



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR  
LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE LA PLANTA PRE  
CONCENTRADO ORE SORTING DE LA UNIDAD MINERA SAN  
RAFAEL – MINSUR, 2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CALLOMAMANI YUNCA ERASMO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*El presente trabajo de tesis lo dedico a todas las personas que han hecho posible que se pueda realizar, así como a todos lo que han estado conmigo de manera directa e indirecta. A mi madre que me brindaba su paciencia y me dio el impulso necesario para poder meterme en la carrera de ingeniería metalúrgica.*

*Erasmó Callomamani Yunca*



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a los docentes de la carrera de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en especial a mi director de tesis, por guiar esta investigación y formar parte de otro objetivo alcanzado.*

*Erasmus Callomamani Yunca*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ABREVIATURAS**

**RESUMEN..... 13**

**ABSTRACT ..... 14**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16**

**1.2. PROBLEMA GENERAL..... 17**

**1.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS..... 18**

**1.4. JUSTIFICACION ..... 18**

**1.5. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION ..... 19**

1.5.1. Hipótesis General..... 19

**1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION..... 19**

1.6.1. Objetivo General..... 19

1.6.2. Objetivos Específicos ..... 19

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES ..... 20**

**2.2. MARCO TEÓRICO. .... 25**

2.2.1. La Empresa Minsur..... 25



2.2.2.	Planta de pre concentración “Ore Sorting” .....	27
2.2.3.	Plan De Mantenimiento .....	35
2.2.4.	Plan De Mantenimiento Preventivo .....	41
2.2.5.	Plan De Mantenimiento Correctivo .....	46
2.2.6.	Cronograma De Mantenimiento Preventivo .....	48
2.2.7.	La Disponibilidad De Un Equipo .....	50
2.2.8.	Diagrama De Pareto .....	53

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1.</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>55</b>
3.1.1.	En Recepción De Mineral .....	55
3.1.2.	En Chancado .....	55
3.1.3.	En Clasificación .....	55
3.1.4.	En Pallaquero .....	55
3.1.5.	Otros .....	55
<b>3.2.</b>	<b>DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>56</b>
3.2.1.	Diseño De La Investigación .....	56
3.2.2.	Nivel de la investigación .....	57
3.2.3.	Tipo de la investigación .....	57
<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>58</b>
3.3.1.	Población .....	58
3.3.2.	Muestra .....	58
<b>3.4.</b>	<b>UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>59</b>
3.4.1.	Ubicación .....	59
3.4.2.	Descripción De La Investigación .....	59
<b>3.5.</b>	<b>TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS .....</b>	<b>62</b>



3.5.1. Técnicas .....	62
-----------------------	----

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. ANÁLISIS HISTÓRICO DE FALLAS (PRE TEST).....</b>	<b>63</b>
4.1.1. Codificación De Los Equipos .....	83
<b>4.2. SELECCIÓN DE EQUIPOS MÁS CRÍTICOS.....</b>	<b>86</b>
4.2.1. Diagrama De Pareto análisis de fallas de los equipos. ....	86
4.2.2. Equipos Críticos A Implementar PMP .....	89
4.2.3. Indicadores de mantenimiento .....	89
<b>4.3. IMPLEMENTACION DEL PLAN PREVENTIVO (EXPERIMENTACIÓN).....</b>	<b>92</b>
4.3.1. Plan de mantenimiento preventivo para la faja reversible .....	93
4.3.2. Plan de mantenimiento preventivo para la chancadora cónica 200 .....	94
4.3.3. Plan de mantenimiento preventivo para la chancadora de mandíbulas ....	95
4.3.4. Plan de mantenimiento preventivo para la zaranda de triple piso .....	96
4.3.5. Plan de mantenimiento preventivo para la faja “Z” .....	97
4.3.6. Plan de mantenimiento preventivo para la zaranda de doble piso .....	98
4.3.7. Plan de mantenimiento preventivo para el alimentador vibratorio .....	99
4.3.8. Plan de mantenimiento preventivo para los SORTERS .....	100
<b>4.4. CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>	<b>101</b>
<b>4.6. PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS) .....</b>	<b>109</b>
<b>4.7. INDICADORES DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN (POST TEST) 118</b>	
4.7.1. Faja Reversible .....	118
4.7.2. Chancadora Conica-200.....	119
4.7.3. Chancadora De Mandíbulas.....	120
4.7.4. Zaranda De Triple Piso .....	121



4.7.5.	Faja Transportadora En Z .....	123
4.7.6.	Zaranda De Doble Piso .....	124
4.7.7.	Alimentador Vibratorio.....	125
4.7.8.	Sorters .....	126
4.7.9.	Indicadores Después De La Implementación (MP).....	127
4.7.10.	Proyección de la disponibilidad de los equipos .....	129
4.7.11.	Producción proyectada respecto a la disponibilidad.....	130
4.7.12.	Costos de explotación en la planta ore Sorting.....	131
4.7.13.	Costos para procesar una tonelada de mineral.....	132
<b>4.8.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>136</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>137</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>138</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>141</b>

**Área: Mantenimiento**

**Tema: Metalúrgia transformativa**

**Fecha de sustentación: 26 de octubre de 2021.**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Vista de la Planta Pre Concentrado Ore Sorting.....	27
<b>Figura 2</b> Selección de Mineral con Sensor de Transmisión de Rayos X. ....	31
<b>Figura 3</b> Criterio de Selección .....	32
<b>Figura 4</b> Fotografía de los Sorters la Planta Ore Sorting - Minsur .....	33
<b>Figura 5</b> Diagrama de flujo 2800 TPD.....	34
<b>Figura 6</b> Dirección Mismo Nivel que Fabricación.....	38
<b>Figura 7</b> Integradas en la Producción.....	38
<b>Figura 8</b> Organigrama. ....	40
<b>Figura 9</b> Tipos de Mantenimiento. ....	41
<b>Figura 10</b> Indicadores de la Disponibilidad. ....	52
<b>Figura 11</b> Tolva de Gruesos .....	63
<b>Figura 12</b> Alimentador Vibratorio TRIO .....	64
<b>Figura 13</b> Zaranda Vibratoria de un Solo Piso.....	65
<b>Figura 14</b> Chancadora de Mandíbulas TRIO. ....	66
<b>Figura 15</b> Incidencia de Corte en Faja "z". ....	68
<b>Figura 16</b> Chancadora Nordberg HP-200. ....	69
<b>Figura 17</b> Zaranda Vibratoria Doble Piso.....	71
<b>Figura 18</b> Zaranda Vibratorio de Triple Piso. ....	72
<b>Figura 19</b> Faja Transportadora 1051-CB-004.....	73
<b>Figura 20</b> Faja Transportadora 1051-CB-006.....	74
<b>Figura 21</b> SORTERS.....	77
<b>Figura 22</b> Faja Transportadora 1052-CB02. ....	78
<b>Figura 23</b> Faja Transportadora 1052-CB-003.....	80
<b>Figura 24</b> Faja Transportadora Reversible 1051-CB-003.....	81
<b>Figura 25</b> Análisis de los Equipos por el Diagrama de Pareto 80 - 20. ....	87



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Indicadores de Producción .....	35
<b>Tabla 2</b> Incidencias de la Tolva de Gruesos de seis meses. ....	64
<b>Tabla 3</b> Incidencias del Alimentador Vibratorio TRIO de seis meses. ....	65
<b>Tabla 4</b> Incidencias de la Zaranda Vibratoria de un Solo Piso de Seis Meses. ....	66
<b>Tabla 5</b> Incidencias de la Chancadora de mandíbulas TRIO de Seis Meses.....	67
<b>Tabla 6</b> Incidencias de la Faja Transportadora N° 01 de Seis Meses.....	67
<b>Tabla 7</b> Incidencias de la Faja Numero 02 o "Faja Z" de Seis Meses.....	68
<b>Tabla 8</b> Incidencias de la Chancadora Cónica de Seis Meses.....	69
<b>Tabla 9</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 10 de Seis Meses. ....	70
<b>Tabla 10</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 11 de Seis Meses. ....	70
<b>Tabla 11</b> Incidencias de la Zaranda de Doble Piso de Seis Meses.....	71
<b>Tabla 12</b> Incidencias de la Zaranda de Triple Piso de Seis Meses.....	72
<b>Tabla 13</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 04 de Seis Meses. ....	73
<b>Tabla 14</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 05 de Seis Meses. ....	74
<b>Tabla 15</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 06 de Seis Meses. ....	75
<b>Tabla 16</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 07 de Seis Meses. ....	75
<b>Tabla 17</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 08 de Seis Meses. ....	76
<b>Tabla 18</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 09 de Seis Meses. ....	76
<b>Tabla 19</b> Incidencias de los Sorters de Seis Meses. ....	77
<b>Tabla 20</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 02 de Seis Meses. ....	78
<b>Tabla 21</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 04 de Seis Meses. ....	79
<b>Tabla 22</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 01 de Seis Meses. ....	79
<b>Tabla 23</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 03 de Seis Meses. ....	80
<b>Tabla 24</b> Incidencias la Faja Transportadora N° 05 de Seis Meses. ....	81
<b>Tabla 25</b> Incidencias la Faja Transportadora Reversible de Seis Meses.....	82
<b>Tabla 26</b> Resumen General de Todas las Fallas o pre test de Seis Meses.....	82



<b>Tabla 27</b> Codificación de los Equipos en la Zona Chancado Primario.....	84
<b>Tabla 28</b> Codificación de los Equipos en la Zona Chancado Secundario.....	84
<b>Tabla 29</b> Codificación de los Equipos en la Zona de Clasificación.....	85
<b>Tabla 30</b> Codificación de los Equipos de la Zona de Sorters.....	86
<b>Tabla 31</b> tabla de análisis de los equipos que sobrepasan el 80%.....	87
<b>Tabla 32</b> Equipos Críticos que Tienen más del 80% de Fallas.....	89
<b>Tabla 33</b> confiabilidad de los equipos.....	90
<b>Tabla 34</b> Mantenibilidad de Cada Equipo.....	91
<b>Tabla 35</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Reversible.....	93
<b>Tabla 36</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para la Chancadora Cónica 200.....	94
<b>Tabla 37</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora de Mandíbulas.....	95
<b>Tabla 38</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Triple Piso.....	96
<b>Tabla 39</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para la Faja Z.....	97
<b>Tabla 40</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para la Zaranda de Doble Piso.....	98
<b>Tabla 41</b> Plan de Mantenimiento Preventivo para el Alimentador vibratorio.....	99
<b>Tabla 42</b> Plan de mantenimiento Preventivo para los SORTERS.....	100
<b>Tabla 43</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Reversible.....	118
<b>Tabla 44</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora Cónica 200.....	119
<b>Tabla 45</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora de Mandíbulas.....	120
<b>Tabla 46</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Triple Piso.....	121
<b>Tabla 47</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Transportadora en Z.....	123
<b>Tabla 48</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Doble Piso.....	124
<b>Tabla 49</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Alimentador Vibratorio.....	125
<b>Tabla 50</b> Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Sorters.....	126
<b>Tabla 51</b> Resumen de los Datos obtenidos con el plan de mantenimiento preventivo.....	127
<b>Tabla 52</b> Disponibilidad Histórica.....	129
<b>Tabla 53</b> Método de Regresión Lineal.....	129
<b>Tabla 54</b> Disponibilidad de los Equipos Proyectado.....	130



<b>Tabla 55</b> Costos de Explotación del Mineral de Estaño en Ore Sorting. ....	131
<b>Tabla 56</b> Sueldos Mensuales de Trabajadores. ....	132
<b>Tabla 57</b> Costo de Mano de Obra para Procesar 1 Tonelada de Mineral.....	134
<b>Tabla 58</b> Costo de Energía para Procesar una Tonelada de Mineral.....	135
<b>Tabla 59</b> Resumen de los Gastos Para Procesar 1 ton de Mineral pre-concentrado. ....	136



## ABREVIATURAS

PMP	Plan de mantenimiento preventivo
PMC	Plan de mantenimiento correctivo
PMPR	Plan de mantenimiento predictivo
HP	Caballos de fuerza
m	metros
MTTF	Tiempo promedio operativo hasta el fallo
MTTR	Tiempo promedio de reparación
h	hora
p	pagina
Revoluciones Por Minuto	rpm
Área de la Superficie	AS
Kilogramo	kg
Gramo	g
Soles	S/
Dólares	\$
Medio Ambiente	MA
Watts	W
Velocidad	v
Hora	h
Minuto	min
Segundo	s



## RESUMEN

El presente proyecto de tesis titulado, plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020. Tiene como objetivo principal implementar el plan de mantenimiento preventivo y para alcanzar este fin fue necesario hacer un diagnóstico del estado de los equipos, implementar el plan de mantenimiento preventivo y aumentar la disponibilidad de los equipos, con el fin de contribuir en el cumplimiento de la política de calidad establecida por la empresa. Para el estudio se recurrió al tipo de investigación experimental de diseño preexperimental con un enfoque cuantitativo y la metodología desarrollada fue diagnosticar los equipos, luego seleccionar los equipos más críticos con el diagrama de Pareto 80-20, implementar el plan de mantenimiento preventivo y finalmente volver a evaluar la disponibilidad de los equipos, lo que nos llevó a concluir que el diagnóstico inicial de los equipos dio 08 equipos críticos, la disponibilidad de 79%, con la implementación del plan de mantenimiento preventivo subió la disponibilidad a un 89% y también aumento la vida útil y tiempo de producción.

**Palabras Clave:** Disponibilidad, Equipos, Mantenimiento, Metalúrgica, Preventivo.



## ABSTRACT

The present thesis project entitled, preventive maintenance plan to improve the availability of equipment in the pre-concentrated Ore Sorting plant of the San Rafael Mining Unit - Minsur, 2020. Its main objective is to implement the preventive maintenance plan and to achieve this end It was necessary to make a diagnosis of the state of the equipment, implement the preventive maintenance plan and increase the availability of the equipment, in order to contribute to compliance with the quality policy established by the company. For the study, the type of experimental research of pre-experimental design with a quantitative approach was used and the methodology developed was to diagnose the equipment, then select the most critical equipment with the Pareto 80-20 diagram, implement the preventive maintenance plan and finally return to evaluate the availability of the equipment, which led us to conclude that the initial diagnosis of the equipment gave 08 critical equipment, the availability of 79%, with the implementation of the preventive maintenance plan the availability increased to 89% and also increased shelf life and production time.

**Keywords:** Availability, Equipment, Maintenance, Metallurgical, Preventive.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El plan preventivo es para prevenir las fallas que puedan ocurrir de manera inesperada en los equipos, como su nombre mismo lo dice prevención, este plan es adecuada según el tipo de equipo a usar, para cada equipo podría ser diferente; la mayoría de las empresas en nuestro país tienen un plan preventivo para sus equipos y además otros tipos de planes como el predictivo y correctivo, para que sus equipos y maquinarias tengan la disponibilidad de trabajo y mayor durabilidad.

Mientras tanto, se encontraron planes preventivos en algunas empresas con diferentes diseños acorde a sus equipos y maquinarias acorde al tipo de trabajo, los equipos y maquinarias a trabajar es de una planta concentradora de baja ley, en las áreas de chancado y selección, es por eso que partimos con el diagnóstico y codificación de cada equipo, con la hipótesis de que se lograra una mayor disponibilidad y rendimiento de los equipos, se tiene un gran porcentaje de que al implementar este plan preventivo en la planta se obtendrá la mayor disponibilidad de los equipos y se corregirá el problema de las fallas y averías inesperadas que llevan a la planta a parar su producción y por ende a grandes pérdidas a la empresa Minsur.

El motivo para realizar esta tesis de implementar un plan de mantenimiento preventivo de equipos de la planta pre-concentrado ore sorter de la unidad minera San Rafael – Minsur ya que anteriormente no contaba con este plan. Motivo por el cual ocurrían paradas inesperadas de la planta por la falla de un equipo en el circuito de producción, De modo que con el plan preventivo se facilita el momento exacto antes de que ocurra una falla a los mecánicos para el respectivo mantenimiento y seguir con la producción sin mayores pérdidas de producción por una falla más grave.



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La palabra implementar permite expresar la acción de poner en práctica, medidas y métodos, entre otros, para concretar alguna actividad, plan, o misión, en otras alternativas (Ucha, 2012).

El mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos mediante la realización de revisión y limpieza que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, por oposición al mantenimiento correctivo que repara o pone en condiciones de funcionamiento aquellos que dejaron de funcionar o están dañados.

La disponibilidad de una máquina es una métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos.

La misión de calcular la disponibilidad de los equipos industriales es esencial para elegir y seguir las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo (Alberi, 2020).

A nivel mundial:

El uso del “plan de mantenimiento preventivo (PdM) es la mejor herramienta implementada en el marco de la industria global. Se estima que entre el 56 y el 64% de las plantas industriales del mundo han implementado alguna herramienta PdM. En los países desarrollados, alrededor del 77% cuenta con un programa de mantenimiento predictivo en funcionamiento” (Mantenimiento, 2020).

A nivel nacional:

“EL uso del plan de mantenimiento preventivo en la industria peruana varía de 78 a 85%” (ALS, 2019).



En las empresas productoras que usan máquinas y equipos, en su mayoría las empresas informales y artesanales son las que carecen de algún tipo de plan de mantenimiento.

A nivel regional son escasas las empresas que tienen implementadas el plan de mantenimiento preventivo, la mayoría de las empresas en la región de Puno son informales y artesanales, estas empresas no cuentan con este tipo de plan por desconocimiento y conocimiento.

A nivel de la empresa, en la empresa Min Sur San Rafael si se cuenta con planes de mantenimiento en sus varias plantas de procesamiento y concentración en un 78% pero en el 22% de ella aún no se cuenta con planes de mantenimiento, como es la planta pre-concentrada Ore Sorter.

Las causas para la baja disponibilidad de los equipos fueron por no contar con un plan de mantenimiento, dando como resultado muchas fallas y averías inesperadas y esto lleva a pérdidas de producción en la empresa.

Los efectos de seguir sin un plan de mantenimiento preventivo nos llevan a pérdidas y retraso en la producción de la empresa minera.

El aporte que propone esta investigación para solucionar el problema es la implementación del plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos sobre el 90%, porque este plan de mantenimiento garantiza la disponibilidad de los equipos.

## **1.2. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficacia del plan de mantenimiento preventivo en la mejora de la disponibilidad de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020?



### 1.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS

1. ¿Cuál es la disponibilidad sin el plan de mantenimiento preventivo de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020?
2. ¿Cuál es la disponibilidad con el plan de mantenimiento preventivo de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020?

### 1.4. JUSTIFICACION

A medida que la ciencia y la tecnología avanzan, a nivel industrial se va generando nuevos métodos y técnicas de mantenimiento, esto hace que las empresas en su afán de mejorar adopten estos métodos, ya que al no hacerlo no podrán ser competitivas, generando así un constante cambio y evolución. Así mismo los planes de mantenimiento son cada vez más adoptados en los equipos de las plantas concentradoras por su eficacia, por eso es necesario que todos los equipos maquinarias de las empresas desarrollen todos estos planes de mantenimiento en sus equipos y maquinarias. En la actualidad lo que se espera alcanzar es mayor disponibilidad y vida útil de cualquier equipo en una planta concentradora, para disminuir costos de mantenimiento e incrementar la producción, generar seguridad dentro del proceso, por las razones ya mencionadas la planta pre-concentrado Ore Sorter de la Unidad Minera San Rafael – Minsur adopto la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de sus equipos acorde a las necesidades de la empresa de esta manera la producción será continua sin interrupciones por averías.

El plan de mantenimiento preventivo es el que mejor se ajusta a los requerimientos de los equipos de la empresa, porque aún no existe ningún tipo de planes de mantenimiento en la planta de pre-concentrado.



