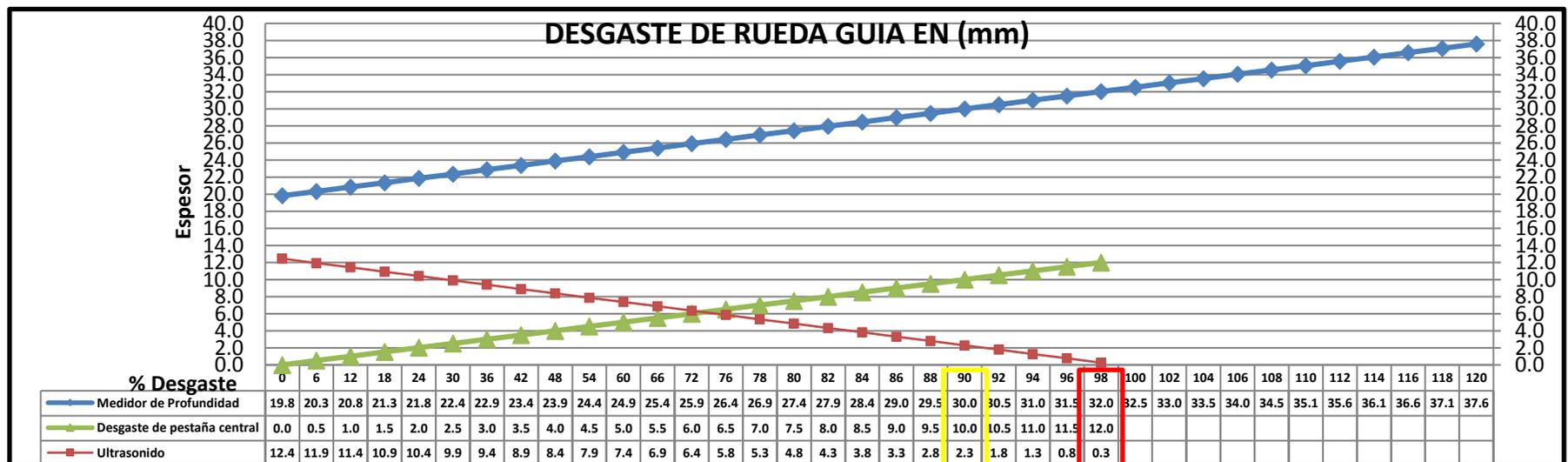
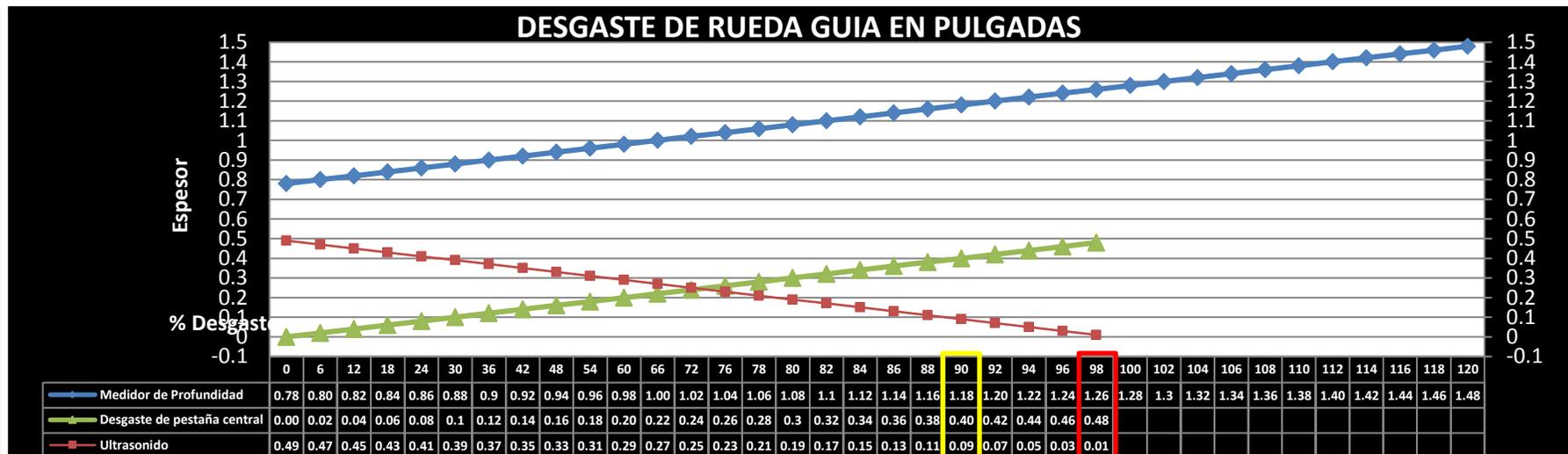
Con los datos obtenidos en campo se procedió a estimar su vida útil, y se obtuvieron las siguientes graficas:



**Figura: 37** Tendencia de Desgaste de los Eslabones  
**Fuente:** Elaboración Propia - 2016







**Figura: 40** Tendencia de desgaste en la rueda guía  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016

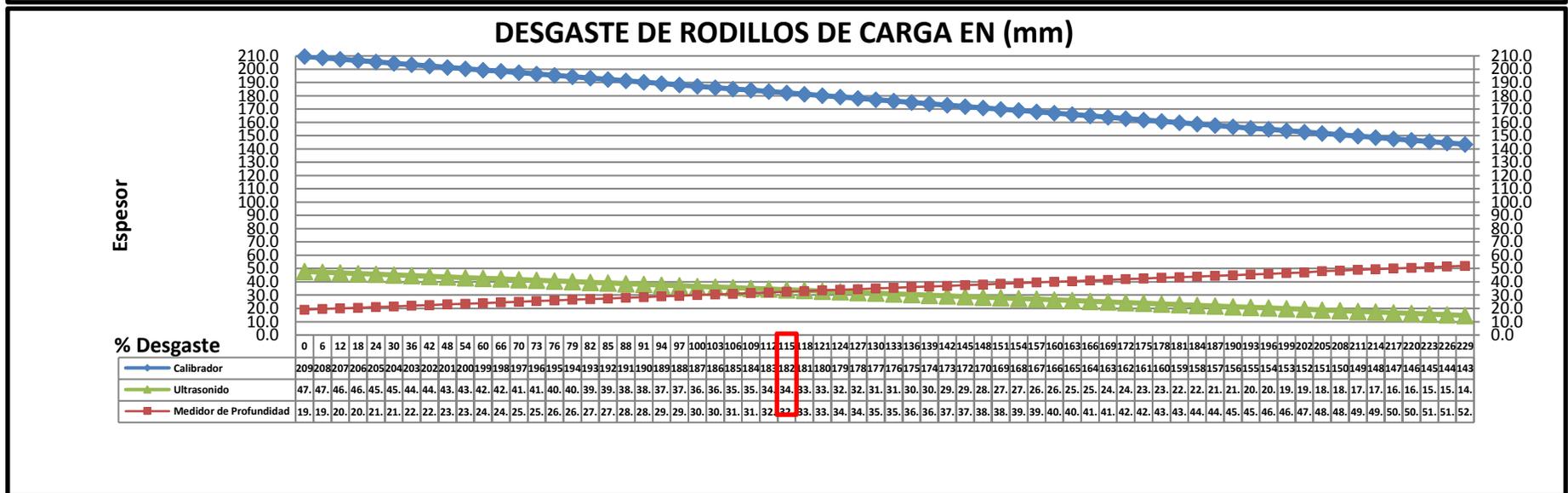
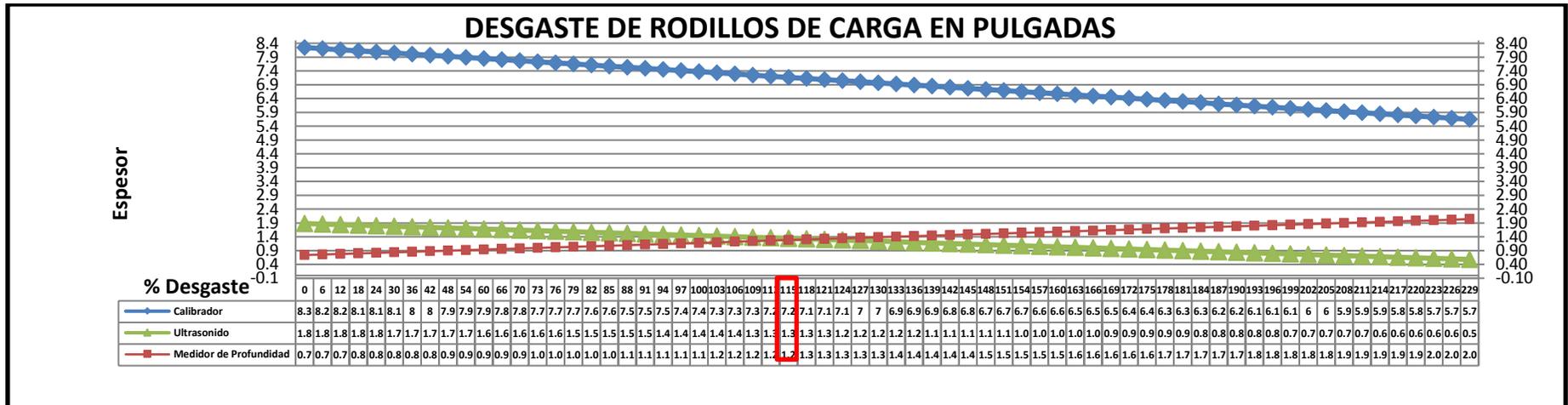


Figura: 41 Tendencia de desgaste de rodillos  
Fuente: Elaboración propia - 2016

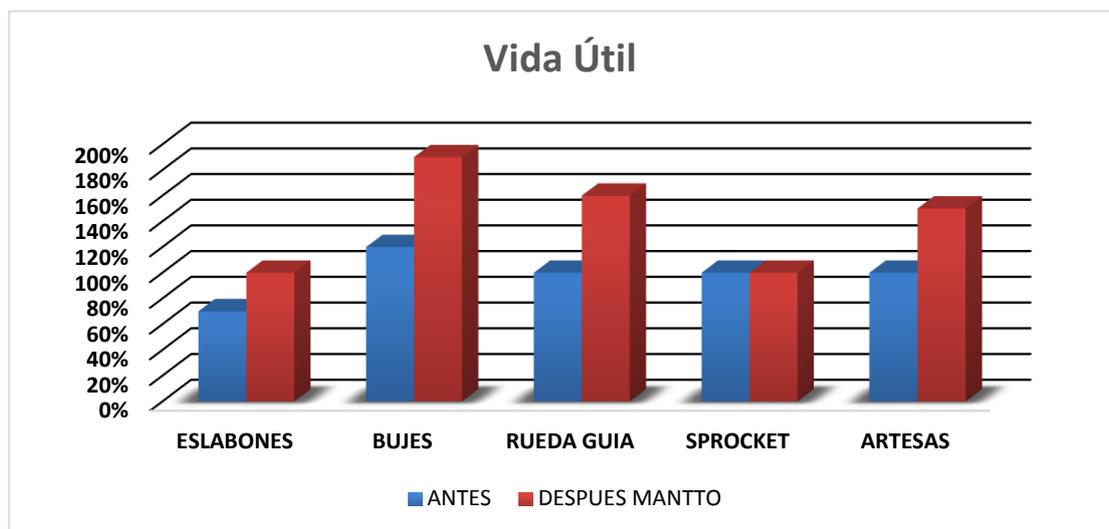
De los gráficos anteriores podemos resumir que:

**Tabla 15.** Vida útil de los componentes

VIDA ÚTIL					
COMPONENTE	ANTES	MANTENIMIENTO	PRIMERO	DESPUÉS	INCREMENTO
ESLABONES	70%	ninguno	100%	0%	30%
BUJES	120%	volteo	100%	90%	70%
RUEDA GUÍA	100%	reconstrucción	100%	60%	60%
SPROCKET	100%	ninguno	100%	0%	0%
ARTESAS	100%	soldadas	100%	50%	50%

**Fuente:** Elaboración Propia - 2016

En la tabla se aprecia que utilizando que con un adecuado plan de mantenimiento se logra incrementar significativamente la vida útil de los alimentadores de placas en la planta Gold Mill.



**Figura: 42** Vida útil antes y después

**Fuente:** Elaboración propia - 2016

El gráfico resume la vida útil se ve incrementada a consecuencia de un mantenimiento basado en condición.