## **1.5. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

### ***1.5.1. Hipótesis General***

Con la implementación de un plan de mantenimiento preventivo de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur se logró mejorar la disponibilidad de los equipos.

## **1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### ***1.6.1. Objetivo General***

Determinar la eficacia del plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la planta pre-concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020.

### ***1.6.2. Objetivos Específicos***

1. Determinar la disponibilidad sin el plan de mantenimiento preventivo de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020.
2. Determinar la disponibilidad con el plan de mantenimiento preventivo de equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Espinoza (2013) propone la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para optimizar la Disponibilidad de los equipos de la unidad de chancado de Sociedad Minera El Brocal S.A.A. Para la realización de este proyecto, toma como modelo a las chancadoras secundarias y terciarias, debido a que estos equipos que son unos de los más complejos y críticos dentro de la planta, también por su tiempo de operación y porque este tipo de procesos carecen de stand by, por su alto costo de compra, operación y mantenimiento, y a la vez, son los que producen una mayor cantidad de mineral llegando al 70% aproximado del total procesado por la unidad. En primer lugar, se realizó un estudio de todos los equipos que componen la línea de producción, se tomó los datos por parte de la contrata BBA donde muestra las evidentes deficiencias del mantenimiento reflejadas en la disponibilidad y que en base a esto se implementa un plan de mantenimiento de los equipos donde se realizaron instructivos de mantención de acuerdo al componente crítico del sistema los cuales fueron conformados de acuerdo a sus respectivos catálogos. En lo que respecta a las cartillas de inspección estas fueron efectuadas de acuerdo a los subsistemas del equipo estudiado en el análisis de criticidad, con frecuencias propuestas por el fabricante y a la experiencia de los encargados de la mantención al igual que el stock de bodega.

Apaza (2020) implemento un Programa de Mantenimiento Preventivo en la Empresa SOLDIMAX S.A.C que se planteó como objetivo asegurar la continuidad del proceso productivo y alcanzar las metas trazadas en la política de gestión de calidad. De igual forma, el programa de mantenimiento preventivo contribuye en aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, llevando a cabo un mantenimiento



planeado, basado en las inspecciones programadas de los posibles puntos de falla que puedan ocasionar circunstancialmente paros de producción o deterioro grave de los equipos e instalaciones. El diseño e implementación de un manual de operación y mantenimiento para los talleres de Soldadura de la empresa SOLDIMAX S.A.C, es una guía para la ejecución de acciones técnicas tanto operativas como de mantenimiento a los equipos y máquinas, además este manual permitirá anticipar con éxito el deterioro e inoperancia de este equipamiento, logrando así el normal desarrollo de actividades en estos talleres. Inicialmente, la investigación planificó e implementó una codificación técnica tomando en cuenta aspectos como: ubicación, área y sistema. Posteriormente se determinó el estado técnico actual, mediante la evaluación de algunos parámetros de funcionamiento y la aplicación de un método de diagnóstico predictivo el mismo que permitió corroborar resultados cercanos a la realidad del verdadero estado de cada máquina y equipo. Finalmente, la aplicación de los dos métodos, sirvió para determinar los puntos relevantes y establecer las tareas de mantenimiento a ser tomados en cuenta en la realización de los manuales. Adicionalmente se elaboraron documentos pertinentes para optimizar la gestión del mantenimiento acorde al equipo que se posea. Se recomienda, al personal la utilización de estos manuales como guía y fuente de consulta, cabe recalcar que el funcionamiento óptimo de los equipos está directamente relacionado con el mantenimiento correcto y a tiempo de éstos, al mismo tiempo se espera que este estudio sirva como contribución para mejorar los índices operativos y de mantenimiento de los equipos y máquinas de los diferentes talleres.

Sarmiento (2017) En su informe profesional, describe su experiencia como Gerente de Operaciones de la empresa SERVICIOS INTEGRALES S&B C.A. Productora de sal, C.A., contrató los servicios de la empresa Servicios Integrales S&B C.A. con el fin de levantar su productividad, ya que durante los años anteriores se vio



perjudicada por sus excesivos gastos operativos pues necesitaban alquilar equipos para suplir sus deficiencias. La implementación del programa de mantenimiento considero una combinación de mantenimiento preventivo, correctivos y predictivo de acuerdo a las características de cada maquinaria. Se realizó en primer lugar el diagnóstico de la empresa en general haciendo uso de herramientas como el FODA y el Diagrama de Ishikahua, donde se obtuvo una visión del antes y después, enfocándonos en el mantenimiento de las maquinarias. El registro de las actividades de mantenimiento y operaciones durante la ejecución del programa se realizó el seguimiento al funcionamiento de los equipos utilizando para estos las hojas de vida y los informes presentados por los operadores y también de la supervisión del cliente. Se recopiló información suficiente para elaborar el nuevo plan y darle continuidad al programa de ese modo obtener un mayor índice de disponibilidad en la operación de las maquinarias de producción. La experiencia adquirida en el rubro del mantenimiento de maquinaria pesada, equipos de Minería, constructoras y campos petroleros, así como la experiencia en las empresas: Maquinarias Internacional S.A. Dealer KOMATSU y montacargas TOYOTA; Maquinarias Venequip S.A. Dealer CATERPILLAR, Meta Guayana S.A, Dealer JCB, y SANDVIK, en Venezuela, ha permitido desempeñarme en este campo de la actividad del mantenimiento de las maquinarias.

Carrasco (2018) definió que La minería como sector primario en nuestro país, es en realidad una de las industrias de producción de carácter fundamental en el desarrollo y crecimiento de nuestra economía, dichas actividades desarrolladas de explotación y extracción de mineral obedecen un plan llamado proceso de producción, en dicho plan se encuentran todas las etapas que se llevan a cabo en la industria minera, una de estas etapas importantísima en la cual se centra el presente informe es el acarreo de mineral, el cual es llevado a cabo por medio de camiones Cat 785C con la capacidad de cargar hasta 150



Ton de mineral, los mencionados camiones que operan en forma continua y en condiciones adversas por parte del entorno de trabajo al que están sometidos, son propensos a sufrir averías debido al desgaste de los componentes viéndose así forzosamente obligada a interrumpir la productividad del proceso producto del cese de trabajo por parte de las unidades, como se sabe cada hora de trabajo del equipo minero se traduce a una cantidad considerable de dinero en otras palabras posee costos de operación altos, para esto la empresa tercerizada Cosapi Minería SAC.

Simón (2017) dedujo que la aparición de las nuevas economías y el avance tecnológico en la actualidad están haciendo que las organizaciones sean más competitivas a través de la mejora de la productividad; ante ello surge la necesidad de mantener los equipos y herramientas en buen estado, para reducir las continuas fallas que existen en un proceso productivo y la mayoría de estas fallas suelen presentarse por el no adecuado uso de las herramientas. En un principio solo se realizaba mantenimiento cuando una de sus herramientas fallaba y se descomponían, esto ocasionaba que el proceso productivo se retrasara y causara pérdidas, por ello se le conocía como un mantenimiento correctivo, un tipo de mantenimiento que se aplicaba cuando el fallo ya estaba presente. Por ello algunas organizaciones optan por realizar mantenimiento a sus equipos antes de la ocurrencia de las fallas. A esto se le denomina mantenimiento preventivo. Hoy en día el mantenimiento en general y sobre todo el preventivo es fundamental en una organización, realizar el mantenimiento dentro todas las áreas de la empresa es un factor muy importante, las condiciones y métodos de trabajo determinan la calidad de vida del trabajador y la capacidad de planta, así como la productividad en la empresa, por lo tanto, el mantenimiento preventivo se tiene que al construir un factor fundamental en las organizaciones.



Ccahuantico (2019) dijo que la conminución es la operación por la cual es fragmentada las partículas minerales para liberar las especies de interés separando la mena de la ganga, en diversas fracciones de tamaños; utilizando diversas máquinas. Para realizar este proyecto, se basó en la chancadora de 10 x 16, debido a que estos equipos son simples y complejos dentro de la planta y a la vez, son por los cuales se procesa una mayor cantidad de mineral, llegando a 70% aproximado del total procesado. Inicialmente se realizó un estudio de estos equipos, describiendo los principales subsistemas que los componen, dando a conocer cómo interactúan estos mediante un diagrama funcional de bloques, para poder entender mejor el funcionamiento del equipo. Es por esto que un plan de mantención es primordial para evitar efectos negativos en las chancadoras, para esto los informes recopilados en base a los historiales de mantención es de gran utilidad, para la realización de los óptimos modelos matemáticos a desarrollar. Con estas modificaciones se pretende aumentar la rigurosidad de las normas de mantención ya existentes aumentando el nivel de confiabilidad, de esta forma optimizar la relación costo beneficio, por medio de este plan se busca mejorar la gestión de mantención de la planta de chancado, con el objetivo de minimizar el costo global de mantención. Por ello la medición de la confiabilidad es de suma importancia en el mercado actual; la teoría de la confiabilidad desarrolla métodos para determinar lo que está funcionando mal en un sistema, como se puede prevenir lo que no está funcionando bien y si algo está funcionando mal como puede recuperarse el sistema y minimizar las consecuencias. La falla se denomina a cualquier suceso que impida que un sistema funcione en condiciones normales, una falla de un chancador puede traer consecuencias trágicas en vida y en costes para la empresa, por lo cual la mantención por medio de la ingeniería juega un rol fundamental, los conocimientos deben ser amplios, un buen manejo de las herramientas y una buena ingeniería garantizaran una alta confiabilidad.



Vargas (2002) desarrollo el trabajo teniendo en cuenta una secuencia lógica y ordenada de los temas tratados para una fácil lectura. Previamente al desarrollo de nuestro objetivo principal se ha visto por conveniente presentar inicialmente la descripción técnica y operativa de la Planta Concentradora donde se describe el funcionamiento de los equipos que intervienen en el proceso de extracción y recuperación del concentrado de Cobre. Se inicia desde la sección chancado pasando por molienda y culmina en el área de flotación. Seguidamente se presenta las características técnicas de los principales equipos de producción. Se indica la capacidad de producción, capacidad del sistema de accionamiento y fabricante entre otros. Con respecto al Departamento de mantenimiento, se presenta la línea jerárquica del mismo, la política del departamento de Mantenimiento, la conveniencia del trabajo en equipo, así como el manejo e importancia de las ordenes de trabajo. Para el programa de mantenimiento se toma en cuenta el objetivo del departamento, la disponibilidad de los equipos, el plan de trabajo general, así como el programa de mantenimiento de los principales equipos. También la forma de trabajo y las reuniones de coordinación están contemplados. Se incluye una evaluación económica donde se detalla los costos de mantenimiento por área, por equipos, y el cronograma anual de cambio de componentes.

## **2.2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.2.1. *La Empresa Minsur***

La empresa Minsur opera hace más de 40 años en el sector minero y se ha distinguido desde sus inicios por su compromiso con la responsabilidad empresarial y el desarrollo del país. Cumplimos con los más exigentes estándares de calidad y seguridad, empleamos tecnología de última generación y nos regimos por la normativa ambiental vigente. Tenemos operaciones y proyectos en diferentes etapas del ciclo minero que son manejados bajo un riguroso sistema de gestión, basado en la prevención y la detección de



riesgos. De esta manera, garantizamos la seguridad, la salud, el desarrollo de las comunidades y el cuidado del medio ambiente.

Es importante resaltar que durante el 2018 acordamos la venta del 40 % de nuestra subsidiaria Cumbres Andinas, controladora de la empresa Marcobre (titular del proyecto cuprífero Mina Justa), a favor de nuestro nuevo socio Alxar International SpA (Empresas Copec). Además, aseguramos el financiamiento del proyecto por USD 900 millones para el cual nuestro directorio aprobó su participación y suscripción del contrato Completion Agreement que respalda las obligaciones de Marcobre y Cumbres Andinas en este tipo de operación de financiamiento de proyectos.

Como parte del proceso de mejora continua, logramos ser admitidos en el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM por sus siglas en Ingles), entidad que reúne a 27 mineras líderes de todo el mundo y a más de 30 asociaciones regionales. La visión del ICMM es hacer de la industria metal minera una industria respetada y confiable la cual opera responsablemente y contribuye con el desarrollo sostenible. Somos la primera minera peruana, la tercera en Latinoamérica y el primer productor de estaño en el mundo en ingresar a esta institución. El total de nuestras concesiones mineras alcanza la cifra de 248,452 hectáreas: 223,716 corresponden a las operaciones en Perú y 25,125, a las de Brasil.

### 2.2.2. Planta de pre concentración “Ore Sorting”.

#### Figura 1

*Vista de la Planta Pre Concentrado Ore Sorting.*



Desde el 2016, la UM San Rafael trabaja con el proceso innovador de ore sorting. Esta es una tecnología alemana que permite analizar la composición de las rocas mediante rayos X, con el fin de identificar aquellas que contienen estaño y clasificarlas en función a su ley. Es decir, el grado de concentración de metales presente en ellas.

El 2018 fue un año de buenos resultados operacionales, incrementamos la producción y logramos reducir nuestros costos respecto al año anterior. Además, durante el primer trimestre reiniciamos las actividades de la planta de pre concentración Ore Sorting, que se encontraba en trabajos de mantenimiento, y extendimos la vida del proyecto luego de realizar pruebas en otras canchas que contenían mineral de baja ley.



La producción aumentó en 5% respecto al 2017, alcanzando 18.6 mil toneladas de estaño contenido en concentrados. Esto se debió, principalmente, a un mayor volumen alimentado a la concentradora y la mayor recuperación en el proceso (93.39% en el 2018 frente 92.16% en el 2017).

El cash cost por tonelada tratada fue de USD 64, significativamente menor al nivel del 2017 (USD 70). Esto se debió principalmente a menores costos operativos como resultado de menores avances lineales, a una menor dilución operativa y al incremento del tonelaje tratado (+10%), gracias al mayor tiempo de operación de la planta de preconcentración de Ore Sorting.

#### **2.2.2.1. Clasificación de mineral basado en sensores.**

La clasificación de minerales, en inglés “Ore Sorting”, es definida como el proceso de identificar diferencias en ciertas características físicas o químicas mediante un mecanismo basado en sensores que cambia las posiciones y trayectorias de las partículas seleccionadas, rechazando en etapas tempranas el material no deseado. De esta manera la fracción predeterminada del valor de metal objetivo es el único material en el que se va a incurrir en costos adicionales en energía y reactivos de los subsiguientes procesos de beneficio.

La clasificación de los minerales ha sido usada desde antes en operaciones de procesamiento de minerales. Sin embargo, sus inicios se dan a escala artesanal debido a la capacidad humana de percibir diferencias entre los minerales con valor económico y la ganga, actividad que es conocida como pallaqueo.

#### **2.2.2.2. Principios de funcionamiento.**

Para permitir la pre concentración en tamaños de partícula relativamente grandes, es obviamente necesario que los elementos valiosos estén ocurriendo en una forma más concentrada que las partículas que se van a eliminar. Una vez que se ha establecido que



puede haber condiciones geológicas y mineralógicas adecuadas. Indicadores de producción de la empresa minera San Rafael – Minsur.

La aplicación de la tecnología “ore sorting” en la minería consiste en la selección de las rocas que

contienen mineral mediante el análisis y procesamiento automático de sus propiedades y la separación de mineral y estéril mediante eyectores de aire comprimido. (Fundación Tecnológica, 2018, p 24).

El principio de funcionamiento puede dividirse en cinco subprocesos, estos contribuyen al rendimiento de la máquina de clasificación que son basados en sensores. Las cuales son las siguientes.

#### **a) Acondicionamiento del mineral**

El mineral que se alimenta al clasificador basado en sensores debe prepararse con aire comprimido para su separación, la mayoría de los sorters pueden clasificar rocas de hasta  $\frac{3}{4}$  a 6 pulgadas. Si el material alimentado es adecuado perfectamente se puede llegar a tratar 100 toneladas por hora por máquina.

Para realizar esta técnica y aplicación de detección, debe ser tamizado el mineral alimentado con un tamaño máximo y mínimo de partículas de menos de 3:1.

Para esta relación se introduce el termino coeficiente de tamaño – rango, esto es clave para la clasificación de los sensores, la relación es una cifra empírica. Si las partículas son muy pequeñas podrían ser arrastrados hacia la fracción rechazada por turbulencia en la cámara de rechazo y si las partículas son muy grandes pueden cubrir a las pequeñas.

#### **b) Presentación del material**

Para la clasificación, evaluación y eyección, cada partícula debe de presentarse sola de manera individual ya que el objetivo es conseguir una sola capa sin que se toquen entre sí.



El material es alimentado por un alimentador vibratorio sobre una rampa de aceleración.

**c) Detección**

existen varios sistemas de detección disponibles para el sistema de clasificación de minerales basados en sensores.

**d) Procesamiento de datos**

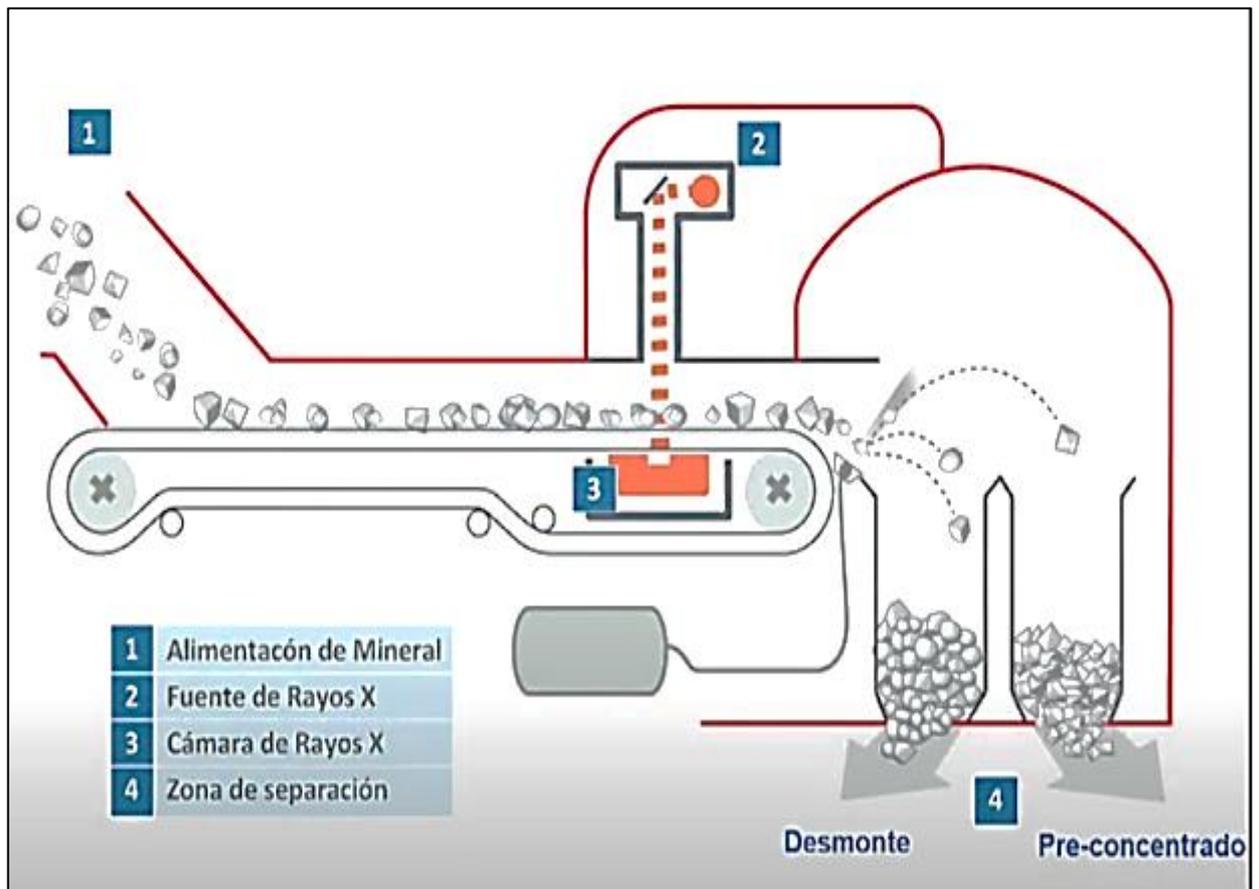
Los datos adquiridos por los sistemas de detección son evaluados mediante algoritmos de clasificación . el algoritmo describe los parámetros para poder decidir si las partículas están aptas para rechazarlas o aceptarlas.

**e) Separación mecánica**

la separación mecánica una seria de válvulas de aire de alta velocidad, la alimentación al final se divide en dos, una la aceptada y la rechazada.

**Figura 2**

*Selección de Mineral con Sensor de Transmisión de Rayos X.*



Fuente: Minsur

Nota: diagrama del equipo Sorter.

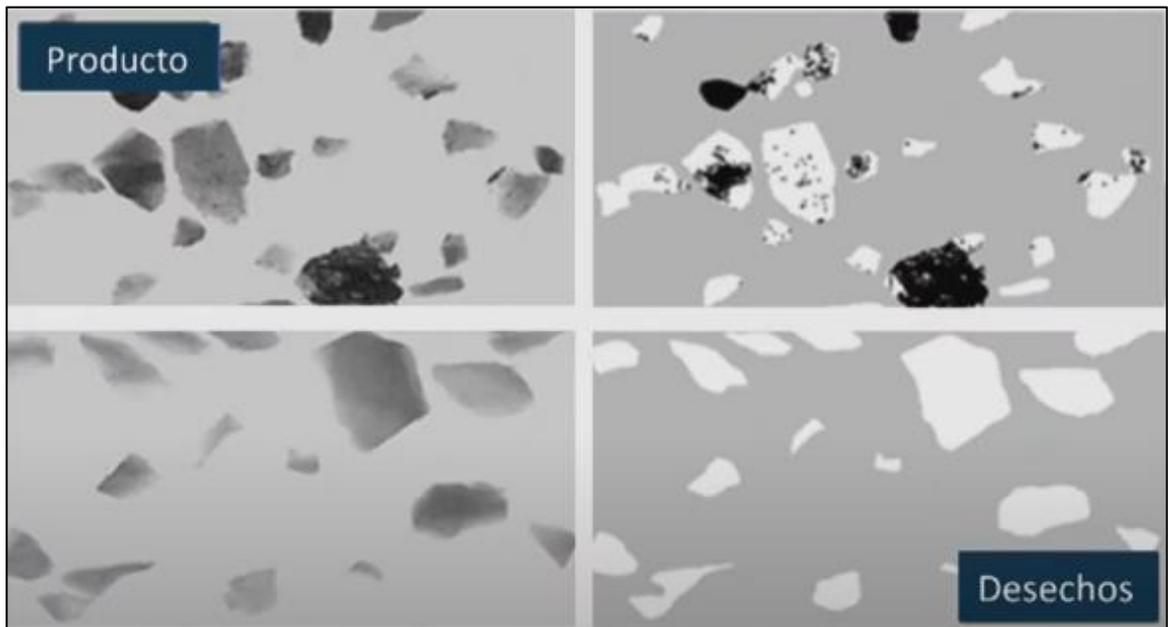
- La atenuación a los rayos X de los minerales depende de su densidad atómica (# atómico) y/o gravedad específica.
- XRT identifica hasta 3" de espesor de mineral con eficiencia.
- Minerales absorben rayos X y son escaneados individualmente.

El equipo de ore Sorting está compuesto por un sensor de rayos X, tiene una cámara que produce imágenes, en milisegundos se procesa las imágenes, se toma un criterio para seleccionar el mineral tiene una unidad neumática que recibe la orden y sopla el material seleccionado las rocas seleccionados porque el trabajo es individual por roca y el mineral llega a la tolva en donde se obtiene el pre-concentrado y desecho, la transmisión de rayos

es X es capaz de separar hasta de 3 pulgadas no trabaja con material menos de 6 milímetros.

### Figura 3

#### *Criterio de Selección*



Fuente: Minsur

*Nota:* imágenes de los rayos X del producto y desechos.

- Desechos grandes de densidad atómica entre casiterita y ganga.
- Tamaño de casiterita propicia para sensibilidad de rayos X.
- Liberación adecuada en los rangos estudiados.
- Imágenes son procesadas y hacen más visibles la alta densidad.
- Criterio de selección: % área de inclusión en la roca.

la transmisión de rayos X usa el mismo principio que se usan en los aeropuertos cuando pasan las maletas que trabaja por gravedad específica.

Todas las piedras con punto 5% de área que este pintado de negro porque esta selección es por pixeles clasifica como mineral y lo demás en relave.

En pruebas piloto de 5 toneladas de mineral, fue alimentado con 1.3% en cabeza y salió con 4.19%, se aumentó en la ley en 3.2 veces con recuperación de 94.5% y 32% de más y 62% fue eliminado como desmonte.

### 2.2.2.3. Proyecto Ore Sorting – Minsur .

#### Figura 4

*Fotografía de los Sorters la Planta Ore Sorting - Minsur*

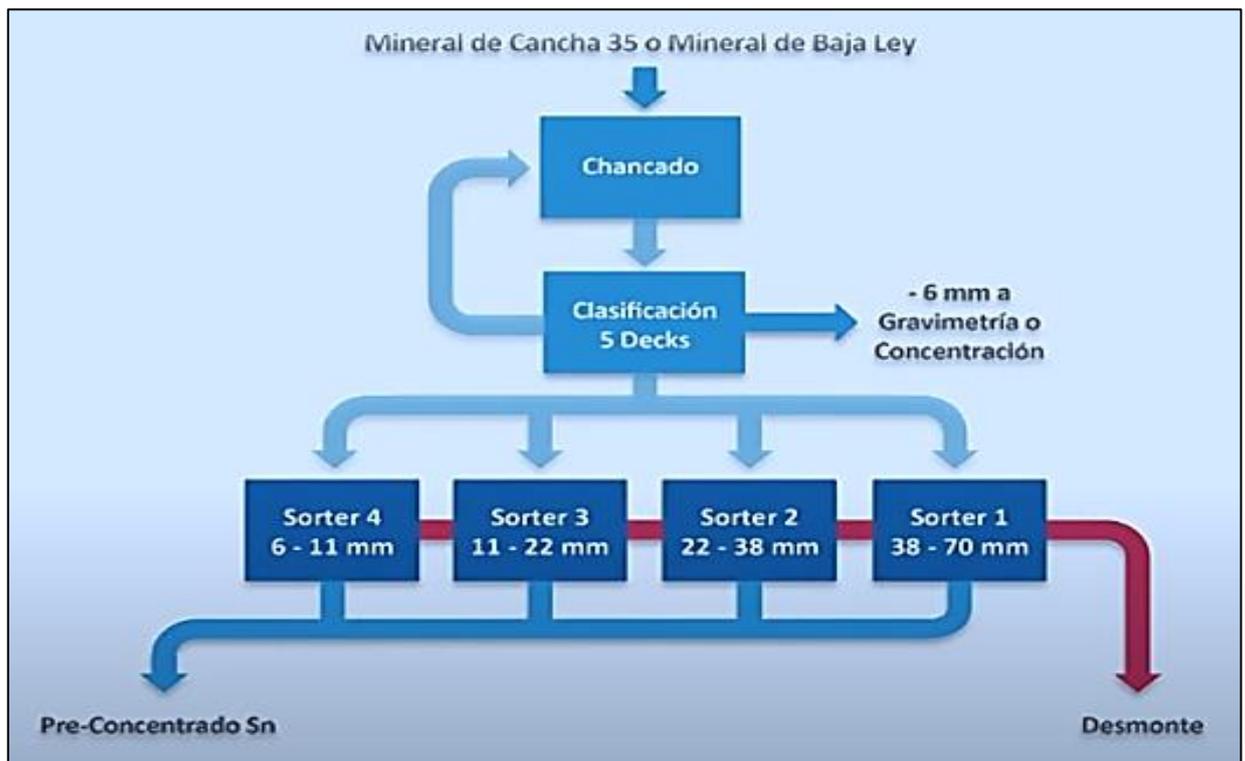


Fuente: Minsur

*Nota:* la figura muestra los sorters instalados en la planta Ore Sorting de la unidad Minsur.

## Figura 5

Diagrama de flujo 2800 TPD.



Fuente: Minsur.

Nota: en la figura se aprecia el diagrama de flujo del proceso de sorters en la unidad minera Minsur.

- Chancado en dos etapas.
- 2 zarandas vibratorias.
- 4 sorters de 1.2 mts.
- Instrumentación: Balanza, Analizador de gravimetría, muestreo automático.
- Aire seco con presión alta.

**Tabla 1***Indicadores de Producción*

<b>Categorías</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>2018</b>	<b>2017</b>	<b>2016</b>
<b>Mina</b>	Mineral extraído	T	1'084,700	1'049,707	1'101,190
	Ley del mineral extraído	% Sn	1.56	1.52	1.69
	Avances	M	18,724	27,478	29,461
<b>Planta</b>	Mineral tratado – Total plantas	T	1'134,288	1'700,443	1'434,808
	Mineral tratado – planta concentradora	T	1'134,926	1'101,853	1'047,506
	Ley mineral tratado	% Sn	1.75	1.75	1.97
	Recuperación total	%	93.39	92.16	90.87
	Finos Sn	T	18,601	17,791	18,789
	Utilización planta	%	98.24	99.62	98.96
	<b>Unidad minera</b>	Costo por tonelada tratada	USD/tt	64.0	70.0

Fuente: Memoria anual 2018 - Minsur

**2.2.3. Plan De Mantenimiento**

El plan de mantenimiento es un elemento importante en un modelo de gestión de activos que define los programas de mantenimiento a los activos:

- Actividades periódicas preventivas
- Predictivas
- Detectivas

con los objetivos de mejorar la efectividad de estas actividades, con tareas necesarias y oportunas, y de definir las frecuencias, las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos para cada actividad.

Las actividades periódicas que se deben desarrollar, agrupan trabajos detectivos, predictivos y preventivos, facilita por su contribución a la gestión de mantenimiento de



los equipos, maquinarias y herramientas, la realización de presupuestos confiables, siempre y cuando no lleve a la empresa a hacer más mantenimiento del que requiere y en el peor de los casos a introducir mortalidad infantil en las instalaciones.

El conocido plan de mantenimiento no es más que una serie de tareas y actividades que de manera planeada y programada se deben realizar a un equipo o sistema productivo con una frecuencia determinada.

El plan de mantenimiento influye de manera notable en la confiabilidad de un activo, ya que si es certero, adecuado y justificado está constituido por las tareas absolutamente necesarias, es decir no más actividades de las requeridas y no menos de las mismas y así el desperdicio, las tareas que se hacen sólo porque un equipo está detenido y los famosos "combos" o grupos de actividades que hacen bajo la premisa de "ya que el equipo paró, aprovechamos y hacemos esto..." no existen. Una regla de oro en mantenimiento es aquella que dice que cualquier actividad correctiva, preventiva, detectiva o predictiva está justificada y es aplicable sólo si el equipo queda más confiable, es decir si mejora su desempeño a nivel de reducción de tiempo de parada, reducción de cantidad de fallas, reducción del riesgo, optimización del costo de operación, mejor comportamiento a nivel ambiental y reducción de las afectaciones al medio ambiente. Sino la tarea es totalmente superflua y desechable y hacerla puede incrementar las fallas o ser un franco desperdicio (Reliability, 2021, párrafo 3)

### **2.2.3.1. ¿Qué es el mantenimiento?**

El mantenimiento es la función empresarial a la que se encomienda el control de los equipos, maquinarias, herramientas de todo tipo, como puede ser las productivas, auxiliares y de cualquier servicio, en todo caso se podría decir que el mantenimiento es un conjunto de acciones tareas necesarias para conservar o restablecer un sistema a un



estado que garantice su funcionamiento a un costo mínimo. Se deducen distintas actividades:

- Prevenir o corregir averías.
- Cuantificar o evaluar el estado de las instalaciones.
- Aspecto económico

En efecto, para poder llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada es imprescindible empezar a actuar en la especificación técnica (normas, tolerancias, planos y demás documentación técnica a aportar por el suministrador) y seguir con su recepción, instalación y puesta en marcha; estas actividades cuando son realizadas con la participación del personal de mantenimiento deben servir para establecer y documentar el estado de referencia. A ese estado nos referimos durante la vida de la máquina cada vez que hagamos evaluaciones de su rendimiento, funcionalidades y demás prestaciones (Senati, 2014 p.1).

Son misiones de mantenimiento:

- La vigilancia permanente y/o periódica.
- Las acciones preventivas.
- Las acciones correctivas.
- El reemplazamiento de maquinaria.

Los objetivos implícitos son:

- Aumentar la disponibilidad de los equipos.
- Reducir los costes al mínimo mejorar la fiabilidad de máquinas e instalaciones.
- Asistencia al departamento de ingeniería en los nuevos proyectos.

### 2.2.3.2. Organización del mantenimiento.

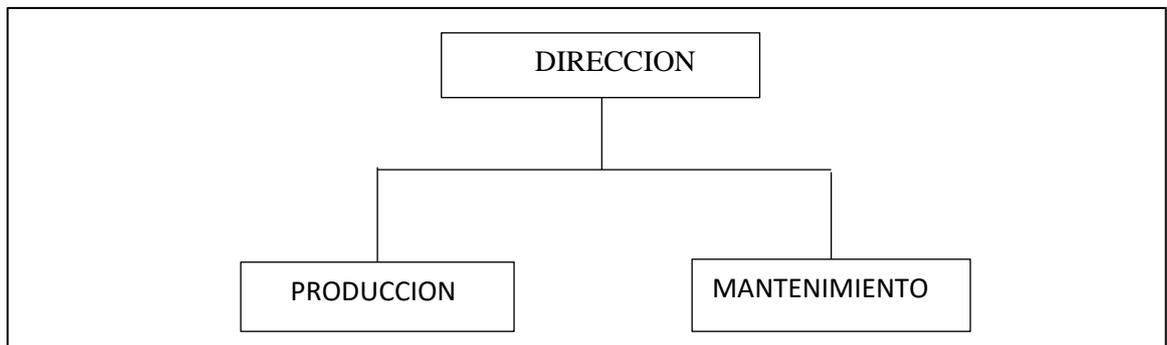
Existen dos aspectos que afectan a la estructuración del mantenimiento:

#### 2.2.3.2.1. Dependencia jerárquica.

Es posible encontrar con departamentos de la dirección y al mismo nivel que fabricación:

**Figura 6**

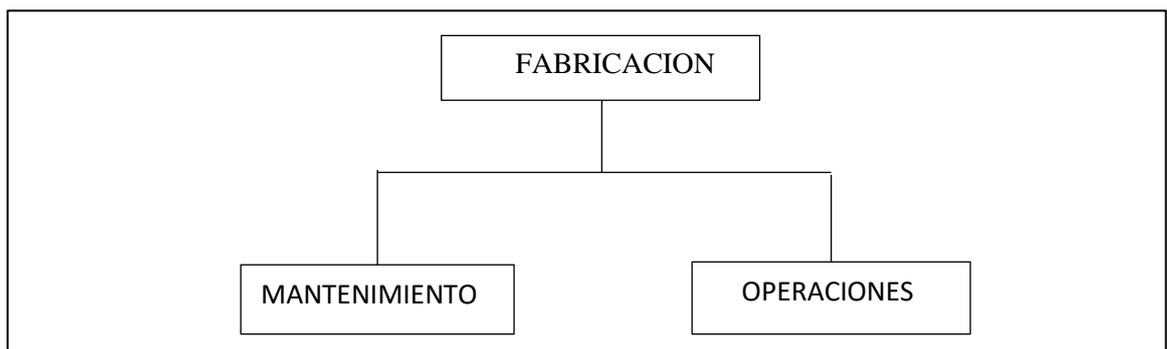
*Dirección Mismo Nivel que Fabricación*



O, algunas que podrían estar integradas en la producción para facilitar la comunicación e integración:

**Figura 7**

*Integradas en la Producción.*



#### 2.2.3.2.2. Centralización/Descentralización.

Puede a ver la posibilidad de existir una estructura piramidal de una sola cabeza para toda la organización o lo contrario, puede existir diversos departamentos de mantenimiento.



#### **2.2.3.2.3. *La centralización jerárquica.***

Proporciona las siguientes ventajas:

- Optimización de medios.
- Mejor dominio de los costos.
- Procedimientos homogéneos.
- Seguimiento de máquinas y averías más homogéneo.
- Mejor gestión del personal.

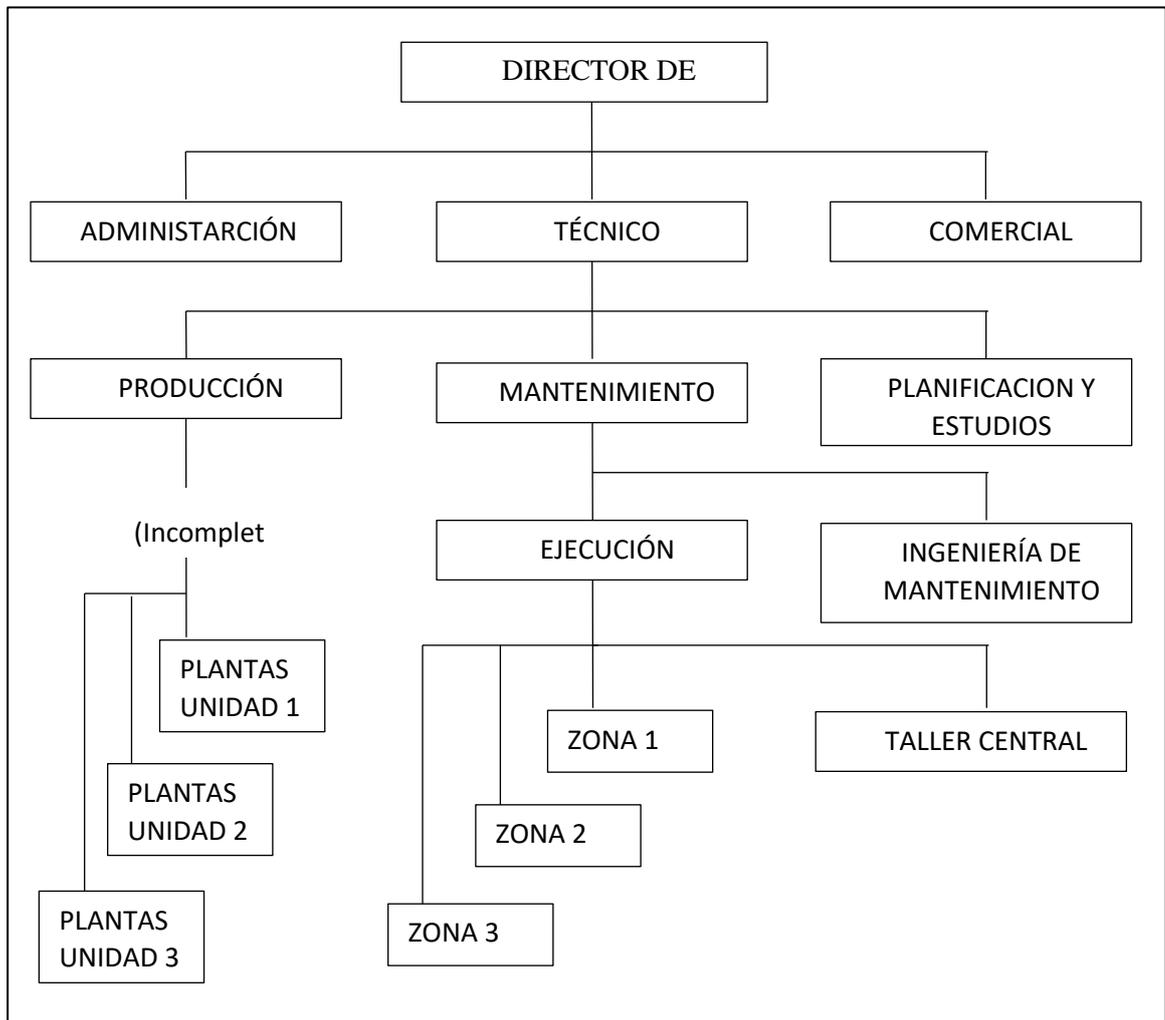
#### **2.2.3.2.4. *La descentralización geográfica.***

Aporta las siguientes ventajas:

- Delegación de responsabilidades a los jefes de área.
- Mejora a relación con producción.
- Mas eficacia y rapidez en la ejecución de trabajos.
- Mejor comunicación e integración de equipos polivalentes.