### 3.2.3. Análisis Económico

De acuerdo a plan de vida de la Mina Yanacocha S.R.L. la planta Gold mil estaría operando hasta el 2021 y por ende como los alimentadores de placas que están operando y tienen ya un envejecimiento por utilización se evaluara en base a las propuestas de volteo de bujes y compra de cadenas nuevas.

**Tabla 16.** Costo de mantenimiento

COSTO DE MANTENIMIENTO					
MBC	MONTO	VECES AL AÑO	TOTAL	ANTES	AHORRO
Inspecciones	20000	4	80000	1494402.34	1074402.34
recuperaciones	100000	1	100000		
limpieza	15000	4	60000		
tensado de cadenas	50000	2	100000		
otros	80000	1	80000		
TOTAL			420000		

**Fuete:** elaboración propia - 2016

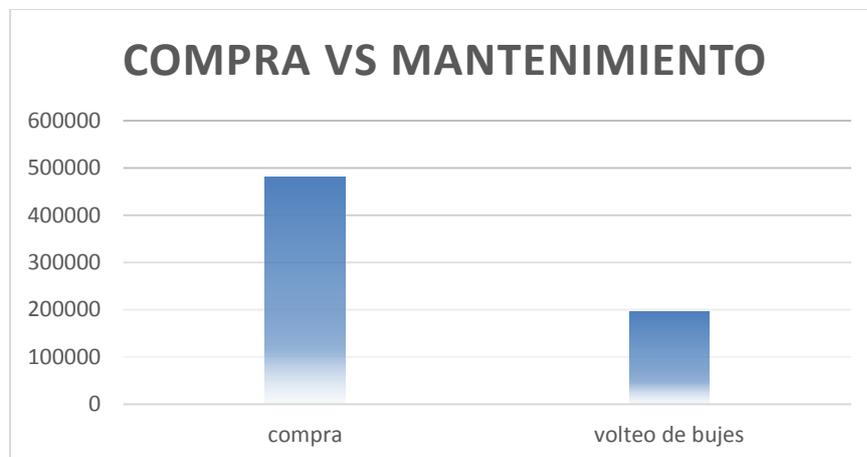
En la tabla se muestra los costos por mantenimiento que se realizaron antes del MBC que eran elevados y para posteriormente de la implementación se consiguió un ahorro de S/. 1074402.34.

**Tabla 17.** Evaluación de repuestos

EVALUACIÓN DE REPUESTOS				
compra	Monto	cantidad	total	Diferencia
cadenas	96250	5	481250	285000
mantenimiento	costo	cantidad	total	
volteo de bujes	20000	5	100000	
cadena	96250	1	96250	
			196250	

**Fuete:** Elaboración propia - 2016

En la tabla se muestra que mediante el volteo de bujes sale más beneficioso económicamente que la compra de cadenas nuevas, lo que esto trae es un ahorro de S/. 285000.00



**Figura: 43** Compra vs Mantenimiento

**Fuente:** Elaboración propia - 2016

### **3.3. Interpretación de Resultados**

Después de presentar los resultados obtenidos en la presente tesis profesional, ejecutado en Minera Yanacocha S.R.L. ubicado en el distrito de la Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, elaborada con la finalidad de optimización de la disponibilidad de los alimentadores de placas de la planta Gold Mill. Se presenta que nuestro estudio se centró en la disponibilidad de los alimentadores de placas.

La aplicación del mantenimiento basado en condición, que utiliza como herramientas de monitoreo preventivo para así dar mayor vida útil a los alimentadores de placas, los resultados fueron positivos, que revelo que el mantenimiento basado en condición como filosofía maximiza la disponibilidad de dichos activos.

La disponibilidad de los alimentadores de placas de la planta Gold Mill, obtenida se logró utilizando 03 indicadores donde el primer indicador analiza la disponibilidad un Antes y Después, apreciándose una mejora media de 12%, el segundo indicador especifica la vida útil logrando una mejora entre un 30% y 60% en algunos componentes, y como tercer indicador se menciona el costo por mantenimiento comparando un antes y un después logrando un ahorro de S/. 1074402.34 y teniendo como propuesta el volteo de bujes en las cadenas de los alimentadores en comparación con la compra de unas nuevas se genera una ganancia de S/. 285000.00. Por lo que se manifiesta el logro de la mejora mediante la aplicación del mantenimiento basado en condición aplicado en los alimentadores de placas de la planta Gold Mill de minera Yanacocha en Cajamarca.

## **CAPÍTULO IV: CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

### **3.4. Prueba de Hipótesis General**

En el trabajo de investigación se elaboró la siguiente hipótesis: al aplicar el mantenimiento basado en condición en los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de la empresa minera Yanacocha S.R.L. se logrará optimizar la disponibilidad así como también un ahorro económico significativo.

Por lo que se acepta la hipótesis general, porque, se optimizó la disponibilidad utilizando el mantenimiento basado en condición obteniendo un aumento de 12% y un ahorro económico de S/.1359402.34, durante el periodo de estudio de tesis.

### **3.5. Prueba de Hipótesis Secundarias**

Mediante la aplicación del MBC a los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha se logra incrementar la vida útil de los mismos.

Se acepta la hipótesis específica, porque el mantenimiento basado en condición aumento la vida útil de los alimentadores de placas entre un 30% y 60% en algunos componentes.

Mediante la aplicación del MBC a los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha se logra disminuir las paradas no programadas anuales.

Se acepta la hipótesis específica, porque el mantenimiento basado en condición aumento la disponibilidad en un 12% de paradas no programadas.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **CONCLUSIONES**

La aplicación del mantenimiento basado en condición en los alimentadores de placas de la planta Gold Mill, logró incrementar su disponibilidad en un 12%, asimismo al utilizar esta filosofía de mantenimiento permitió un ahorro económico para la empresa de S/. 1359402.34, minimizando los costos de operación y mantenimiento, es decir fue efectivo, cuyo resultado si se logra el objetivo planteado.

El tiempo de paradas no programadas producidas por actividades correctivas en los alimentadores de placas de planta Gold Mill en Minera Yanacocha SRL, se redujeron de 14% (21.1 días al año) a 2% (7.3 días al año), mediante la herramienta seleccionada, para realizar el MBC, que fue la inspección mediante ultrasonido, esta técnica poseen la capacidad para medir el desgaste de componentes y los síntomas previos a la ocurrencia de falla; y para complementar el diagnóstico se utilizó la inspección visual.