**Figura 8**

*Organigrama.*



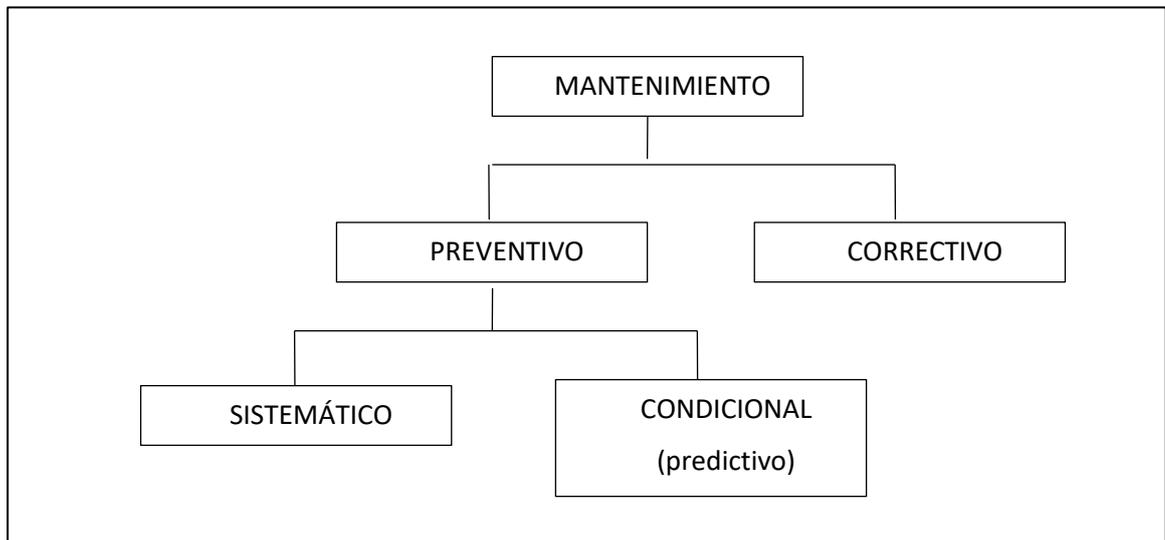
*Nota:* producción y mantenimiento deben estar al mismo nivel; la importancia de los talleres de zonas que aportan equipo multidisciplinario y seguimiento del trabajo; la necesidad de la unidad de ingeniería de mantenimiento, permite atender el día a día sin descuidar la preparación de los trabajos, futuros analizar los resultados para conocer su evolución.

### 2.2.3.3. Tipos y niveles de mantenimiento

Los tipos de mantenimiento queda resumido en la siguiente figura:

## Figura 9

*Tipos de Mantenimiento.*



*Nota:* el mantenimiento correctivo, efectuado después del fallo; el mantenimiento preventivo, efectuado con intención de reducir la probabilidad de fallo; el mantenimiento preventivo sistemático, efectuado en intervalos regulares de tiempo.

### 2.2.4. *Plan De Mantenimiento Preventivo*

El mantenimiento preventivo es una parte importante de la gestión de cualquier tipo de infraestructura, contribuyendo al aumento de la vida útil de los equipos, a la reducción de los períodos de inactividad no deseados y, en última instancia, a la reducción de los costes de mantenimiento a largo plazo (Infraspeak, 2021, párrafo 1).

#### 2.2.4.1. **¿Qué es un mantenimiento preventivo?**

El mantenimiento preventivo se trata de un trabajo de mantenimiento planificado que se puede realizar a una máquina o equipo incluso cuando aún está en su capacidad operativa, y consiste en:

“Intervenciones que previenen las averías y disminuyen la probabilidad de que un activo falle” (Infraspeak, 2021, párrafo 3).

Y puede ser tan sencillo como realizar la limpieza de los filtros, el engrasado de las partes móviles de los equipos, o una inspección visual de los equipos; pero también se incluyen planes más complejos, como, detección de fugas, calibraciones y revisiones cíclicas.

#### **2.2.4.2. Tipos de mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo en general se puede dividir en dos.

##### **2.2.4.2.1. Basado en el tiempo (*time-based*).**

En este tipo las revisiones a realizar son en intervalos de tiempo previamente definidos, por ejemplo, la inspección semanal de las partes móviles de una chancadora de quijadas o las revisiones mensuales de las chaquetas de los molinos.

##### **2.2.4.2.2. basado en la utilización (*usage-based*).**

Este tipo de plan de mantenimiento preventivo se basa en la utilización real de los activos, como la lubricación de una zaranda vibratoria en cada ciclo de trabajo o cantidad de producción; también en el cambio de los filtros durante un tiempo de trabajo.

#### **2.2.4.3. Aplicación del plan de mantenimiento preventivo.**

¿En qué situaciones se puede utilizar una estrategia del plan de mantenimiento preventivo? Teniendo en cuenta los tipos mencionados anteriormente, veamos en qué situaciones se recomienda esta estrategia.

##### **2.2.4.3.1. Cuando *NO* utilizar el mantenimiento preventivo.**

Primero empezaremos a descartar los activos en los que no podemos usar esta técnica. Si el plan de mantenimiento preventivo se basa en la programación, los equipos que sufren fallas o averías de manera aleatorias se excluyen automáticamente, en general:

Si no es posible establecer un patrón para los fallos de un activo, el mantenimiento preventivo no es la mejor opción (Infraspeak, 2021, párrafo 10).



#### **2.2.4.3.2. Cuando se recomienda el mantenimiento preventivo.**

También, tenemos los activos cuya probabilidad de falla aumenta respecto al tiempo que pasa y a su uso, en esta situación hay un patrón eso nos quiere decir que si se puede programar el mantenimiento según las estadísticas sobre el funcionamiento del equipo.

#### **2.2.4.4. Determinación de la frecuencia con la que debe llevarse a cabo cada tarea de mantenimiento.**

El plan de mantenimiento de una instalación es el conjunto de tareas preventivas que hay que realizar en ésta antes de que ocurra un fallo, y precisamente con la intención de evitarlo. Además de determinar las tareas, hay que fijar la frecuencia con la que se realiza cada una de ellas. Existen tres formas de determinar la frecuencia y, además, ésta puede indicarse en forma de periodos fijos de tiempo o en función de las horas de funcionamiento (Renovetec, 2019, párrafo 8).

Hay tres formas de determinar la frecuencia:

- 1) Utilizando métodos estadísticos.
- 2) Utilizando modelos matemáticos.
- 3) basándose en la experiencia de los técnicos.

La primera es compleja y casi siempre no se dispone de datos suficientes como para realizar el estudio estadístico, en la mayoría de los casos se usa el método de Weibull para realizar el momento adecuado de un mantenimiento.

También es posible utilizar modelos matemáticos que puedan predecir la duración de una pieza de una maquina y sustituirla antes de que ocurra un fallo, son complejos y un departamento de mantenimiento a veces no siempre cuentan con estos modelos, ni son capaces de desarrollarlas, pero el fabricante de la pieza podría disponer de tales modelos.



Por último, la frecuencia también se puede fijar en base a la experiencia de los técnicos que elaboran el plan, esta es la forma más habitual de desarrollo porque no presente complejidad como los anteriores.

- Indicar el espacio de tiempo que debe transcurrir entre intervenciones.
- Determinar a partir de las horas de funcionamiento.

Son válidas cualquiera de las dos formas mencionadas.

#### **2.2.4.5. Fases en la elaboración del plan de mantenimiento.**

Las fases para elaborar un buen plan de mantenimiento basado en instrucciones de fabricantes son las siguientes:

- 1) Elaboración del listado de sistemas que componen la planta.
- 2) Determinación del formato homogenizado a emplear.
- 3) Identificación de todos los equipos que componen cada sistema.
- 4) Acopio de manuales de operación y mantenimiento de los equipos.
- 5) Análisis de los manuales y extracción de las tareas de mantenimiento y las frecuencias de realización.
- 6) Aportaciones de los técnicos de mantenimiento de planta.
- 7) Determinación del mantenimiento legal e inclusión en el plan de las tareas que se desprenden de la normativa legal de aplicación.
- 8) Determinación de la especialidad de cada tarea
- 9) Recopilación del plan obtenido

#### **2.2.4.6. Ventajas e inconvenientes.**

Las ventajas de esta forma de realización son indudables, y por ello es la forma mayoritaria. Pero hay que tener en cuenta que a pesar de ser la técnica más extendida no



es la única forma de elaborar un plan de mantenimiento. Y esto es así porque presenta muchos y graves inconvenientes:

- Unos fabricantes son poco rigurosos a la hora de elaborar las instrucciones técnicas de mantenimiento, indicando las tareas de una forma muy general, e indicando incluso un número de tareas a realizar claramente insuficientes para evitar los problemas en los equipos.
- Otros fabricantes, en cambio, piensan que su equipo es el único que existe en la instalación y proponen una cantidad de tareas a realizar que no se justifican con la importancia que tiene el equipo en la instalación.
- Otros fabricantes proponen en la práctica sobre mantener los equipos, partiendo de la base de que ellos no soportan el coste del mantenimiento programado.
- Los fabricantes no suelen proponer tareas de mantenimiento predictivo, como la realización de termografías, análisis de vibraciones, detección de fugas por ultrasonido, etc. a pesar de que estas técnicas han demostrado sobradamente su eficacia.
- Sorprende el hecho de que equipos técnicamente similares puedan tener planes de mantenimiento tan diferentes. Así, una bomba centrífuga o un transformador eléctrico pueden tener tareas de mantenimiento preventivas completamente diferentes dependiendo del fabricante del equipo.
- El fabricante no está interesado en la desaparición total de los problemas. Diseñar un equipo con cero averías puede afectarle negativamente, por tocar una parte suculenta de su facturación.
- El fabricante no es un especialista en mantenimiento, sino en diseño y montaje.



- Hay instalaciones que se han realizado en obra, y que no responden a la tipología de ‘equipo’, sino más bien son un conjunto de elementos, y no hay un fabricante como tal, sino tan solo un instalador. En el caso de que haya manual de mantenimiento de esa instalación, es dudoso que sea completo. Es el caso, por ejemplo, del ciclo agua-vapor: es un conjunto de tuberías, soportes y válvulas. Se pueden encontrar instrucciones de mantenimiento de válvulas, porque hay un libro de instrucciones para ellas, pero también las tuberías y la sujeción necesitan determinadas inspecciones. Además, el ciclo agua-vapor se comporta como un conjunto: son necesarias determinadas pruebas funcionales del conjunto para determinar su estado.

#### **2.2.5. Plan De Mantenimiento Correctivo**

El mantenimiento correctivo es:

La actividad técnica ejecutada cuando sucede una avería y tiene como objetivo, restaurar el activo para dejarlo en condiciones de que pueda funcionar como se pretende ya sea con su reparación o sustitución; Eso no quiere decir que el Mantenimiento Correctivo sea apenas relevante cuando se adopta alguna otra estrategia de mantenimiento ya que puede usarse como estrategia en si misma o conjuntamente con otras estrategias de mantenimiento de activos (Infraspeak, 2021, párrafo 1).

El plan de mantenimiento comprende tres tipos de actividades:

- Actividades de rutina que se realizan a diario, y que normalmente son realizadas por el equipo de operación.
- Actividades programadas que se realizan durante todo el año.
- Actividades que se realizan durante las paradas programadas.



#### **2.2.5.1. Frecuencia de un mantenimiento correctivo.**

- Después de periodicidades fijas.
- Determinación a partir de las horas de funcionamiento.
- Cualquiera de las dos formas es perfectamente válido; incluso es posible que para algunas tareas sea conveniente que se realicen con periodicidades preestablecidas y que otras tareas, incluso las referidas al mismo equipo, se refieran a horas efectivas de funcionamiento. Ambas formas de determinar la periodicidad con la que deben realizarse cada una de las tareas que componen un plan tienen ventajas y desventajas.

#### **2.2.5.2. Esperar las Averías.**

La utilización lógica de trabajar con “funcionar hasta fallar”, aquí ni se realiza ninguna acción preventiva sobre los equipos o maquinarias dejando deliberadamente hasta que ocurra una avería o falla, lo cual se repara o sustituye después.

Esta lógica es ideal para equipos de baja prioridad, aquellas que no implican la parada total de la producción de una planta y que puedan continuar la producción con normalidad o también a aquellos equipos de poco valor cuyo mantenimiento regular podría acabar costando más que una sencilla reparación.

Sin embargo, si esta lógica se aplica a equipos de mayor prioridad que implica la parada del proceso de producción podría llevar a inactividad y por lo tanto pérdidas.

#### **2.2.5.3. El Mantenimiento Correctivo como parte de un plan mayor.**

Por otro lado, aún si hay planes de mantenimiento preventivo o mantenimiento predictivo que estén activos, el mantenimiento correctivo puede (y debe) ser considerado. En este caso, es conocido como Mantenimiento Reactivo (Infraspeak, 2021, párrafo 6).



Las estrategias de mantenimiento más eficaces no tienen un éxito del 100%, las averías seguirán ocurriendo, por eso se recomienda seguir preparando las acciones correctivas. La regla general del (80:20), apenas se debe emplear 20% del tiempo a acciones correctivas, lo que resulta 80% del tiempo al mantenimiento preventivo.

### ***2.2.6. Cronograma De Mantenimiento Preventivo***

#### **1) Determine la productividad de la mano de obra**

Es necesario saber cuántas horas pasan en la realidad los técnicos de mantenimiento realizando tareas de mantenimiento (y no buscando herramientas, en traslados o leyendo órdenes). El promedio es de 25-35% del total de horas, pero puede subir a los 50% con una buena planificación.

#### **2) Analice el backlog de mantenimiento**

Evalúe las tareas retrasadas y termine las tareas pendientes antes de lanzarse a nuevas tareas.

#### **3) Ajuste el cronograma basándose en el plan de mantenimiento.**

Determine cuántos trabajadores, horas, materiales y herramientas necesita para cada tarea prevista en el plan de mantenimiento. También debe definir los mejores días y horas para el mantenimiento programado que lo obliga a desactivar temporalmente los activos.

#### **4) Prepárese para las sorpresas**

Recuerde que siempre hay averías que ocurren de modo aleatorio. Por lo tanto, su cronograma debe ser suficientemente flexible y definir tiempos de respuesta para averías que necesiten mantenimiento correctivo. Cualquier «imprevisto» que surja durante las acciones planeadas debe ser siempre clasificado como mantenimiento correctivo.

#### **5) Programe las tareas**



El paso final es programar las tareas (work orders) por día y hora, con toda la información para que los técnicos de mantenimiento puedan ejecutar el mantenimiento preventivo de forma segura y efectiva.

#### **2.2.6.1. Evaluación y examen del plan de mantenimiento preventivo.**

Independientemente del tipo de activos que esté gestionando y específicos que haya definido para una empresa o planta concentradora de minerales, hay algunas métricas y objetivos que debe tener siempre en cuenta. Recordamos las reglas de oro del mantenimiento preventivo:

- **Tasa de cumplimiento del mantenimiento preventivo**

Corresponde a la tasa de mantenimiento preventivo realizado dentro del período establecido, que debe ser de al menos el 90%. Más información sobre cómo calcular la tasa de cumplimiento de mantenimiento preventivo.

- **Porcentaje crítico de mantenimiento programado**

Debe estar lo más cerca posible de 100%.

- **Relación 80/20 para el mantenimiento programado y no programado**

Al menos el 80% de las horas dedicadas al mantenimiento deben ser para tareas preventivas. Sólo el 20% (¡máximo!) del tiempo debe ser dedicado a tareas de mantenimiento correctivo, idealmente el 85% del mantenimiento debe ser programado.

- **Regla del 10% de margen**

Intente completar todas las tareas antes de lo previsto, con un margen del 10%. Es decir, si tiene una tarea que completar en 100 días, intente hacerla sólo en 90 (10 días antes de lo previsto).

Si sus resultados no están a la altura de las expectativas, aprenda más sobre cómo medir la eficacia de su plan de mantenimiento y lo que significa cada uno de estos indicadores.

### 2.2.7. *La Disponibilidad De Un Equipo*

La misión principal de poder calcular la disponibilidad de los equipos industriales en nuestro caso equipos de una planta de pre concentrado de minerales, es esencial para elegir y seguir las estrategias de mantenimiento adecuadas para cada equipo:

La disponibilidad de una máquina es una métrica que evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un período determinado, en función de los criterios de confiabilidad, mantenibilidad y soporte para el mantenimiento de los equipos (Alberti, 2020, párrafo 1).

Por lo tanto, es posible definir listas de prioridad, atención e historial de las máquinas, también rastreando su disponibilidad y confiabilidad y siempre buscando aumentar el índice de disponibilidad. Esta acción también aumenta la productividad y, si está bien implementada, reduce los costos de mantenimiento.

#### 2.2.7.1. **Disponibilidad inherente.**

Es la disponibilidad de un estado estable, considerando solo el tiempo de inactividad del equipo, debido a paradas para un mantenimiento correctivo. En otras palabras, la interrupción debido al mantenimiento preventivo, detalles logísticos y demoras en el suministro, se excluyen, ya que se consideran ideales, y solo evalúan el tiempo debido a la inactividad, utilizado para acciones de mantenimiento correctivo.

El cálculo de disponibilidad se realiza de acuerdo con los siguientes criterios:

$$\%disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

#### 2.2.7.2. **¿Qué es MTBF y MTTR?**

- MTBF significa (Mean Time Between Failures), que significa tiempo medio entre fallas,
- MTTR significa (Mean Time To Repair), es decir, el tiempo medio para reparar.



Estos datos sirven para medir la confiabilidad de los equipos. Ambos índices se utilizan como punto de referencia para la toma de decisiones en las empresas; El objetivo siempre es aumentar el MTBF y disminuir el MTTR.

### **2.2.7.3. Cómo medir MTBF.**

Esta métrica se refiere al tiempo promedio transcurrido entre una falla y la siguiente. Estas fallas deben estar relacionadas con factores de mantenimiento directo. Los factores externos que afectan la producción, no se consideran defectos en este cálculo. Usaremos el tiempo de operación normal total durante un período predeterminado, en la cantidad de fallas que ocurrieron durante ese período.

$MTBF = (\text{Tiempo total que la máquina está disponible para funcionar}) / (\text{Total de paradas})$

Al estudiar las fallas y conocer el tiempo entre ellas, se puede diseñar estrategias para mitigar, o incluso resolver un problema del equipo; Cuanto mayor sea el MTBF, menor será el número de paradas para este equipo.

### **2.2.7.4. Cómo medir MTTR.**

El MTTR se calcula utilizando el tiempo promedio que lleva realizar una reparación después de que se haya producido la falla.

$MTTR = (\text{Tiempo total de reparación}) / (\text{número de fallas})$

Este resultado indica el tiempo promedio que la máquina estuvo parada, cuanto más bajo es el MTTR, más eficiente es el equipo de mantenimiento, beneficios de usar MTTR y MTBF.

### **2.2.7.5. Beneficios de usar MTTR y MTBF.**

- Identificación de fallas: con el informe en la mano, puede observar ocurrencias por tipo de falla y el impacto en el tiempo de inactividad de estas ocurrencias. De

esta manera, puede ajustar el tipo de problema e identificar si se trata de un componente específico que puede tener un problema.

- Reducción del tiempo de inactividad: ahora sabe cuál componente causa la mayoría de los problemas y, de esta manera, puede arreglarlo.
- Diseñar un proceso de mantenimiento predictivo. No cometa el error de realizar siempre el mantenimiento correctivo sin intentar comprender la raíz del problema.

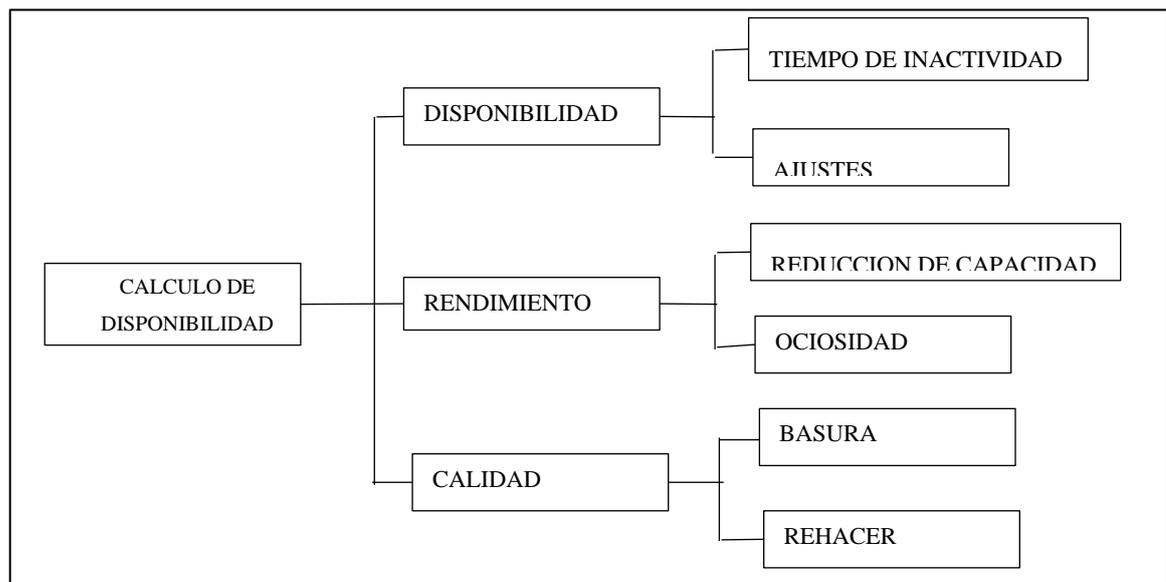
Otro indicador que utiliza el concepto de disponibilidad es el OEE.

#### 2.2.7.6. OEE.

OEE significa “Efectividad General del Equipo” (Overall Equipment Effectiveness) y es el principal indicador de la efectividad global de una máquina, siendo ampliamente utilizado en las industrias manufactureras. Con este, es posible verificar el uso de los recursos disponibles por la empresa (máquinas, mano de obra y materiales), desmembrando la eficiencia en sus 3 indicadores.

**Figura 10**

*Indicadores de la Disponibilidad.*





*Donde:* Disponibilidad es el porcentaje del tiempo que el equipo estuvo funcionando, comparado con el tiempo total disponible para su uso. Cálculo: Disponibilidad % = (Tiempo de producción / Tiempo programado para producir) \* 100.

### **2.2.8. Diagrama De Pareto**

Un diagrama de Pareto es una técnica que permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, con el objetivo de reconocer los problemas más importantes en los que deberías enfocarte y solucionarlos. ¿Alguna vez escuchaste frases como: “menos es más” o “Lo complicas demasiado? Lo más seguro es que sí. Sin embargo, ¿sabes qué significa esto? Si recuerdas bien, Troya no fue conquistada mandando más soldados a una guerra sin fin, sino con un cambio de estrategia: el caballo (QuestionPro, 2021, párrafo 1).

Se puede decir que la función del diagrama de Pareto es que las fallas de los equipos de una planta de tratamiento de minerales puedan reconocer cuáles son los equipos más importantes a las que debería dirigir sus esfuerzos y no malgasten recursos en asuntos poco relevantes, de ahí la importancia de siempre hacer un análisis de datos.

#### **2.2.8.1. Características de un Diagrama de Pareto.**

- Analiza las características de un grupo y reconoce los puntos más importantes dentro de él para darles prioridad.
- Observa los elementos y enfoca los esfuerzos hacia un solo objetivo.
- Permite tomar decisiones objetivas que se basen en los datos y no en opiniones personales.
- Analiza los elementos y la frecuencia con la que sucede cada uno de los datos.

#### **2.2.8.2. Para qué se utiliza un Diagrama de Pareto.**

- Analizar los diferentes productos y servicios que ofreces y mejorar su calidad.
- Observar la producción de productos en tiempo y volumen.



- Identificar qué productos generan mayores ventas y cuáles tienen más tiempo almacenados.
- Reconocer las oportunidades de mejorar tu negocio.
- Identificar cuáles son las razones por las que ocurren algunos problemas y priorizar las soluciones.

### **2.2.8.3. Ventajas del Diagrama de Pareto.**

- Te ayuda a enfocar los esfuerzos en las mejoras que traerán mayores beneficios.
- Ofrece un panorama sencillo y eficaz sobre la prioridad de los problemas.
- Evita que los problemas se hagan más grandes.
- Es una herramienta fácil de entender y fomenta las ganas de solucionar los problemas dentro de la organización.



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. *En Recepción De Mineral*

- Tolva de alimentación.
- Alimentador vibratorio.
- Electroimán.

##### 3.1.2. *En Chancado*

- Chancadora de mandíbulas.
- Chancadora HP200 NORDBERG.

##### 3.1.3. *En Clasificación*

- Zaranda escalper.
- Zaranda doble piso.
- Zaranda triple piso.
- Zarandas de seguridad.

##### 3.1.4. *En Pallaquero*

- Sorter.

##### 3.1.5. *Otros*

- Insumos de reparación.



- Herramientas de mantenimiento y reparación de equipos.

### **3.2. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. *Diseño De La Investigación***

La metodología a usarse según el propósito de la investigación es de tipo experimental de diseño preexperimental pues es el que mejor se adopta a las necesidades del estudio.

El diseño experimental busca “medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas, 2013, p.272).

Por su parte:

“el diseño experimental consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es nivel del grupo en estas” (Hernandez, Fernández, y Baptista, 2010, p.136).

Cabe aclarar que este diseño no cumple con los requisitos de un experimento “puro” no hay manipulación de la variable independiente o grupos de contraste. Tampoco hay una referencia precisa de cuál era el nivel que tenía el grupo en la variable antes del estímulo. No es posible establecer causalidad con certeza ni se controlan las fuentes de invalidación interna.

El diseño de la investigación es constituido por los siguientes pasos:

1. Análisis e investigación bibliográfico.
2. Diagnóstico de los equipos de la planta (pre test).
3. Codificación de los equipos de la planta.
4. Identificación de los equipos con más probabilidades de fallas según antecedentes.
5. Elaboración del plan de mantenimiento preventivo.



6. Diagnóstico de los equipos de la planta (post test).
7. Conclusiones
8. Documentación.

### **3.2.2. Nivel de la investigación**

El nivel de investigación es aplicado, el propósito es aplicar el plan de mantenimiento preventivo a los equipos más críticos que se encuentran en la planta de procesos, mediante conocimientos teóricos y métodos; según elpensante.com (2016), “manifiesta que la investigación científica aplicada puede también orientarse a la producción de conocimientos y métodos que vengán a mejorar o hacer mucho más eficiente el sector productivo de bienes o servicios”.

### **3.2.3. Tipo de la investigación**

El presente estudio de investigación es de tipo experimental, ya que se realizó un pre test de la disponibilidad luego se aplicó el plan de mantenimiento preventivo, finalmente se volvió a medir la disponibilidad por medio de un post test.

**a. Bibliográfica:** Por medio de este método se realizó consultas en libros, revistas, sitios web, artículos científicos donde se busca información necesaria para la obtención de parámetros adecuados y buenos resultados en el estudio.

**b. Experimental:** Mediante esta metodología se consiguió experimentar, analizar paso a paso todo lo realizado en el estudio como: los avances, problemas que han surgido y sus posibles soluciones, así como también reflejara el nuevo conocimiento adquirido para observar todos los procedimientos de un plan de mantenimiento durante la implementación.

**c. Aplicada:** Los resultados obtenidos de esta investigación se utilizaron para la solución de la problemática de la investigación, es decir el proyecto se realizó evaluando



la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, sirva como un procedimiento para mantener los equipos en condiciones de seguridad y productividad.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Población**

Para el presente trabajo de investigación, la población es constituida por la cantidad de 24 equipos existentes en la planta ore-sorter de la empresa Minsur – San Rafael.

#### **3.3.2. Muestra**

Se define la muestra como parte que se estudió y es representativa de la población, tiene características y propiedades de la población, por tanto, la muestra representa el diagnóstico de los equipos antes de haber tenido el plan de mantenimiento preventivo y con la implementación del plan se mejora la disponibilidad de los equipos para una producción constante de la planta.

La muestra es obtenida con la aplicación del diagrama de Pareto 80-20, donde la muestra es obtenida con los que superan el 80% de fallas en el tiempo de estudio, y la muestra está constituida por un total de 8 equipos.

Se tendrá en cuenta los siguientes equipos de muestra:

- La chancadora cónica HP-200.
- Zaranda de 2 niveles y 3 niveles.
- Chancadora de mandíbulas.
- Los sorters.
- Alimentador vibratorio.



- Faja reversible y faja “z”

### 3.4. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1. *Ubicación*

El presente proyecto se desarrollará en la planta pre-concentrado de la Unidad Minera San Rafael Minsur que está ubicada en el departamento de Puno, en el nevado Quenamari de la Cordillera de Carabaya y un segmento de la cordillera Oriental a una altitud de 4500 a 5000 m.s.n.m.

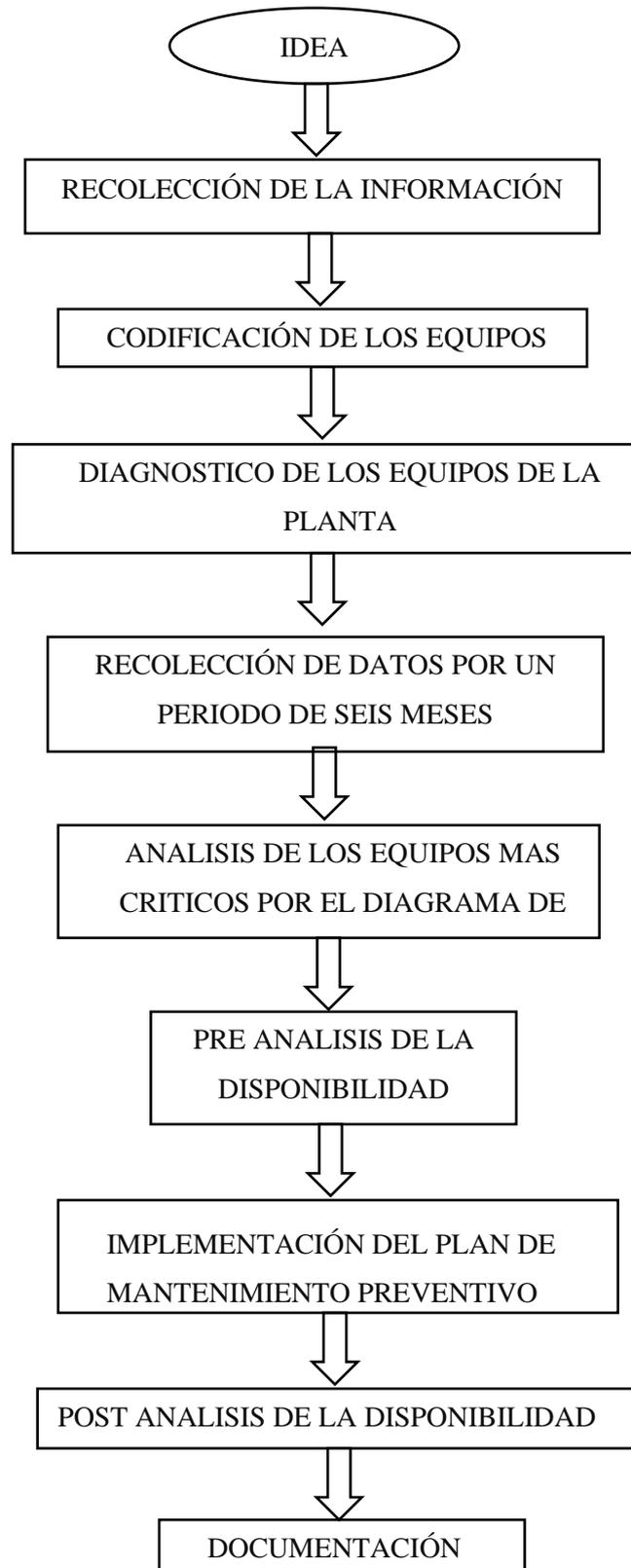
#### 3.4.2. *Descripción De La Investigación*

En la presente investigación se pretende evaluar la criticidad de los equipos para luego implementar un plan de mantenimiento preventivo y mejorar la disponibilidad de los equipos,

- **1ª etapa:** esta etapa es la más importante para obtener la información necesaria para entender los tipos de mantenimiento y dar solución a cualquier problema que pueda surgir, formara la base del estudiador. Para la obtención de información se forma un grupo de especialistas de personas conocedores del proceso productivo, así como la mantención de los equipos de la planta pre-concentrado.
  - jefe de mantenimiento.
  - Ingeniero Supervisor de mantenimiento.
  - Técnico Supervisor de mantenimiento.
  - Técnico mecánico.
  - Técnico soldador
  - Técnico instrumentista.
  - Planificador de mantenimiento.



- jefe de planta y operaciones.
  
- **2ª Etapa:** En esta etapa que consiste en la codificación de los equipos de la planta de concentración, cada equipo será organizado en áreas, área de chancado, área de selección, área de sorter.
  
- **3ª Etapa:** En esta etapa se procede al diagnóstico de los equipos de la planta según código y área y se realiza la recolección de los datos del estado inicial en que se encuentren cada equipo de la planta.
  
- **4ª Etapa:** En esta etapa se procederá a revisión y recolección de datos de los antecedentes o registros pasados con un periodo de seis meses atrás de las frecuencias de fallas y averías que ocurrieron en los equipos.
  
- **5ª Etapa:** En esta etapa se realizará el análisis de la criticidad de los equipos y se seleccionaran los equipos más críticos a sufrir una falla en los últimos seis meses atrás según antecedentes.
  
- **6ª Etapa:** En esta etapa se realiza el pre análisis del porcentaje de la disponibilidad de los equipos o pre test, antes de realizar la implementación con la intervención del plan.
  
- **7ª Etapa:** en esta etapa se procederá a realizar la implementación del plan preventivo a los equipos seleccionados en la 5ta etapa.
  
- **8ª Etapa:** En esta etapa se procede a realizar el post análisis de la disponibilidad después de la implementación del plan también conocido como post test.
  
- **9ª Etapa:** En esta etapa final se documentará toda lo teórico, practico, fotografías y los resultados del plan preventivo implementado.





### **3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

Es como y que medios se usaron para la obtención de la información que es de muy utilidad para poder corroborar nuestras hipótesis.

#### **3.5.1. Técnicas**

- Revisión bibliográfica:

Esta técnica nos permite la recolección y sistematización de la información bibliográfica de: libros, artículos científicos, foros, tesis, videos, y más fuentes de información en la red.

- Observación:

Esta técnica es de suma importancia para recabar información primaria, debido a la interacción con la realidad a través de la observación como capturas a pantalla, fotografías y la observación directa del diagnóstico de los equipos de la planta concentradora, la ejecución del plan de mantenimiento preventivo en sí y apunte de resultados.

## CAPITULO IV

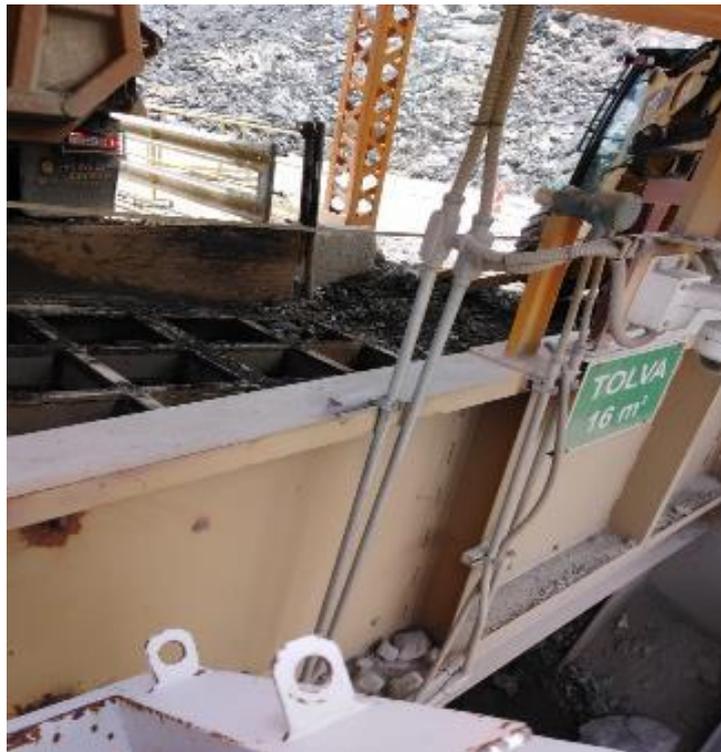
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS HISTÓRICO DE FALLAS (PRE TEST)

Los datos obtenidos para este capítulo se obtuvieron de un registro de incidencias realizado por el área de mantenimiento por un periodo de seis meses, a partir de una fecha inicial de 01 de marzo hasta el 31 de agosto de año 2020, la cual se agruparon los equipos por secciones, chancado primario, chancado secundario, clasificación y sorters.

#### Figura 11

*Tolva de Gruesos*



*Nota:* fotografía de la tolva de gruesos.

**Tabla 2**

*Incidencias de la Tolva de Gruesos de seis meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Tolva de gruesos, parilla 68 x 68 (16m3)</b>	Perforación por oxido y desgaste.	3	5
	Obstrucción en salida.	1	2
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>7</b>

*Nota:* La tolva de gruesos tubo un total de 4 fallas durante el periodo de observación las cuales fueron 3 perforación por oxido y desgaste en la pared de la tolva y 1 obstrucción en la salida de la tolva por motivos de material pasante de gran volumen o material muy húmedo como consecuencia de estas fallas la perdida fue de 7 horas.

**Figura 12**

*Alimentador Vibratorio TRIO*



*Nota:* fotografía del alimentador vibratorio.

**Tabla 3**

*Incidencias del Alimentador Vibratorio TRIO de seis meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)</b>	Desgaste de bastidor	16	47
	Parada de motor	10	25.5
	Desalineamiento de parrilla	7	17
	Desgaste de correa	6	9.5
	<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>96</b>

*Nota:* El alimentador vibratorio TRIO tubo un total de 37 fallas durante el periodo de observación las cuales fueron el desgaste del alimentador, las paradas del motor, desalineamiento de parrilla y desgaste de correa.

**Figura 13**

*Zaranda Vibratoria de un Solo Piso.*



*Nota:* fotografía de la zaranda vibratoria.