La vida útil de los alimentadores de placas tuvo una mejora, se incrementó entre un 30% y 60%, así mismo la disponibilidad incrementó en un 12%, con lo cual se tiene una variabilidad del 1% y con ello se garantiza una confiabilidad mayor al 98%.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar el mantenimiento basado en condición como filosofía de mantenimiento, para la gestión de activos, ya sea equipos rotativos o estáticos en la industria minera, en donde se cuente con activos críticos para la seguridad, medio ambiente y para la producción.

Programar las inspecciones en parada de planta para no sacrificar la operatividad de los alimentadores de placas.

Realizar el volteo de bujes para maximizar la vida útil de los alimentadores de placas.

Adaptar el mantenimiento y/o cambio de componentes según informe, en la parada de planta más próxima al desgaste permitido, así como el templado de cadena.

Continuar con la implementación del programa diseñado, a fin de mejorar la efectividad de los activos, para poder alcanzar los niveles de disponibilidad esperados.

## REFERENCIAS

- Amendola , L. (2014). *Indicadores De Confiabilidad*. Recuperado el 14 de Marzo de 2016, de RELIABILITYWEB: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento/>
- CATERPILLAR®. (2007). *Manual del servicio especial de cadenas* (Décimo sexta ed.). Estados Unidos: CAT.
- Córdova, C. R. (2005). *Implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad a los hornos convertidores PEIRCE SMITH de la fundición de cobre de southern Perú Copper Corporation*. Tesis de Grado publicada, Universidad Nacional de Ingeniería, LIMA.
- Da Costa, M. (2010). *Aplicación del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*. Tesis de grado publicada, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Duffuaa, D. (2000). *Sistemas de mantenimiento planeacion y control*. Mexico D.F.: LIMUSA WILEY.
- Gonzáles, R. G. (2009). *Implementación del mantenimiento predictivo basado en el analisis de viración en los compresores de tornillo de una empresa procesadora y enlatadora de productos del mar*. Tesis de grado publicada, universidad del oriente, Departamento de Mecánica, Barcelona.
- Huerta, R. (2011). Analisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad Operacional. *Mantenimiento Industrial*.
- Leon & Russo Ingenieros S.A.C. (2012). *Curso Nivel I & II Ultrasonido*. Lima.
- Minera Yanacocha S.R.L. (4 de Abril de 2016). SAP. *Modulo IK17* . Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado el 4 de abril de 2016
- Monje, M. (2010). *Analisis de aceite como estrategia del mantenimiento predictivo-proactivo*. Recuperado el 18 de Mayo de 2016, de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/38610692/ANALISIS-DE-ACEITES>
- Mundarain, C. H. (2009). *Diseño de un programa de Mantenimiento Basado en Condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos*. Tesis de Grado Publicada, Universidad del Oriente, Puerto La Cruz.

Newmont Mining Corporation. (1992). *YANACocha*. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de Yanacocha: <http://www.yanacocha.com/>

Performance Associates International. (2008). *Programa de capacitación para operadores*. Recuperado el 4 de Abril de 2016, de Yanacocha: <http://www.perfnet.com/>

Taylor , J. (1994). *The Vibration analysis Handbook* (Primera ed.). Chicago: Ipp Books.

Wikipedia. (2014). *Vida Util*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Vida\\_%C3%BAtil](https://es.wikipedia.org/wiki/Vida_%C3%BAtil)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Matriz de Consistencia

Optimización de la disponibilidad de alimentadores de placas, mediante la aplicación del mantenimiento basado en condición en la Planta Gold MILL DE Minera Yanacocha S.R.L. Cajamarca - 2015.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p><b>Problema General:</b> ¿Cómo optimizar la disponibilidad de alimentadores de placas en la planta Gold Mill en Minera Yanacocha S.R.L en Cajamarca 2015?</p> <p><b>Problemas secundarios:</b> ¿Cómo disminuir los mantenimientos correctivos de los alimentadores de placas? ¿Cómo incrementar la vida útil de los alimentadores de placa?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Optimizar la disponibilidad de los alimentadores de placas en la planta Gold Mill de la empresa Minera Yanacocha S.R.L. en Cajamarca, aplicando el mantenimiento basado en condición.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> Disminuir el tiempo anual de mantenimientos correctivos (paradas no programadas). Evaluar condiciones de vida útil y la confiabilidad de los alimentadores de placas.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> Al aplicar el mantenimiento Basado en Condición en los alimentadores de placas en la Planta Gold Mill Cajamarca, se logrará optimizar la disponibilidad así como también un ahorro económico significativo.</p> <p><b>Hipótesis Secundarias:</b> Mediante la aplicación del MBC a los alimentadores de placas se logra incrementar la vida útil de los mismos.</p>	<p><b>Variable I:</b> Mantenimiento o basado en condición (MBC)</p> <p><b>Variable II:</b> Disponibilidad de los alimentadores de placas Vida útil de los alimentadores de placas</p>	<p><b>Tipo:</b> El tipo de investigación utilizada es Aplicada.</p> <p><b>Nivel:</b> El nivel de la investigación es correlacional.</p> <p><b>Método:</b> El método utilizado es el método de investigación científica.</p> <p><b>Diseño:</b> La investigación que se desarrolla presenta el diseño no experimental - Longitudinal</p> <p><b>Donde:</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; text-align: center;"> <p>V1</p> <p>M r</p> <p>V2</p> </div> <p><b>M:</b> muestra <b>V1:</b> variable MBC <b>r :</b> relación <b>V2:</b> variable dependiente</p>	<p><b>Población:</b> Nuestra población o universo son los alimentadores de placas de alimentación a las fajas transportadoras en la planta Gold Mill.</p> <p><b>Muestra:</b> Son los tres alimentadores de placas de la pila de almacenamiento de alimentación a la faja 1300 del Molino SAG.</p>

**Fuente:** Elaboración Propia - 2016

Anexo 2. Ficha de observación.