**Tabla 4**

*Incidencias de la Zaranda Vibratoria de un Solo Piso de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Zaranda Scalper</b>	Desalineamiento de resortes	7	17
<b>TRIO (Pan</b>	Desajuste de parrilla	8	21
<b>Feeder EFS4807,</b>	Desgaste de correa	5	9
<b>48" x 7')</b>	Desgaste de bastidores	9	18
<b>Total</b>		<b>29</b>	<b>65</b>

*Nota:* La primera zaranda en el circuito de un solo piso tubo un total de 29 incidencias en el tiempo de observación la cual fue de seis meses.

**Figura 14**

*Chancadora de Mandíbulas TRIO.*



*Nota:* fotografía de la chancadora de mandíbulas.

**Tabla 5***Incidencias de la Chancadora de mandíbulas TRIO de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Chancadora TRIO (CT Series 30" x42" A, Jaw Crusher)</b>	Cuña de sale del asiento	10	21
	Mandíbula desalineada	7	23
	Material obstruido en descarga	9	16
	Polea desalineada	8	21
	Resorte desalineado	5	13
	Desgaste de correa	6	13.5
	<b>Total</b>		<b>45</b>

*Nota:* La chancadora de mandíbulas tuvo en el periodo estudiado un total de 45 fallas que representa 107.5 horas de parada, en donde las principales fallas en orden consecutivo fueron fallas por material obstruido en descarga, falla por mandíbula desalineada, fallas por resorte desalineado, falla por cuña que se sale de asiento, fallas por polea desalineada y falla por desgaste de correa.

**Tabla 6***Incidencias de la Faja Transportadora N° 01 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 42" x 14.6m. (1051-CB-01)</b>	Obstrucción de faja.	3	3
	Rotura de cinta.	2	5.5
	Desalineamiento	2	2.5
<b>Total</b>		<b>7</b>	<b>11</b>

*Nota:* La faja transportadora número 01 tuvo un total de 7 incidencias en el tiempo de estudio las cuales fueron por obstrucción, rotura de la cinta y desalineamiento de la faja, lo que representa 11 horas.

## Figura 15

*Incidencia de Corte en Faja "z".*



## Tabla 7

*Incidencias de la Faja Numero 02 o "Faja Z" de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051-CB-02)</b>	Obstrucción de faja.	7	12
	Rotura de cinta.	4	17
	Desalineamiento	7	14
	Desgaste de polines de guía	5	14
	Vela	4	13
	Falta de lubricación en los rodamientos	6	15
	Destensa miento de la cinta	8	16
	<b>Total</b>		<b>41</b>

*Nota:* La faja numero dos o faja en z, tuvo un total de 41 incidencias o fallas los cuales representan un total de 101 horas de perdida, las fallas de mayor impacto fueron; desalineamiento de la faja, desgaste de polines, obstrucción, rotura de faja y otros.

**Figura 16**

*Chancadora Nordberg HP-200.*



*Nota:* fotografía de la chancadora cónica, norberg hp-200

**Tabla 8**

*Incidencias de la Chancadora Cónica de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Chancadora Nordberg HP – 200</b>	Desgaste de forro	11	31
	Deformación de filtro	5	26
	Falta de excentricidad	8	22
	Eje de transmisión no gira	7	13
	Impacto y vibraciones	15	26.5
<b>Total</b>		<b>46</b>	<b>118.5</b>

*Nota:* La Chancadora Nordberg HP-200 o chancador cónico, tuvo un total de 46 fallas o incidencias lo que representa la cantidad de 118.5 horas de parada.



**Tabla 9**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 10 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 7m. (1051-CB-10)</b>	Obstrucción de faja.	3	4
	Rotura de cinta.	2	5
	Desalineamiento	3	2.5
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>11.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20-2x7m. número 10, tuvo un total de 8 incidencias y esto genera un total de 11.5 horas de parada.

**Tabla 10**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 11 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 13m. (1051-CB-11)</b>	Obstrucción de faja.	6	8.5
	Rotura de cinta.	1	4
	Desalineamiento	4	7
<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>19.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x23m número 11, tuvo un total de 11 incidencias en el tiempo de estudio y esto genera 19.5 horas de parada.

## Figura 17

*Zaranda Vibratoria Doble Piso.*



*Nota:* fotografía de la zaranda vibratoria doble piso.

## Tabla 11

*Incidencias de la Zaranda de Doble Piso de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Zaranda Metso Doble Deck 6'x16'</b>	Desalineamiento de resortes	12	27
	Desajuste de parrilla	11	24
	Desgaste de correa	6	12.5
	Desgaste de bastidores	10	35
<b>Total</b>		<b>39</b>	<b>98.5</b>

*Nota:* La Zaranda Metso Doble Deck 6'x16', tuvo un total de 39 incidencias y esto suma la cantidad de 98.5 horas de parada o pérdida de producción.

## Figura 18

*Zaranda Vibratorio de Triple Piso.*



*Nota:* fotografía de la zaranda vibratoria de triple piso.

## Tabla 12

*Incidencias de la Zaranda de Triple Piso de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Zaranda Metso Triple Deck 6'x16'</b>	Desalineamiento de resortes	9	23
	Desajuste de parrilla	12	32
	Desgaste de correa	6	15
	Desgaste de bastidores	16	34
<b>Total</b>		<b>43</b>	<b>104</b>

*Nota:* La Zaranda Metso Triple Deck 6'x16', tuvo un total de 43 incidencias en el tiempo de estudio, lo que genera un total de 104 horas de pérdida en la producción de la empresa.

### Figura 19

*Faja Transportadora 1051-CB-004.*



*Nota:* fotografía de la faja transportadora N° 1051-CB-004.

### Tabla 13

*Incidencias la Faja Transportadora N° 04 de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1051-CB-04)</b>	Obstrucción de faja.	3	4
	Rotura de cinta.	1	3
	Desalineamiento	2	4
	Falta de Lubricante en rodamientos	3	4
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>15</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x26.4m. número 04, tuvo un total de 9 incidencias lo cual genera un total de 15 horas de pérdida en la producción de la empresa.

**Tabla 14**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 05 de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora 20" x 26.7m. (1051-CB-05)</b>	Obstrucción de faja.	2	2
	Rotura de cinta.	1	3
	Desalineamiento	2	4
	Falta de Lubricante en rodamientos	3	4
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>13</b>

*Nota:* La Faja Transportadora 20"x26.7m número 05, tuvo un total de 8 incidencias y esto genero un total de 13 horas de perdida en la producción de la empresa.

**Figura 20**

*Faja Transportadora 1051-CB-006.*



*Nota:* fotografía de la faja transportadora N° 1051-CB-006



**Tabla 15**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 06 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 45.9m. (1051-CB-06)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	1	2
	Desalineamiento	1	2
	Falta de Lubricante en rodamientos	3	3
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x45.9m. número 06, tuvo un total de 6 incidencias y esto genero 8 horas de parada y perdida de producción en la empresa.

**Tabla 16**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 07 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-07)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	1	2
	Desalineamiento	1	2
	Falta de Lubricante en rodamientos	2	4
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>9</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x45.7m. numero 07 tuvo un total de 6 incidencias y esto genero un total de 9 horas de parada en la producción.



**Tabla 17**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 08 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 5.6m. (1051-CB-08)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	2	4
	Desalineamiento	1	1
	Falta de Lubricante en rodamientos	2	1.5
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>7.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x5.6m. número 08. Tuvo un total de 6 incidencias y esto genero 7.5 horas de parada en la producción de la empresa.

**Tabla 18**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 09 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 52m. (1051-CB-09)</b>	Obstrucción de faja.	2	2
	Rotura de cinta.	3	6
	Desalineamiento	1	2
	Falta de Lubricante en rodamientos	4	5.5
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>15.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x52m. número 09, tuvo un total de 10 incidencias y esto genera 15.5 horas de parada y perdida en la empresa.

## Figura 21

### SORTERS



*Nota:* fotografía del sorters numero 04.

## Tabla 19

*Incidencias de los Sorters de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>04 Sorters COM 1200 TOMRA</b>	Error en programación del software	10	45
	Des calibración del software	11	40
	Obstrucción en el ingreso	9	4.5
	Obstrucción en salida	6	5
<b>Total</b>		<b>36</b>	<b>94.5</b>

*Nota:* Los Sorters Com 1200 Tomra, tuvo un total de 36 incidencias y esto genero 94.5 horas de para de planta en la empresa.

## Figura 22

*Faja Transportadora 1052-CB02.*



*Nota:* fotografía de la faja transportadora 1052-CB02.

## Tabla 20

*Incidencias la Faja Transportadora N° 02 de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora 20" x 20.7m. (1052-CB-02)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	1	2.5
	Desalineamiento	2	3
	Falta de Lubricante en rodamientos	2	2
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x20.7m. número 02, tuvo un total de 6 incidencias lo cual genero un total de 8.5 horas de perdida.



**Tabla 21**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 04 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 49m. (1052-CB-04)</b>	Obstrucción de faja.	3	3
	Rotura de cinta.	3	6
	Desalineamiento	2	3
	Falta de Lubricante en rodamientos	3	4
	<b>Total</b>		<b>11</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x49m. número 04, tuvo un total de 11 incidencias y esto genero un total de 16 horas de parada.

**Tabla 22**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 01 de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-01)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	2	5
	Desalineamiento	3	3.5
	Falta de Lubricante en rodamientos	2	4
	<b>Total</b>		<b>8</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x26.4m. tuvo un total de 8 fallas lo que genera un total de 13.5 horas de parada.

### Figura 23

*Faja Transportadora 1052-CB-003.*



*Nota:* fotografía de la faja transportadora 1052-CB-003.

### Tabla 23

*Incidencias la Faja Transportadora N° 03 de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-03)</b>	Obstrucción de faja.	1	1
	Rotura de cinta.	1	2
	Desalineamiento	2	3
	Falta de Lubricante en rodamientos	2	1.5
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>7.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x26.4m. número 03, tuvo un total de 5 incidencias durante el tiempo de estudio lo cual genero un total de 7.5 horas de parada.

**Tabla 24**

*Incidencias la Faja Transportadora N° 05 de Seis Meses.*

Equipo	Descripción de falla	N° de fallas	Tiempo de paro en horas
<b>Faja Transportadora 20" x 45.5m. (1052-CB-05)</b>	Obstrucción de faja.	3	5
	Rotura de cinta.	2	8.5
	Desalineamiento	4	10
	Falta de Lubricante en rodamientos	3	6
<b>Total</b>		<b>12</b>	<b>29.5</b>

*Nota:* la faja transportadora 20"x45.5m. número 05, tuvo un total de 12 incidencias durante el tiempo de estudio lo cual genero un total de 29.5 horas de perdida en la producción de la planta.

**Figura 24**

*Faja Transportadora Reversible 1051-CB-003.*



*Nota:* fotografía de la faja transportadora reversible.

**Tabla 25***Incidencias la Faja Transportadora Reversible de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción de falla</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
<b>Faja transportadora Reversible 1051-CB-03</b>	Obstrucción de faja.	4	8
	Rotura de cinta.	4	22
	Desalineamiento	10	20
	Desgaste de polines de guía	5	12
	Vela	7	15
	Falta de lubricación en los rodamientos	12	23
	Destensamiento de la cinta	6	23
<b>Total</b>		<b>48</b>	<b>123</b>

*Nota:* la faja transportadora reversible 1051-cb número 03, tuvo un total de 48 incidencias en el tiempo de estudio lo que genero un total de 123 horas de perdida.

Finalmente, se consolida el número de fallas de todos los equipos a continuación en un cuadro.

**Tabla 26***Resumen General de Todas las Fallas o pre test de Seis Meses.*

<b>Equipo</b>	<b>N° de fallas</b>	<b>Tiempo de paro en horas</b>
Tolva de gruesos, parilla 68 x 68 (16m3)	4	7
Alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)	37	96
Zaranda Scalper TRIO (Pan Feeder EFS4807, 48" x 7')	29	65
Chancadora TRIO (CT Series 30" x 42" A, Jaw Crusher)	45	107.5
Faja Transportadora 42" x 14.6m. (1051-CB-01)	7	11



Faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051-CB-02)	41	101
Chancadora Nordberg HP – 200	46	118.5
Faja Transportadora 20" x 7m. (1051-CB-10)	8	11.5
Faja Transportadora 20" x 13m. (1051-CB-11)	11	19.5
Zaranda Metso Doble Deck 6'x16'	39	98.5
Zaranda Metso Triple Deck 6'x16'	43	104
Faja Transportadora 20" x 49m. (1051-CB-04)	11	16
Faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-05)	12	29.5
Faja Transportadora 20" x 45.9m. (1051-CB-06)	6	8
Faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-07)	6	9
Faja Transportadora 20" x 5.6m. (1051-CB-08)	6	7.5
Faja Transportadora 20" x 52m. (1051-CB-09)	10	15.5
Sorters COM 1200 TOMRA	36	94.5
Faja Transportadora 20" x 20.7m. (1052-CB-02)	6	8.5
Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-04)	9	15
Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-01)	8	13.5
Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-03)	5	7.5
Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-05)	8	13
Faja Transportadora Reversible	48	123
<b>Total</b>	<b>481</b>	<b>1100</b>

*Nota:* la tabla muestra un resumen general de la suma de todas las incidencias y horas perdidas de todos los equipos sometidos a estudio en el periodo de 06 meses.

#### **4.1.1. Codificación De Los Equipos**

La codificación de los equipos se realiza para un manejo adecuado de los cuadros, la codificación se realiza por zonas o áreas, en nuestro caso será de tres zonas, zona de chancado primario, zona de chancado secundario, zona de clasificación y zona de sorters.



**Tabla 27**

*Codificación de los Equipos en la Zona Chancado Primario.*

	<b>Equipo</b>	<b>Código</b>
<b>ZONA DE CHANCADO PRIMARIO</b>	01 tolva de gruesos, parilla 68 x 68 (16m3)	CHP-001T
	01 alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)	CPH-002A
	01 zaranda Scalper TRIO (Pan Feeder EFS4807, 48" x 7')	CHP-003Z
	01 chancadora TRIO (CT Series 30" x 42" A, Jaw Crusher)	CHP-004C
	01 faja Transportadora 42" x 14.6m. (1051-CB-01)	CHP-005F1
	01 faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051- CB-02)	CHP-006F2

*Nota:* en la tabla se muestra la codificación de todos los equipos presentes en la zona de chancado primario.

**Tabla 28**

*Codificación de los Equipos en la Zona Chancado Secundario.*

	<b>Equipo</b>	<b>Código</b>
<b>ZONA DE CHANCADO SECUNDARIO</b>	- 01 Chancadora Nordberg HP – 200	CS-001C
	- 01 Faja Transportadora 20" x 7m. (1051-CB-10)	CS-002F10
	- 01 Faja Transportadora 20" x 13m. (1051-CB-11)	CS-003F11
	faja transportadora reversible	CS-004FR

*Nota:* la tabla muestra la codificación de todos los equipos en la zona de chancado secundario.



**Tabla 29**

*Codificación de los Equipos en la Zona de Clasificación.*

	<b>Equipo</b>	<b>Código</b>
<b>ZONA DE CLASIFICACIÓN</b>	01 zaranda Metso Doble Deck 6'x16'	C-001ZD
	01 zaranda Metso Triple Deck 6'x16'	C-002ZT
	01 faja Transportadora 20" x 49m. (1051-CB-04)	C-003F4
	01 faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-05)	C-004F5
	01 faja Transportadora 20" x 45.9m. (1051-CB-06)	C-005F6
	01 faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-07)	C-006F7
	01 faja Transportadora 20" x 5.6m. (1051-CB-08)	C-007F8
	01 faja Transportadora 20" x 52m. (1051-CB-09)	C-008F9

*Nota:* la tabla muestra la codificación de los equipos de la zona de clasificación.

**Tabla 30***Codificación de los Equipos de la Zona de Sorters.*

	<b>Equipo</b>	<b>Código</b>
<b>ZONA DE SORTERS</b>	- 04 Sorters COM 1200 TOMRA	S-001S4
	- 01 Faja Transportadora 20" x 20.7m. (1052-CB-02)	S-002F2Z
	- 01 Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-04)	S-003F4
	- 01 Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-01)	S-004F1
	- 01 Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-03)	S-005F3
	- 01 Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-05)	S-006F5

*Nota:* la tabla muestra la codificación de todos los equipos de la zona de los sorters.

## **4.2. SELECCIÓN DE EQUIPOS MÁS CRÍTICOS**

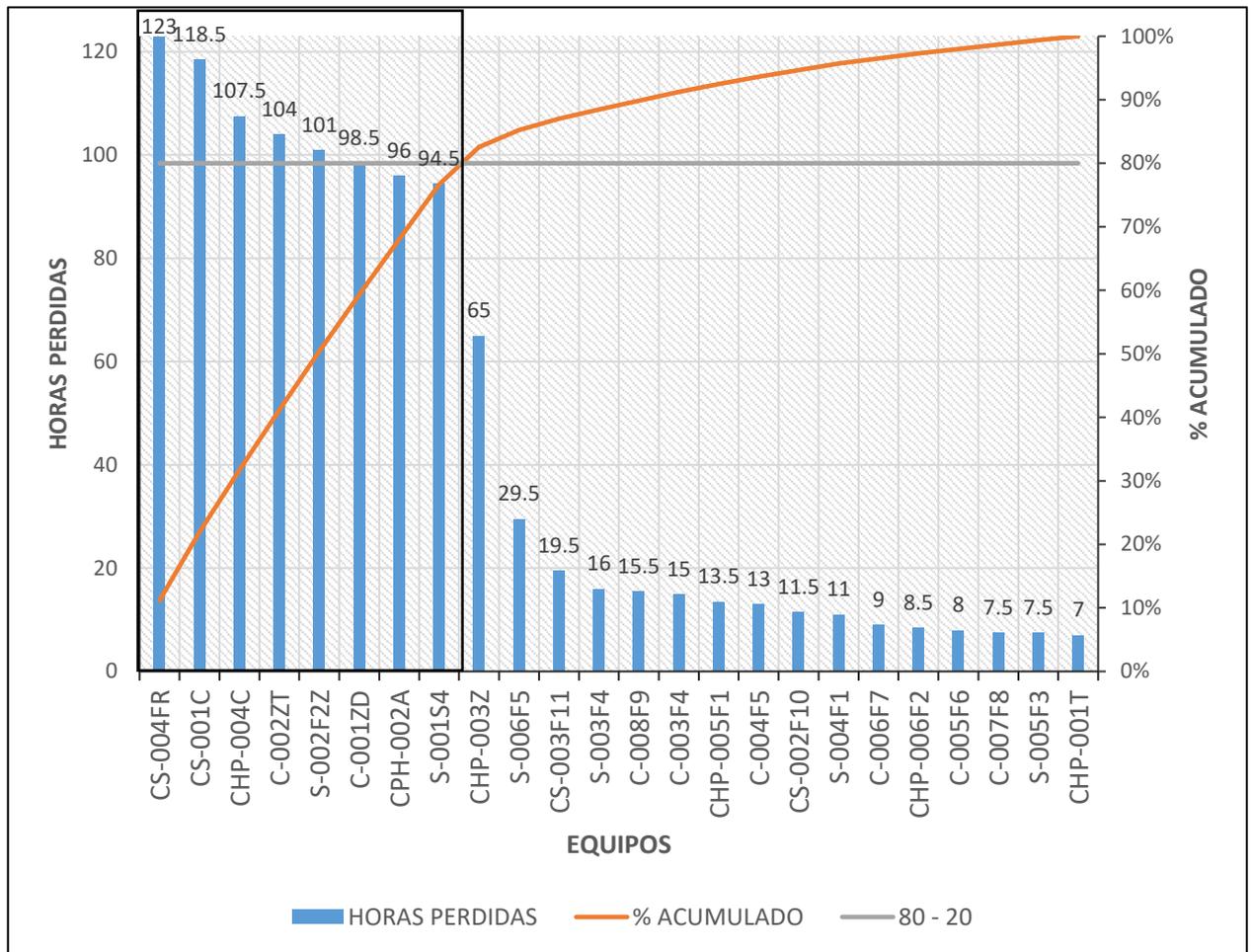
La selección de los equipos más críticos se realiza porque el plan de mantenimiento será implementado a los equipos más críticos de la planta, esta selección se realiza por el medio del diagrama de Pareto.