Yanacocha		INFORME DE INSPECCIÓN DE ALIMENTADOR DE PLACA (APRON FEEDER) N°										FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:							
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO												PREPARADO POR:							
												INGENIERIA MANTENIMIENTO							
APRON FEEDER																			
METODO	FECHA	N°	RODILLOS DE CARGA	BUJES (mm)				SPROCKET		RUEDA GUIA		ARTEZAS							
				L. IZQUIERDO (mm)		LADO DERECHO (mm)		L. IZQUIERDO		L. DERECHO		L. IZQUIERDO		L. DERECHO		PUNTO		PUNTO	
				EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	PUNTO		PUNTO			
VISUAL TEST		1°																	
		2°																	
		3°																	
		4°																	
		5°																	
		6°																	
VALOR MÍNIMO																			
ULTRASONIC TEST		1°																	
		2°																	
		3°																	
		4°																	
		5°																	
		6°																	
VALOR MÍNIMO																			

ELABORADO	REVISADO	CONTROL	APROBADO
Arquimides Villegas Pereyra	Ing. Segundo Luis Vilchez Flores	Jefe de Ingeniería Procesos	Superintendente Procesos
01-feb-16	01-feb-16	02-feb-16	02-feb-16

Figura: 44 Formato de informe de inspección  
Fuente: Elaboración propia - 2016

Yanacocha		INFORME DE INSPECCIÓN DE ALIMENTADOR DE PLACA (APRON FEEDER) N° 1										FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:					
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO												PREPARADO POR:					
												INGENIERIA MANTENIMIENTO					
APRON FEEDER N° 1																	
METODO	FECHA	N°	RODILLOS DE CARGA				BUJES (mm)		SPROCKET		RUEDA GUIA		ARTEZAS				
			LADO IZQUIERDO (mm)		LADO DERECHO (mm)		L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	PUNTO		PUNTO		
			EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR											
VISUAL TEST	03/11/2015	1°	206	209	204	206	65	65	217	211	60	63					
		2°	207	210	207	208	64	64									
		3°	208	207	208	209	66	66	222	214							
		4°	206	208	204	206	64	68									
		5°	205	208	205	206	64	69									
		6°	205	208	208	208	65	69	219.5	212.5							
									PROMEDIO	PROMEDIO							
VALOR MÍNIMO			205	207	204	206	64	64	217	211	60	63	0	0	0	0	
ULTRASONIC TEST	03/11/2015	1°	48.4	47.98	48.47	48.86	6.66	6.83	OK	OK		108.76	1°	23.18	8°	22.17	
		2°	48.18	47.96	48.1	48.4	6.87	6.38					2°	22.55	9°		
		3°	48.23	46.71	48.16	48.68	6.73	6.47					3°	22.53	10°	23.32	
		4°	46.53	46.46	45.87	46.52	6.38	6.69					4°	23.29	11°	23.80	
		5°	46.57	46.6	45.49	46.19	5.59	7.68					5°	22.31	12°	20.10	
		6°	46.79	46.51	47.6	47.57	6.31	7.59					6°	23.50	13°	23.40	
													7°	22.85	14°	23.62	
VALOR MÍNIMO			46.53	46.46	45.49	46.19	5.59	6.38	0	0	0	108.76	22.31			20.10	
ELABORADO			REVISADO				CONTROL				APROBADO						
Arquimides Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores				Jefe de Ingeniería Procesos				Superintendente Procesos						
01-feb-16			01-feb-16				02-feb-16				02-feb-16						

Figura: 45 Informe de inspección de Alimentador N°1.  
Fuente: Elaboración propia - 2016

Yanacocha		INFORME DE INSPECCIÓN DE ALIMENTADOR DE PLACA (APRON FEEDER) N° 2										FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:					
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO												PREPARADO POR:					
												INGENIERIA MANTENIMIENTO					
APRON FEEDER N° 2																	
METODO	FECHA	N°	RODILLOS DE CARGA		BUJES (mm)		SPROCKET		RUEDA GUIA		ARTEZAS						
			LADO IZQUIERDO (mm)		LADO DERECHO (mm)		L. IZQUIERDO		L. DERECHO		L. IZQUIERDO		L. DERECHO		PUNTO		
			EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	L. IZQUIERDO	L. DERECHO	PUNTO		PUNTO		
VISUAL TEST	04/11/2015	1°	198		202	206	67	64	207	210	59	63					
		2°	202		204	207	66	64									
		3°	203		203	205	65	67	213	212							
		4°	202	204	203	205	67	68									
		5°	202	203	205	202	68	67	210	211							
		6°	201	205	206	206	67	66									
										PROMEDIO	PROMEDIO						
VALOR MÍNIMO			198	203	202	202	65	64	207	210	59	63	0	0	0	0	
ULTRASONIC TEST	04/11/2015	1°	41.50	41.24	44.97	46.40	6.59	4.96	OK	OK	108.76	1°	23.60	8°	25.08		
		2°	45.20	44.40	45.58	46.60	5.39	6.10				2°	25.20	9°	25.32		
		3°	44.43	44.67	44.75	46.06	6.65	5.61				3°	24.35	10°	23.55		
		4°	43.78	45.22	45.71	45.76	7.97	5.71				4°	24.62	11°	24.83		
		5°	44.49	46.16	45.87	45.57	6.26	5.98				5°	24.01	12°	24.96		
		6°	49.81	46.27	46.22	45.68	7.13	5.82				6°	24.38	13°	25.93		
		7°										7°	25.05	14°	23.55		
VALOR MÍNIMO			41.5	41.24	44.75	45.57	5.39	4.96	0	0	0	108.76	23.60		23.55		
ELABORADO			REVISADO				CONTROL				APROBADO						
Arquímedes Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores				Jefe de Ingeniería Procesos				Superintendente Procesos						
01-feb-16			01-feb-16				02-feb-16				02-feb-16						

Figura: 46 Informe de inspección de Alimentador N° 2.  
Fuente: Elaboración propia - 2016

Yanacocha		INFORME DE INSPECCIÓN DE ALIMENTADOR DE PLACA (APRON FEEDER) N° 3										FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:				
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO												PREPARADO POR:				
												INGENIERIA MANTENIMIENTO				
APRON FEEDER N° 3																
METODO	FECHA	N°	RODILLOS DE CARGA	BUJES (mm)				SPROCKET		RUEDA GUIA		ARTEZAS				
				LADO DERECHO (mm)		L. IZQUIERDO	L DERECHO	L. IZQUIERDO	L DERECHO	L. IZQUIERDO	L DERECHO	PUNTO		PUNTO		
				EXTERIOR	INTERIOR							EXTERIOR	INTERIOR			
VISUAL TEST	05/11/2015	1°	200	198	205	206	63	64	212	213	64	64				
		2°	200	200	205	206	62	65								
		3°	201	198	202	204	66	68	214	215						
		4°	205	204	206	204	60	67								
		5°	207	204	207	206	67	70	213	214						
		6°	206	204	207	207	64	68								
										PROMEDIO	PROMEDIO					
VALOR MÍNIMO			200	198	202	204	60	64	212	213	64	64	0	0	0	0
ULTRASONIC TEST	06/11/2015	1°	42.22	41.53	45.90	44.54	7.53	7.82	OK	OK		108.76	1°	24.28	8°	24.47
		2°	42.43	41.45	44.30	43.82	6.90	7.93					2°	24.31	9°	25.23
		3°	42.90	41.70	45.76	44.70	7.05	8.35					3°	24.10	10°	29.97
		4°	47.75	46.28	45.81	45.94	6.52	7.02					4°	23.46	11°	24.50
		5°	48.21	45.73	46.42	46.30	7.32	6.66					5°	23.09	12°	23.64
		6°	47.41	45.73	46.71	46.07	7.22	6.99					6°	23.37	13°	23.37
														7°	23.49	14°
VALOR MÍNIMO			42.22	41.45	44.3	43.82	6.52	6.66	0	0	0	108.76		23.09		22.63
ELABORADO			REVISADO				CONTROL				APROBADO					
Arquímides Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores				Jefe de Ingeniería Procesos				Superintendente Procesos					
01-feb-16			01-feb-16				02-feb-16				02-feb-16					

Figura: 47 Informe de inspección de Alimentador N° 3.  
Fuente: Elaboración propia - 2016

Anexo 3: Registro de observación directa.

		<b>INFORME DE INSPECCIÓN DE APRON FEEDER</b>				FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:				
						PREPARADO POR:				
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO						INGENIERIA MANTENIMIENTO				
Modelo:	_____	Fecha de Inspección:	_____		NOTAS:					
Numero de serie:	_____	Horas de funcionamiento:	_____							
Numero de Equipos:	_____	ugar de trabajo:	_____							
Fabricante:	_____	condición del terreno:	Baja	Moderado				Alto		
Numero:	_____	Impacto:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
Ubicación:	_____	Abrasive:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
Fecha de Mantenimiento:	_____	Humedad:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
Chorometro operativo:	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Compactación:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
Tipo:	_____	Desgaste del buje:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
COMPONENTES	FECHA DE INSTALACIÓN		HORAS en la superficie de desgaste	HERRAMIENTA USADA				MEDICIÓN		% DE DESGASTE
	Nuevo	Cirado/ Sold			Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Hasta el 100% de desgaste	Hasta el 120% de desgaste
ESLABONES N° de piezas Número de secciones	*	*	*	Profundidad <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
BUJES <input type="checkbox"/> Sellado Interno <input type="checkbox"/> Sellado y Lubricado Externo <input type="checkbox"/> Giratorio	*	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
	*	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
ARTESAS Ancho	*	*	*	Profundidad <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
RUEDA GUIA <input type="checkbox"/> Dos tamaños N° de piezas	*	*	*	Profundidad <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
RODILLOS DE CARGA N° de piezas: Población de muestra	Interno	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
	Externo	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
RODILLOS DE RETORNO N° de piezas: Población de muestra	Interno	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
	Externo	*	*	Calibrador <input type="checkbox"/> Ultrasonido <input type="checkbox"/>						
RUEDA MOTRIZ <input type="checkbox"/> Dos tamaños N° de piezas	*	*	*	Cinta métrica <input type="checkbox"/> Indicador <input type="checkbox"/>						

Observaciones y recomendaciones	
Estabones	_____
Bujes	_____
Artzas	_____
Rueda guía	_____
Rodillos	_____
Rueda Motriz	_____
Pernos de artesas	_____

Este documento será controlado en formato impreso por el área de Ingeniería de Mantenimiento

ELABORADO	REVISADO	CONTROL	APROBADO
Arquímedes Villegas Parryne	Ing. Segundo Luis Wilchez Flores	Jefe de Ingeniería Procesos	Superintendente Procesos
01-feb-16	01-feb-16	02-feb-16	02-feb-16

Figura: 48 Informe de Inspección.  
Fuente: Elaboración propia - 2016.