### **4.2.1. Diagrama De Pareto análisis de fallas de los equipos.**

Según el grafico el 80% de tiempos para reparación debido a fallas no programadas han ocurrido debido a fallas en los siguientes componentes.

**Figura 25**

*Análisis de los Equipos por el Diagrama de Pareto 80 - 20.*



*Nota:* Según el análisis del diagrama de Pareto indica el 20% de equipos que causan más del 80% de horas perdidas en el tiempo de observación y recolección de datos que se hizo desde el 01 de marzo hasta 31 de agosto del 2020, en un total de 06 meses, ha sido originado por los ocho primeros equipos que se muestran en el diagrama, las cuales se pueden apreciarse que sobrepasan el 80% acumulado.

**Tabla 31**

*tabla de análisis del 20% de equipos que causan más del 80% de horas perdidas.*

CÓDIGO	EQUIPO	HRS PERDIDAS	ACUMULADO
CS-004FR	faja transportadora reversible	123	11%
CS-001C	chancadora Nordberg HP – 200	118.5	22%



CHP-004M	chancadora TRIO (CT Series 30"x42" A, Jaw Crusher)	107.5	32%
C-002ZT	zaranda Metso Triple Deck 6'x16'	104	41%
S-002F2Z	Faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051-CB-02)	101	50%
C-001ZD	Zaranda Metso Doble Deck 6'x16'	98.5	59%
CHP-002A	Alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)	96	68%
S-001S4	4 Sorters COM 1200 TOMRA	94.5	77%
CHP-003Z	Zaranda Scalper TRIO (Pan Feeder EFS4807, 48" x 7')	65	83%
S-006F5	Faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-05)	29.5	85%
CS-003F11	Faja Transportadora 20" x 13m. (1051-CB-11)	19.5	87%
S-003F4	Faja Transportadora 20" x 49m. (1051-CB-04)	16	88%
C-008F9	Faja Transportadora 20" x 52m. (1051-CB-09)	15.5	90%
C-003F4	Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-04)	15	91%
CHP-005F1	Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-01)	13.5	92%
C-004F5	Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-05)	13	94%
CS-002F10	Faja Transportadora 20" x 7m. (1051-CB-10)	11.5	95%
S-004F1	Faja Transportadora 42" x 14.6m. (1051-CB-01)	11	96%
C-006F7	Faja Transportadora 20" x 45.7m. (1051-CB-07)	9	97%
CHP-006F2	Faja Transportadora 20" x 20.7m. (1052-CB-02)	8.5	97%
C-005F6	Faja Transportadora 20" x 45.9m. (1051-CB-06)	8	98%
C-007F8	Faja Transportadora 20" x 5.6m. (1051-CB-08)	7.5	99%
S-005F3	Faja Transportadora 20" x 26.4m. (1052-CB-03)	7.5	99%
CHP-001T	Tolva de gruesos, parilla 68 x 68 (16m3)	7	100%
<b>TOTAL</b>		<b>1100</b>	

*Nota:* la tabla muestra el análisis de todos los equipos que sobrepasan el 80% en fallas, las cuales serán sometidos al plan de mantenimiento preventivo para mejorar su disponibilidad.

#### 4.2.2. Equipos Críticos A Implementar PMP

**Tabla 32**

*Equipos Críticos que Causan más del 80% de Horas Perdidas.*

CÓDIGO	EQUIPO
CS-004FR	faja transportadora reversible
CS-001C	chancadora Nordberg HP – 200
CHP-004C	chancadora TRIO (CT Series 30"x42" A, Jaw Crusher)
C-002ZT	zaranda Metso Triple Deck 6'x16'
S-002F2Z	Faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051-CB-02)
C-001ZD	Zaranda Metso Doble Deck 6'x16'
CHP-002A	Alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)
S-001S4	4 Sorters COM 1200 TOMRA

*Nota:* la tabla muestra un resumen de los equipos más críticos a ocurrir una falla y por ende más del 80% de horas perdidas.

#### 4.2.3. Indicadores de mantenimiento

Los indicadores nos permiten evaluar el comportamiento operacional de los equipos de esta manera poder implementar un plan de mantenimiento preventivo adecuando.

Para ello se consideró los siguientes indicadores de mantenimiento.

- Indicador de confiabilidad: tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF).
- Indicador de mantenibilidad: tiempo promedio de reparación.
- Indicador de disponibilidad: disponibilidad operativa.

##### 4.2.3.1. Tiempo Promedio Hasta El Fallo.

En este caso la planta de clasificación por sorters, trabaja un total de 22 horas por día, y los datos recogidos para nuestro estudio es de seis meses o sea medio año.

Para calcular el tiempo promedio hasta el fallo recurriremos a la siguiente formula:



$$MTTF = \frac{\text{tiempo total de operacion por maquina}}{\text{numero de fallas por maquina}}$$

$$MTTF_{\text{faja de retorno}} = \frac{4004 - 123}{48} = 80.9 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{chancadora conica}} = \frac{4004 - 118.5}{46} = 84.5 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{chancadora de mandibulas}} = \frac{4004 - 107.5}{45} = 86.6 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{zaranda triple}} = \frac{4004 - 104}{43} = 90.7 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{faja z}} = \frac{4004 - 101}{41} = 95.2 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{zaranda doble}} = \frac{4004 - 98.5}{39} = 100.1 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{alimentador vibratorio}} = \frac{4004 - 95}{37} = 105.6 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{sorters}} = \frac{4004 - 94.5}{36} = 108.6 \text{ horas}$$

$$MTTF_{\text{total}} = \frac{4004 - 843}{335} = 9.4 \text{ horas}$$

**Tabla 33**

*confiabilidad de los equipos.*

Equipo	Tiempo total de producción al 1/2año	Tiempo total de inactividad	N° de fallas	MTTF
CS-004FR	4004	123	48	80.9
CS-001C		118.5	46	84.5
CHP-004M		107.5	45	86.6
C-002ZT		104	43	90.7
S-002F2Z		101	41	95.2
C-001ZD		98.5	39	100.1
CHP-002A		96	37	105.6
S-001S4		94.5	36	108.6
<b>Total</b>	<b>4004</b>	<b>843</b>	<b>335</b>	<b>9.4</b>



Nota: la tabla muestra la confiabilidad de cada equipo sometido al plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.2.3.2. Mantenibilidad o MTTR

El análisis de la mantenibilidad se realiza por equipo y se consideran los más críticos obtenidos en la tabla de Pareto.

**Tabla 34**

*Mantenibilidad de Cada Equipo.*

Equipo	N° fallas	Tiempo total de inactividad	MTTR
CS-004FR	48	123	3
CS-001C	46	118.5	3
CHP-004M	45	107.5	2.5
C-002ZT	43	104	2.5
S-002F2Z	41	101	2.5
C-001ZD	39	98.5	3
CHP-002A	37	96	3
S-001S4	36	94.5	3
<b>Total</b>	<b>335</b>	<b>843</b>	<b>2.52</b>

Nota: la tabla muestra la mantenibilidad de cada equipo.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total para restaurar por maquina}}{\text{numero de fallas totales por maquina}}$$

$$MTTR_{faja reversible} = \frac{123}{48} = 2.56 \text{ horas}$$

$$MTTR_{chancadora conica} = \frac{118.5}{46} = 2.58 \text{ horas}$$

$$MTTR_{chancadora de mandibulas} = \frac{107.5}{45} = 2.39 \text{ horas}$$

$$MTTR_{zaranda triple} = \frac{104}{43} = 2.42 \text{ horas}$$

$$MTTR_{faja z} = \frac{101}{41} = 2.46 \text{ horas}$$

$$MTTR_{zaranda doble} = \frac{98.5}{39} = 2.53 \text{ horas}$$



$$MTTR_{alimentador\ vibratorio} = \frac{96}{37} = 2.59 \text{ horas}$$

$$MTTR_{sorters} = \frac{94.5}{36} = 2.63 \text{ horas}$$

$$MTTR_{total} = \frac{843}{335} = 2.52 \text{ horas}$$

#### 4.2.3.3. Disponibilidad Operativa.

El cálculo se realiza en base a los datos obtenidos y analizados.

$$disp.\ operativa = \frac{\text{horas operativas} - \text{horas inoperativas}}{\text{horas operativas}} * 100$$

$$disponibilidad\ operativa = \frac{4004 - 843}{4004} * 100$$

$$disponibilidad\ operativa = 78.9 \%$$

Esto quiere decir que a causa de no tener un plan de mantenimiento preventivo en la planta ocurre muchas fallas por lo tanto muchas horas perdidas en las reparaciones, lo cual la disponibilidad de los equipos es de solo 78.9%, lo que mejorara con la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.3. IMPLEMENTACION DEL PLAN PREVENTIVO (EXPERIMENTACIÓN)

En base a los datos recopilados, obtenidos y analizados en los capítulos anteriores, se seleccionó los equipos más críticos o también llamado los equipos que más fallas tuvieron según el análisis en grafico del diagrama de Pareto; se propone implementar el plan de mantenimiento preventivo, el cual incluye el equipo a tratar, sus componentes, según corresponda para cada equipo, a continuación, las tablas:

### 4.3.1. Plan de mantenimiento preventivo para la faja reversible

**Tabla 35**

#### *Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Reversible*

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
	Polines	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste de polines	Trapo industrial		Semanal	Técnico mecánico	20 minutos		Parada
		Cambiar, lubricar	Lubricar, cambiar polines según manual	Polines nuevos		Cada 15 días		3 horas		Parada
	Cinta transportadora	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste de cinta	Trapo industrial		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada
		Cambiar, reparar	Cambiar o reparar cinta transportadora	Cinta nueva o reparar		Cada 3 meses		3 horas		Parada
Faja trans. Reversible	Limpiador de cinta	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial	Destomillador, llave 22, dado 16, 22, 26, alicate, pata de cabra, equipo oxicorte, electrodo E-6011, pico, comba, hexagonales	Semanal	Técnico mecánico	10 minutos		Parada
		Cambiar	Cambiar limpiador de cinta según manual	Limpiador nuevo		Cada 6 meses		1 hora		Parada
	Chute de carga y descarga	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial		Cada 15 días	Técnico mecánico	15 minutos		Parada
		Cambiar, reparar	Cambiar chutes	Placa de acero		Cada 6 meses		2 horas		Parada
Motor	Motor	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada
		Lubricar	Lubricar motor según manual	Aceite industrial para corona c100		Cada mes		3 horas		Vistony

### 4.3.2. Plan de mantenimiento preventivo para la chancadora cónica 200

**Tabla 36**

*Plan de Mantenimiento Preventivo para la Chancadora Cónica 200*

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo	
Corona	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste de corona	Inspeccionar penetrantes, trapo industrial	Tintes		Cada 6 meses	Técnico mecánico	4 horas	Cantesco	Parada	
						Anual		3 horas	Vistony	Parada	
	Lubricar	Lubricar corona según manual de apoyo	Aceite industrial para corona cl100			Mensual	Técnico mecánico	30 minutos		Operación	
						Anual		2 horas	Zenith	Parada	
Chancadora cónica 200	Cambiar	Cambiar manto según manual de proyecto	Manto		Destornillador, llave 22, dado 16, 22, 26, alicate, pata de cabra, equipo oxicoorte, electrodo E-6011, pico, comba, hexagonales	Mensual	Técnico mecánico	2 horas	Zenith	Parada	
						Mensual	Técnico mecánico	2 horas	Zenith	Parada	
	Inspeccionar	Inspeccionar eje excéntrico	Cambiar eje principal cuando presente fracturas	Filtro de aceite			Cada 6 meses	Técnico mecánico	3 horas		Parada
							Anual		4 horas	Zenith	Parada
Eje de transmisión	Cambiar	Inspeccionar eje de transmisión según manual de apoyo	Eje de transmisión			Cada 6 meses	Técnico mecánico	4 horas		Parada	
						Anual		3 horas	Zenith	Parada	

### 4.3.3. Plan de mantenimiento preventivo para la chancadora de mandíbulas

**Tabla 37**

#### Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora de Mandíbulas

Equipo	componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
Chute de descarga	Inspeccionar	Inspeccionar estado del chute de descarga	Inspeccionar estado del chute de descarga	Trapo industrial		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos	Campeche	Operación
	Limpiar	Limpiar área obstruida	Limpiar área obstruida			Semanal	Técnico mecánico	30 minutos		Parada
	Reparar	Reemplazar por uno nuevo	Reemplazar por uno nuevo	Chute de descarga		6 meses		1.5 horas	1 m x 0.8 m	Parada
Polea	Inspeccionar	Inspeccionar torque de pemos y elongación de faja	Inspeccionar torque de pemos y elongación de faja	Trapo industrial, grasa industrial		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada
	Cambiar	Cambiar polea y faja	Cambiar polea y faja	Polea/faja	Llave de 36, 30, 32, 24, 1/2", 9/16", 3/4", 1.1/8", mixta, llave francesa de 15 pulgadas. Barreta, pico, comba, alicate, pata de cabra, máquina de soldar, equipo de oxicorte, electrodo, graseras.	6 meses		1.5 horas	Radio de 60 cm	Parada
Chancadora de mandíbulas	Evaluar	Evaluar de mandíbulas según las dimensiones de las piedras trituradas después del proceso	Evaluar desgaste de mandíbulas según las dimensiones de las piedras trituradas después del proceso	Ninguno		Mensual	Técnico mecánico	30 minutos		Parada
	Cambiar	Cambiar mandíbula según manual de apoyo	Cambiar mandíbula según manual de apoyo	Juego de mandíbulas		8 meses		3 horas	1 m x 1.12m	Parada
	Inspeccionar	Inspeccionar estado	Inspeccionar estado	Ninguno		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada
Resorte de tensión	Cambiar	Cambiar cuando sea necesario	Cambiar cuando sea necesario	Cuña superior		5 meses		2 horas	Acerado	Parada
	Evaluar	Evaluar estado	Evaluar estado	Dinamómetro		Mensual	Técnico mecánico	30 minutos		Parada
	Cambiar	Cambiar resorte	Cambiar resorte	Resorte de tensión		6 meses			Acerado	Parada

#### 4.3.4. Plan de mantenimiento preventivo para la zaranda de triple piso

Tabla 38

#### Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Triple Piso.

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
Zaranda de triple piso	Chute de descarga de finos	Inspeccionar	Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Trapo industrial	llave 19, máquina de soldar, soldadura, comba, pata de cabra	Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Operación
		Reparar	Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Chute de descarga de finos		4 meses		3 horas	Placa de fierro acerado	Parada
	Chute de descarga de gruesos	Inspeccionar	Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Trapo industrial	llave 17, máquina de soldar, soldadura, comba, pata de cabra	Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Operación
		Reparar	Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Chute de descarga de gruesos		Annual		2 horas	Placa de fierro acerado	Parada
Zaranda de triple piso	Malla de ½	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad de la malla	Trapo industrial		Semanal		15 minutos		Parada
		Cambiar	Cambiar malla correspondiente considerando el espacio de pase de grano para la piedra de ½	Malla de ½	Comba, pico, equipo oxicoorte, máquina de soldar, soldadura	4 meses	Técnico mecánico	2 horas	Alambre acero grueso	Parada
	Malla de ¾	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad de la malla	Trapo industrial		Semanal		15 minutos		Parada
		Cambiar	Cambiar malla correspondiente considerando el espacio de pase	Malla ¾		6 meses	Técnico Mecánico	3 horas	Alambre acerado grueso	Parada
Malla de 1	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad de la malla	Cambiar bastidor dañado	Bastidor	Soldadura, oxi corte, electrodo, alicate, comba, pata de cabra.	Cada 15 días	Técnico mecánico	1 hora		Parada
			Inspeccionar la integridad de la malla	Trapo industrial	Comba, pico, equipo oxicoorte,	Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada

Cambiar malla correspondiente	Cambiar malla correspondiente	Malla de 1	máquina de soldar, soldadura	3 meses	3 horas	Alambre acerado	Parada
-------------------------------	-------------------------------	------------	------------------------------	---------	---------	-----------------	--------

#### 4.3.5. Plan de mantenimiento preventivo para la faja “Z”

**Tabla 39**

#### Plan de Mantenimiento Preventivo para la Faja Z

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
Polines	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste de polines	Trapo industrial		Semanal		20 minutos	Parada		
	Cambiar, lubricar	Lubricar, cambiar polines según manual	Polines nuevos		Cada 15 días	Técnico mecánico	3 horas	Parada		
	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste de cinta	Trapo industrial		Semanal		15 minutos	Parada		
	Cambiar, reparar	Cambiar o reparar cinta transportadora	Cinta nueva o reparar	Destornillador, llave 22, dado 16, 22, 26, alicata, pata de cabra, equipo oxicorte, electrodo E-6011, pico, comba, hexagonales	Cada 3 meses	Técnico mecánico	3 horas	Parada		
Faja trans. En Z	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial		Semanal		10 minutos	Parada		
	Cambiar	Cambiar limpiador de cinta según manual	Limpiador nuevo		Cada 6 meses	Técnico mecánico	1 hora	Parada		
Chute de carga y descarga	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial		Cada 15 días		15 minutos	Parada		
	Cambiar, reparar	Cambiar chutes	Placa de acero		Cada 6 meses	Técnico mecánico	2 horas	Parada		
Motor	Inspeccionar	Inspeccionar estado y desgaste	Trapo industrial		Semanal		15 minutos	Parada		
	lubricar	Lubricar motor según manual	Aceite industrial para corona c100		Cada mes	Técnico mecánico	3 horas	Parada	Vistony	

#### 4.3.6. Plan de mantenimiento preventivo para la zaranda de doble piso

**Tabla 40**

#### Plan de Mantenimiento Preventivo para la Zaranda de Doble Piso

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo	
<b>Zaranda de doble piso</b>	Chute de descarga de finos	Inspeccionar	Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Trapo industrial	llave 19, máquina de soldar, soldadura, comba, pata de cabra	Semanal	Técnico mecánico	15 minutos	Placa de hierro acerado	Operación	
		Repara	Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Chute de descarga de finos		4 meses		3 horas		Parada	
	Chute de descarga de gruesos	Inspeccionar	Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Trapo industrial	llave 17, máquina de soldar, soldadura, comba, pata de cabra	Semanal	Técnico mecánico	15 minutos	Placa de hierro acerado	Operación	
		Reparar	Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Chute de descarga de gruesos		Annual		2 horas		Parada	
	Malla de ½	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad de la malla	Trapo industrial		Semanal	Técnico mecánico	15 minutos		Parada	
		Cambiar	Cambiar malla Correspondiente considerando el espacio de pase de grano para la piedra de ½	Malla de ½	Comba, pico, equipo oxicorte, máquina de soldar, soldadura	4 meses		2 horas	Alambre acero grueso	Parada	
	Malla de ¾	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad de la malla	Trapo industrial		Semanal	Técnico Mecánico	15 minutos		Alambre acerado grueso	Parada
		Cambiar	cambiar malla correspondiente considerando el espacio	Malla ¾		6 meses		3 horas			Parada
	Bastidor	Cambiar	Cambiar bastidor dañado	Bastidor	Soldadura, oxi corte, electrodo, alicate, comba, pata de cabra.	Cada 15 días	Técnico Mecánico	1 hora			Parada