		<b>INFORME DE INSPECCIÓN DE APRON FEEDER</b>				FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:						
						(3-4-5-6) de noviembre 2015						
						PREPARADO POR:						
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO						INGENIERIA MANTENIMIENTO						
Modelo:		Fecha de inspección:		9-septiembre 2015		FECHA:		15/09/2015				
Número de serie:		Horas de funcionamiento:				NOTAS:						
Número de Equipo:		Lugar de trabajo:		GM- stock Pile - Apron Feeder N° 1								
Fabricante:		Condición del terreno:		Baja Moderado Alto								
Número:		Impacto:		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
Ubicación:		Abrasivo:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>								
Fecha de Mantenimiento:		Humedad:		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
¿horometro operativo?:		Compactación:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
Tipo:		Desgaste del buje:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
COMPONENTES	FECHA DE INSTALACIÓN		HORAS en la superficie de desgaste	HERRAMIENTA USADA	MEDICIÓN		% DE DESGASTE		TOTAL DE HORAS POTENCIALES			
	Nuevo	Girados/Soldados			Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Hasta el 100% de desgaste		Hasta el 120% de desgaste	
									Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
ESLABONES N° de piezas	29/06/2012	-	28,152.00	Profundidad <input type="checkbox"/>	64	64	90%	90%	3128	3128	9384	9384
Número de secciones				Ultrasonido <input type="checkbox"/>	5.59	6.38	84%	78%	5362.2857	7940.3077	12065.143	15158.7692
BUJES	29/06/2012	-	28,152.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	64	64	90%	90%	3,128.00	3,128.00	9,384.00	9,384.00
<input type="checkbox"/> Sellado Interno				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	5.59	6.38	84%	78%	5,362.29	7,940.31	12,065.14	15,158.77
<input checked="" type="checkbox"/> Sellado y Lubricado Externo	29/06/2012	-	28,152.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	64	64	90%	90%	3,128.00	3,128.00	9,384.00	9,384.00
<input type="checkbox"/> Giratorio				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	5.59	6.38	84%	78%	5,362.29	7,940.31	12,065.14	15,158.77
ARTESAS	29/06/2012	-	28,152.00	Profundidad <input type="checkbox"/>			0%	0%				
Ancho				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	22.31	20.1	95%	95%	1,481.68	1,481.68	7,408.42	7,408.42
RUEDA GUIA <input type="checkbox"/> Dos tamaños	10/03/2015	-	4,536.00	Profundidad <input checked="" type="checkbox"/>	6	6.3	64%	64%	15,835.50	15,835.50	24,633.00	24,633.00
N° de piezas				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	108.76	108.76	66%	66%	14,502.55	14,502.55	23,033.45	23,033.45
RODILLOS DE CARGA	24/08/2013	-	18,048.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	207	206	15%	18%	102,272.00	82,218.67	126,336.00	102,272.00
N° de piezas:				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	46.46	46.19	17%	18%	88,116.71	82,218.67	109,349.65	102,272.00
Población de muestra	24/08/2013	-	18,048.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	205	204	21%	27%	67,894.86	48,796.44	85,083.43	62,165.33
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	46.53	45.49	17%	23%	88,116.71	60,421.57	109,349.65	76,115.48
RODILLOS DE RETORNO	04/12/2013	-	15,600.00	Calibrador <input type="checkbox"/>								
N° de piezas:				Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
Población de muestra	04/12/2013	-	15,600.00	Calibrador <input type="checkbox"/>								
				Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
RUEDA MOTRIZ <input type="checkbox"/> Dos tamaños	23/08/2013	-	18,072.00	Cinta métrica <input checked="" type="checkbox"/>	217	211						
N° de piezas	3			Indicador <input checked="" type="checkbox"/>	D7	D7	>50%	>50%				
<b>Observaciones y recomendaciones</b>												
Eslabones												
Bujes												
Artesas												
Rueda guía												
Rodillos												
Rueda Motriz												
Pernos de artesas												
Este documento será controlado en formato impreso por el área de Ingeniería de Mantenimiento												
<b>ELABORADO</b>			<b>REVISADO</b>			<b>CONTROL</b>			<b>APROBADO</b>			
Arquimides Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores			Jefe de Ingeniería Procesos			Superintendente Procesos			
28-ago-15			01-sep-15			03-sep-15			05-sep-15			

**Figura: 49** Informe de Inspección Alimentador N° 1.  
Fuente: Elaboración propia - 2016.

Yanacocha		INFORME DE INSPECCIÓN DE APRON FEEDER				FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:						
						(3-4-5-6) de noviembre 2015						
INGENIERIA DE MANTENIMIENTO		PREPARADO POR:				INGENIERIA MANTENIMIENTO						
						FECHA: 15/09/2015						
Modelo:		Fecha de inspección:	9-setiembre 2015		FECHA:	15/09/2015						
Numero de serie:		Horas de funcionamiento:										
Numero de Equipo:		Lugar de trabajo:	GM- stock Pile - Apron Feeder N° 2		NOTAS:							
Fabricante:	CATERPILLAR - (otros)	condición del terreno:	Baja	Moderado						Alto		
Numero:		Impacto:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
Ubicación:	Yanacocha SRL	Abrasivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>		
Fecha de Mantenimiento:		Humedad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
¿horometro operativo?:	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Compactación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
Tipo:		Desgaste del buje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		
COMPONENTES	FECHA DE INSTALACIÓN		HORAS en la superficie de desgaste	HERRAMIENT A USADA						MEDICIÓN		% DE DESGASTE
	Nuevo	Girados/Solo			Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Hasta el 100% de desgaste		Hasta el 120% de desgaste	
									Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
ESLABONES N° de piezas	06/11/2013	-	16,272.00	Profundidad <input checked="" type="checkbox"/>	65	64	82%	90%	3571.9024	1808	7540.6829	5424
Número de secciones				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	5.39	4.96	86%	88%	2648.9302	2218.909091	6433.1163	5917.0909
BUJES	Interno	-	16,272.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	65	64	82%	90%	3,571.90	1,808.00	7,540.68	5,424.00
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	5.39	4.96	86%	88%	2,648.93	2,218.91	6,433.12	5,917.09
<input checked="" type="checkbox"/> Sellado y Lubricado	Externo	-	16,272.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	65	64	82%	90%	3,571.90	1,808.00	7,540.68	5,424.00
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	5.39	4.96	86%	88%	2,648.93	2,218.91	6,433.12	5,917.09
ARTESAS	Ancho	-	16,272.00	Profundidad <input type="checkbox"/>			98%	98%	332.08163	332.0816327	3652.898	3652.898
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	23.6	23.55	98%	98%	332.08163	332.0816327	3652.898	3652.898
RUEDA GUIA	N° de piezas	-	8,592.00	Profundidad <input checked="" type="checkbox"/>	5.9	6.3	66%	66%	4426.1818	4426.181818	7029.8182	
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	108.76	108.76	67%	67%	4231.8806	4231.880597	15388.657	
RODILLOS DE CARGA	Interno	-	18,048.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	203	202	33%	40%	36,642.91	27,072.00	47,581.09	36,096.00
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	41.24	45.57	70%	33%	7,734.86	36,642.91	12,891.43	47,581.09
Población de muestra	Externo	-	18,048.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	198	202	68%	40%	8,493.18	27,072.00	13,801.41	36,096.00
				Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	41.5	44.75	70%	36%	7,734.86	32,085.33	12,891.43	42,112.00
RODILLOS DE RETORNO	Interno	-	8,592.00	Calibrador <input type="checkbox"/>								
				Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
Población de muestra	Externo	-	8,592.00	Calibrador <input type="checkbox"/>								
				Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
RUEDA MOTRIZ	N° de piezas	-	16,272.00	Cinta métrica <input checked="" type="checkbox"/>	207	211						
				Indicador <input checked="" type="checkbox"/>	D7	D7	>50%	>50%				
Observaciones y recomendaciones												
Eslabones												
Bujes												
Artesas												
Rueda guía												
Rodillos												
Rueda Motriz												
Pernos de artesas												
Este documento será controlado en formato impreso por el área de Ingeniería de Mantenimiento												
ELABORADO			REVISADO			CONTROL			APROBADO			
Arquímedes Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores			Jefe de Ingeniería Procesos			Superintendente Procesos			
28-ago-15			01-sep-15			03-sep-15			05-sep-15			

Figura: 50 Informe de Inspección Alimentador N° 2.  
Fuente: Elaboración propia - 2016.

<b>Yanacocha</b>		<b>INFORME DE INSPECCIÓN DE APRON FEEDER</b>				FECHA DE PRÓXIMA INSPECCIÓN:							
						<b>(3-4-5-6) de noviembre 2015</b>							
						PREPARADO POR:							
<b>INGENIERIA DE MANTENIMIENTO</b>						<b>INGENIERIA MANTENIMIENTO</b>							
Modelo:		Fecha de inspección:		9-setiembre 2015		<b>FECHA:</b>		15/09/2015					
Número de serie:		Horas de funcionamiento:											
Número de Equipo:		Lugar de trabajo:		GM- stock Pile - Apron Feeder N° 3									
Fabricante:		CATERPILLAR - (otros)		Condición del terreno:		Baja Moderado Alto							
Número:				Impacto:		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
Ubicación:		Yanacocha SRL		Abrasivo:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>							
Fecha de Mantenimiento:				Humedad:		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
¿horometro operativo?:		Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Compactación:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
Tipo:				Desgaste del buje:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
COMPONENTES	FECHA DE INSTALACIÓN		HORAS en la superficie de desgaste	HERRAMIENTA USADA	MEDICIÓN		% DE DESGASTE		TOTAL DE HORAS POTENCIALES				
	Nuevo	Girados/Sold			Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Hasta el 100% de desgaste		Hasta el 120% de desgaste		
									Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	
ESLABONES N° de piezas	03/12/2012	-	24,384.00	Profundidad <input type="checkbox"/>	60	64	82%	90%	5352.585366	2709.333333	11299.90244	8128	
Número de secciones				Ultrasonido <input type="checkbox"/>	6.52	6.66	86%	88%	3969.488372	3325.090909	9640.186047	8866.909091	
BUJES				Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	60	64	82%	90%	5,352.59	2,709.33	11,299.90	8,128.00	
<input type="checkbox"/> Sellado	Interno	03/12/2012	-	24,384.00	Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	6.52	6.66	86%	88%	3,969.49	3,325.09	9,640.19	8,866.91
<input checked="" type="checkbox"/> Sellado y Lubricado	Externo	03/12/2012	-	24,384.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	63	64	98%	90%	497.63	2,709.33	5,473.96	8,128.00
<input type="checkbox"/> Giratorio					Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	6.52	6.66	78%	76%	6,877.54	7,700.21	13,129.85	14,117.05
ARTESAS					Profundidad <input type="checkbox"/>			0%	0%				
Ancho		03/12/2012	-	24,384.00	Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	23.6	23.55	90%	90%	2709.333333	2709.333333	8128	8128
RUEDA GUIA <input type="checkbox"/> Dos tamaños					Profundidad <input checked="" type="checkbox"/>	5.9	6.3	66%	66%	4537.454545	4537.454545	7206.545455	
N° de piezas		13/09/2014	-	8,808.00	Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	108.76	108.76	66%	67%	4537.454545	4338.268657	16014.54545	
RODILLOS DE CARGA	Interno	03/12/2014	-	6,864.00	Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	203	202	33%	40%	13,936.00	10,296.00	18,096.00	13,728.00
Población de muestra	Externo	03/12/2014	-	6,864.00	Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	41.24	45.57	66%	25%	3,536.00	20,592.00	5,616.00	26,083.20
					Calibrador <input checked="" type="checkbox"/>	198	202	63%	40%	4,031.24	10,296.00	6,210.29	13,728.00
					Ultrasonido <input checked="" type="checkbox"/>	41.5	44.75	70%	36%	2,941.71	12,202.67	4,902.86	16,016.00
RODILLOS DE RETORNO	Interno	13/09/2014	-	8,808.00	Calibrador <input type="checkbox"/>								
Población de muestra	Externo	13/09/2014	-	8,808.00	Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
					Calibrador <input type="checkbox"/>								
					Ultrasonido <input type="checkbox"/>								
RUEDA MOTRIZ <input type="checkbox"/> Dos tamaños					Cinta métrica <input checked="" type="checkbox"/>	207	211						
N° de piezas	3	08/05/2014	-	11,880.00	Indicador <input checked="" type="checkbox"/>	D7	D7	>50%	>50%				
<b>Observaciones y recomendaciones</b>													
Eslabones													
Bujes													
Artesas													
Rueda guía													
Rodillos													
Rueda Motriz													
Pernos de artesas													
Este documento será controlado en formato impreso por el área de Ingeniería de Mantenimiento													
<b>ELABORADO</b>			<b>REVISADO</b>			<b>CONTROL</b>			<b>APROBADO</b>				
Arquímedes Villegas Pereyra			Ing. Segundo Luis Vilchez Flores			Jefe de Ingeniería Procesos			Superintendente Procesos				
28-ago-15			01-sep-15			03-sep-15			05-sep-15				

**Figura: 51** Informe de Inspección Alimentador N° 3.  
Fuente: Elaboración propia - 2016.

#### Anexo 4: Equipos de recolección de datos de campo



**Figura: 52** Equipos de Ultrasonido  
**Fuente:** Elaboración Propia – Yanacocha 2016



**Figura: 53** Calibración de equipo Ultrasonido.  
**Fuente:** Elaboración Propia – Yanacocha 2016



**Figura: 54** Herramientas del Servicio Especial de Cadenas  
**Fuente:** Elaboración Propia – ingeniería Mantenimiento MYSRL

**Anexo 5: imágenes de inspección**



**Figura: 55** Inspección de Rueda Guía (sprocket)  
**Fuente:** Elaboración Propia – Ingeniería Mantenimiento MYSRL



**Figura: 56** Inspección de chute y Artesas  
**Fuente:** Elaboración Propia – Ingeniería Mantenimiento MYSRL



**Figura: 57** Inspección de rodillos, bujes y eslabones  
**Fuente:** Elaboración Propia – Ingeniería Mantenimiento MYSRL



**Figura: 58** Monitoreo de los equipos en estudio Gold Mill - 2015  
**Fuente:** Elaboración Propia