#### 4.3.7. Plan de mantenimiento preventivo para el alimentador vibratorio

**Tabla 41**

#### Plan de Mantenimiento Preventivo para el Alimentador vibratorio

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
Bastidor	Inspección	Inspeccionar la integridad de las paredes del bastidor	Trapo industrial, arnés.	Comba, pico, equipo oxicorte, máquina de soldar, soldadura	Cada 15 días Mes	Técnico	10 min	Parada		
	Reparación	Soldar, componer las partes dañadas	Placa de acero		Cada Mes	Mecánico	30 min	Parada	Placa de acero	
	Cambio	Cambiar las placas del bastidor	Bastidor nuevo		Cada 6 meses		2 horas	Parada	Acero	
Parrilla	Inspección	Inspeccionar las alineaciones e integridad de la parrilla	Trapo industrial	Comba, pico, equipo oxicorte, máquina de soldar, soldadura	Cada mes	Técnico Mecánico	10 min	Parada		
	Reparación	Reparar la parrilla	Parrilla nueva		Cada 6 meses		1 hora	Parada	Barras de acero	
Resortes	Inspección	Inspeccionar las alineaciones y el estado de los resortes	Trapo industrial	Llave de 36, 30, 32, 24, 1/2", 9/16", 3/4", 1.1/8", mixta, llave francesa de 15 pulgadas. Barreta, pico, comba, alicate, pata de cabra, máquina de soldar, equipo de oxicorte, electrodo, graseras.	Cada 15 días	Técnico Mecánico	15 minutos	Operación		
	Cambio	Cambiar los resortes dañados	Resortes nuevos		Cada 3 meses		1 hora	Parada	Resortes nuevos	
Correa de transmisión	Inspección	Inspeccionar el estado de la correa de transmisión	Trapo industrial		Cada mes	Técnico Mecánico	10 min	Operación		
	Cambio	Cambiar la correa de transmisión	Correa de transmisión nueva		Cada 3 meses		20 min	Parada	Correa nuevos	

#### 4.3.8. Plan de mantenimiento preventivo para los SORTERS

**Tabla 42**

#### Plan de mantenimiento Preventivo para los SORTERS

Equipo	Componente	Tareas a realizar	Descripción de la tarea	Materiales	Herramientas	Periodo	Responsable	Tiempo de ejecución	Características	Modo
Chute de carga	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad del chute	Inspeccionar la integridad del chute	Trapo industrial	Llave de 36, 30, 32, 24, 1/2", 9/16", 3/4", 1, 1/8", mixta, llave francesa de 15 pulgadas.	Cada mes	Técnico Mecánico	20 min		Parada
	Reparación	Reparación de áreas dañadas	Reparación de áreas dañadas	Partes nuevas de un chute		Cada 3 meses		3 horas	Placa de acero	Parada
	Inspeccionar	Inspeccionar la integridad del chute	Inspeccionar la integridad del chute	Trapo industrial	Barreta, pico, comba, alicata, pata de cabra, máquina de soldar, equipo de oxiacorte, electrodo, graseras.	Cada mes	Técnico Mecánico	20 min		Parada
	Reparación	Reparación de áreas dañadas	Reparación de áreas dañadas	Partes nuevas de un chute		Cada 3 meses		3 horas	Placa de acero	Parada
SORTERS	Inspeccionar	Inspeccionar la calidad de selección	Inspeccionar la calidad de selección	Trapo industrial		Cada 15 días		30 min		Operación
	Calibración de equipo	Calibración de partes seleccionadoras	Calibración de las partes seleccionadoras	Equipo especial de calibración de sorters	Equipo de reparación de sorters,	Cada 3 meses	Técnico de proveedor,	6 horas		Parada
	Inspeccionar	Inspeccionar la calidad de la selección o pallequeo	Inspeccionar la calidad de la selección o pallequeo	Muestras y trapo industrial	computadora, código fuente madre del software de reprogramación	Cada mes	especialista en reprogramación de sorters	30 min		Operación
	Reprogramación	Reprogramación del algoritmo de programación	Reprogramación del algoritmo de programación	Equipo especial de reprogramación de sorters		Cada 3 meses		24 horas		Parada



















#### 4.6. PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)

<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE FAJA TRANSPORTADORA REVERSIBLE</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de chancado	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

##### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de faja.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

##### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	

##### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- 01 gancho limpiador de mineral	
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	
3.3.- 01 barretilla	
3.4.- llaves mixtas	
3.5.- lampa minera	
3.6.- comba	
3.7.- tecele	

##### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.2.- Revisar y verificar aceite, la viscosidad y calor.
- 4.2.- revisar y limpiar las partes móviles de la faja,
- 4.3.- Revisar y engrasar las poleas polines de la faja.
- 4.4.- Inspeccionar estado y desgaste de la cinta, cambiar o reparare si presenta deformaciones roturas.
- 4.5.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.6.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.7.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.

<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE CHANCADORA NORDBERG HP-200</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de chancado	Versión: 1.0	



	Código:	Página 1 de 1	Planta Ore Sorting
--	---------	---------------	-----------------------

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de chancado.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- 01 gancho limpiador de mineral	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicata
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- tecla	

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- Revisar y verificar el estado de la corona.
- 4.6.- inspeccionar las condiciones del manto.
- 4.7.- inspeccionar el eje excéntrico.
- 4.8.- inspeccionar eje de transmisión.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE FAJA TRANSPORTADORA REVERSIBLE</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de chancado	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 5. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de faja.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 6. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	

### 7. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- 01 gancho limpiador de mineral	
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	
3.3.- 01 barretilla	
3.4.- llaves mixtas	
3.5.- lampa minera	
3.6.- comba	
3.7.- tecele	

### 8. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.2.- Revisar y verificar aceite, la viscosidad y calor.
- 4.2.- revisar y limpiar las partes móviles de la faja,
- 4.3.- Revisar y engrasar las poleas polines de la faja.
- 4.4.- Inspeccionar estado y desgaste de la cinta, cambiar o reparare si presenta deformaciones roturas.
- 4.5.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.6.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.7.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE CHANCADORA DE MANDIBULAS</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de chancado	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 5. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de chancado.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 6. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	

### 7. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- llave de 35, 30, 32, 24, ½”, 9/16”, ¾”, 1.1/8”	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicate
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- teclé	3.15.- graseras
3.14.- llave francesa de 15	

### 8. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- inspeccionar estado del chute de descarga .
- 4.6.- inspeccionar torque de pernos y elongación de correa.
- 4.7.- inspeccionar desgaste de mandíbulas.
- 4.8.- inspeccionar las cuñas.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE ZARANDA DE TRIPLE PISO</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de clasificación	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de clasificación.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	2.9.- respirador

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- llave de 35, 30, 32, 24, ½”, 9/16”, ¾”, 1.1/8”	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicate
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- teclé	3.15.- graseras
3.14.- llave francesa de 15	

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- inspeccionar la integridad de la malla.
- 4.6.- inspeccionar torque de pernos y elongación de correa.
- 4.7.- inspeccionar estado de bastidor.
- 4.8.- inspeccionar el motor y correa de transmisión.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



PETS	MANTENIMIENTO DE FAJA TRANSPORTADORA "Z"		
MINSUR	Área: sección de chancado/clasificación	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de faja.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	2.9.- respirador

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- 01 gancho limpiador de mineral	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicata
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- tecele	

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.2.- Revisar y verificar aceite, la viscosidad y calor.
- 4.2.- revisar y limpiar las partes móviles de la faja,
- 4.3.- Revisar y engrasar las poleas polines de la faja.
- 4.4.- Inspeccionar estado y desgaste de la cinta, cambiar o reparare si presenta deformaciones roturas.
- 4.5.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.6.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.7.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE ZARANDA DE DOBLE PISO</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de clasificación	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de clasificación.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	2.9.- respirador

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- llave de 35, 30, 32, 24, ½”, 9/16”, ¾”, 1.1/8”	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicate
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- tecele	3.15.- graseras
3.14.- llave francesa de 15	

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- inspeccionar la integridad de la malla.
- 4.6.- inspeccionar torque de pernos y elongación de correa.
- 4.7.- inspeccionar estado de bastidor.
- 4.8.- inspeccionar el motor y correa de transmisión.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE ALIMENTADOR VIVRATORIO</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de chancado	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de clasificación.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	2.9.- respirador

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- llave de 35, 30, 32, 24, ½”, 9/16”, ¾”, 1.1/8”	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicate
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- teclé	3.15.- graseras
3.14.- llave francesa de 15	

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- inspeccionar el estado de las paredes del bastidor.
- 4.6.- inspeccionar la alineación e integridad de la parrilla.
- 4.7.- inspeccionar estado de los resortes.
- 4.8.- inspeccionar el motor y correa de transmisión.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.



<b>PETS</b>	<b>MANTENIMIENTO DE SORTERS</b>		
<b>MINSUR</b>	Área: sección de clasificación	Versión: 1.0	Planta Ore Sorting
	Código:	Página 1 de 1	

### 1. PERSONAL.

1.1.- 01 operador de sorters.
1.2.- operario de mantenimiento.
1.3.- ayudante.

### 2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

2.1.- casco	2.4.- barbiquejo	2.7.- arnés
2.2.- guantes	2.5.- zapatos de seguridad	2.8.- orejeras
2.3.- lentes	2.6.- mameluco	2.9.- respirador

### 3. EQUIPOS/HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

3.1.- llave de 35, 30, 32, 24, ½”, 9/16”, ¾”, 1.1/8”	3.8.- destornilladores
3.2.- 01 juego de llaves cuadrados	3.9.- llave dado 16, 22, 26
3.3.- 01 barretilla	3.10.- Alicate
3.4.- llaves mixtas	3.11.- pata de cabra
3.5.- lampa minera	3.12.- equipo oxicorte
3.6.- comba	3.13.- equipo de soldadura de arco eléctrico
3.7.- tecele	3.15.- graseras
3.14.- llave francesa de 15	3.16.- softwares

### 4. PROCEDIMIENTO.

- 4.1.- Colocarse su respectivo EPP
- 4.2.- Inspeccionar el are de trabajo, equipo.
- 4.3.- inspeccionar la integridad del chute de descarga y alimentación.
- 4.6.- inspeccionar la calidad de selección de mineral por rayos X.
- 4.7.- inspeccionar la calidad de pallaqueo.
- 4.8.- inspeccionar el motor y sus componentes de aire a presión.
- 4.9.- Realizar las reparaciones correspondientes si se encuentra averías.
- 4.10.- terminar la reparación e inspección, deberá de recoger todas las herramientas y materiales utilizados.
- 4.11.- luego procederá a lavado de su EPP y limpieza del área de trabajo.

#### 4.7. INDICADORES DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN (POST TEST)

Los cálculos que realizaremos a continuación serán de los nuevos indicadores en base a la suma total de horas paradas programadas y propuestas en el Plan de mantenimiento preventivo que se realizó en los ítems 4.3 y 4.4.

##### 4.7.1. Faja Reversible

**Tabla 43**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Reversible.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar estado y desgaste de polines	Semanal	20 min	Parada	0.33	26	8.67
Lubricar, cambiar polines según manual	Cada 15 días	3 horas	Parada	3.00	3	9
Inspeccionar estado y desgaste de cinta	Semanal	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
Cambiar o reparar cinta transportadora	Cada 3 meses	3 horas	Parada	3.00	2	6
Inspeccionar estado y desgaste	Semanal	10 minutos	Parada	0.17	26	4.33
Cambiar limpiador de cinta según manual	Cada 6 meses	1 hora	Parada	1.00	1	1
Inspeccionar estado y desgaste	Cada 15 días	15 minutos	Parada	0.25	3	0.75
Cambiar chutes	Cada 6 meses	2 horas	Parada	2.00	1	2



Inspeccionar estado y desgaste	Semanal	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
Lubricar motor según manual	Cada mes	3 horas	Parada	3.00	6	18
<b>TOTAL</b>						<b>62.75</b>

*Nota:* la tabla muestra los resultados del tiempo de parada y las horas de mantenimiento con el plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.7.2. Chancadora Conica-200

**Tabla 44**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora Cónica 200.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar estado y desgaste de corona	Cada 6 meses	4 horas	Parada	4.0	1	4
Lubricar corona según manual de apoyo	Anual	3 horas	Parada	3.0		0
Inspeccionar las condiciones del manto	Mensual	30 minutos	Operación	0.5	6	3
Cambiar manto según manual de proyecto	Anual	2 horas	Parada	2.0		0
Cambiar filtro según manual de apoyo	Mensual	2 horas	Parada	2.0	6	12
Inspeccionar eje excéntrico	Cada 6 meses	3 horas	Parada	3.0	1	3



Cambiar eje principal cuando presente fracturas	Anual	4 horas	Parada	4.0		0
Inspeccionar eje de transmisión	Cada 6 meses	4 horas	Parada	4.0	1	4
Cambiar eje de transmisión según manual de apoyo	Anual	3 horas	Parada	3.0		0
<b>TOTAL</b>						<b>26</b>

*Nota:* la tabla muestra los resultados después del plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.7.3. Chancadora De Mandíbulas

**Tabla 45**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Chancadora de Mandíbulas.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar estado del chute de descarga	Semana 1	15 minutos	Operación	0.25		
Limpiar área obstruida	Semana 1	30 minutos	Parada	0.5	26	13
Reemplazar por uno nuevo	6 meses	1.5 horas	Parada	1.5	1	1.5
Inspeccionar torque de pernos y elongación de faja	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
Cambiar polea y faja	6 meses	1.5 horas	Parada	1.5	1	1.5
Evaluar desgaste de	Mensual	30 minutos	Parada	0.5	6	3



mandíbulas según las dimensiones de las piedras trituradas después del proceso Cambiar mandíbula según manual de apoyo	8 meses	3 horas	Parada	3	1	3
Inspeccionar estado Cambiar cuando sea necesario	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
Evaluar estado Cambiar resorte	5 meses	2 horas	Parada	2	1	2
	Mensual	30 minutos	Parada	0.5	6	3
	6 meses	1 hora	Parada	1	1	1
<b>TOTAL</b>						<b>41</b>

*Nota:* la tabla muestra los datos obtenidos después de haber ejecutado el plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.7.4. Zaranda De Triple Piso

**Tabla 46**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Triple Piso.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Semana 1	15 minutos	Operación	0.25	26	6.5
Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	4 meses	3 horas	Parada	3	1	3
Inspeccionar diariamente la	Semana 1	15 minutos	Operación	0.25	26	6.5



descarga de finos y gruesos							
Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Anual	2 horas	Parada	2			0
Inspeccionar la integridad de la malla	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26		6.5
Cambiar malla correspondiente considerando el espacio de pase de grano para la piedra de ½	4 meses	2 horas	Parada	2	1		2
Inspeccionar la integridad de la malla	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26		6.5
cambiar malla correspondiente considerando el espacio de pase	6 meses	3 horas	Parada	3	1		3
Cambiar bastidor dañado	Cada 15 días	1 hora	Parada	1	12		12
Inspeccionar la integridad de la malla	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26		6.5
Cambiar malla correspondiente	3 meses	3 horas	Parada	3	2		6
<b>TOTAL</b>							<b>58.5</b>

#### 4.7.5. Faja Transportadora En Z

**Tabla 47**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Faja Transportadora en Z.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar estado y desgaste de polines	Semanal	20 minutos	Parada	0.33	26	8.67
Lubricar, cambiar polines según manual	Cada 15 días	3 horas	Parada	3	12	36.00
Inspeccionar estado y desgaste de cinta	Semanal	15 minutos	Parada	0.25	26	6.50
Cambiar o reparar cinta transportadora	Cada 3 meses	3 horas	Parada	3	2	6.00
Inspeccionar estado y desgaste	Semanal	10 minutos	Parada	0.17	26	4.33
Cambiar limpiador de cinta según manual	Cada 6 meses	1 hora	Parada	1	1	1.00
Inspeccionar estado y desgaste	Cada 15 días	15 minutos	Parada	0.25	12	3.00
Cambiar chutes	Cada 6 meses	2 horas	Parada	2	1	2.00
Inspeccionar estado y desgaste	Semanal	15 minutos	Parada	0.25	26	6.50
Lubricar motor según manual	Cada mes	3 horas	Parada	3	6	18.00
<b>TOTAL</b>						<b>92.00</b>

#### 4.7.6. Zaranda De Doble Piso

**Tabla 48**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Zaranda de Doble Piso.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Semana 1	15 minutos	Operación	0.25	26	6.5
Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	4 meses	3 horas	Parada	3	1	3
Inspeccionar diariamente la descarga de finos y gruesos	Semana 1	15 minutos	Operación	0.25	26	6.5
Reparar chute de descarga cuando está presente deformaciones	Anual	2 horas	Parada	2		0
Inspeccionar la integridad de la malla	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
Cambiar malla correspondiente considerando el espacio de pase de grano para la piedra de ½	4 meses	2 horas	Parada	2	1	2
Inspeccionar la integridad de la malla	Semana 1	15 minutos	Parada	0.25	26	6.5
cambiar malla correspondiente considerando el espacio	6 meses	3 horas	Parada	3	1	3



Cambiar bastidor dañado	Cada 15 días	1 hora	Parada	1	12	12
<b>TOTAL</b>						46

#### 4.7.7. Alimentador Vibratorio

**Tabla 49**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Alimentador Vibratorio.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento preventivo en parada
Inspeccionar la integridad de las paredes del bastidor	Cada 15 días Mes	10 min	Parada	0.17	12	2.00
Soldar, componer las partes dañadas	Cada Mes	30 min	Parada	0.50	6	3.00
Cambiar las placas del bastidor	Cada 6 meses	2 horas	Parada	2.00	1	2.00
Inspeccionar las alineaciones e integridad de la parrilla	Cada mes	10 min	Parada	0.17	6	1.00
Reparar la parrilla	Cada 6 meses	1 hora	Parada	1.00	1	1.00
Inspeccionar las alineaciones y el estado de los resortes	Cada 15 días	15 minutos	Operación	0.25	12	3.00
Cambiar los resortes dañados	Cada 3 meses	1 hora	Parada	1.00	2	2.00
Inspeccionar el estado de la correa	Cada mes	10 min	Operación	0.17	6	1.00

de transmisión							
Cambiar la correa de transmisión	Cada 3 meses	20 min	Parada	0.33	2	0.67	
							<b>15.67</b>

#### 4.7.8. Sorters

**Tabla 50**

*Con el Plan de Mantenimiento Preventivo para Sorters.*

Descripción de la tarea	Periodo	Tiempo de ejecución	Modo	Tiempo de ejecución en horas	Frecuencia (veces al semestre)	Horas de mantenimiento o preventivo en parada
Inspeccionar la integridad del chute	Cada mes	20 min	Parada	0.33	6	1.98
Reparación de áreas dañadas	Cada 3 meses	3 horas	Parada	3	2	6
Inspeccionar la integridad del chute	Cada mes	20 min	Parada	0.33	6	1.98
Reparación de áreas dañadas	Cada 3 meses	3 horas	Parada	3	2	6
Inspeccionar la calidad de selección	Cada 15 días	30 min	Operación			
Calibración de las partes seleccionadoras	Cada 3 meses	6 horas	Parada	6	2	12
Inspeccionar la calidad de la selección o pallaqueo	Cada mes	30 min	Operación	0.5	6	3
Reprogramación del algoritmo de programación	Cada 3 meses	24 horas	Parada	24	2	48
<b>TOTAL</b>						<b>78.96</b>



#### 4.7.9. Indicadores Después De La Implementación (MP)

**Tabla 51**

*Resumen de los Datos obtenidos con el plan de mantenimiento preventivo.*

<b>Equipo</b>	<b>Reducción De Horas De Parada</b>	<b>Total</b>	<b>Tiempo De Parada Antes Del Mantenimiento</b>	<b>Porcentaje De Mejora (%)</b>
Faja transportadora reversible	62.75			
Chancadora Nordberg HP – 200	26			
Chancadora TRIO (CT Series 30"x42" A, Jaw Crusher)	41			
Zaranda Metso Triple Deck 6'x16'	58.5			
Faja Transportadora cangilones "Faja Z" (1051-CB- 02)	92	420.88	843	50
Zaranda Metso Doble Deck 6'x16'	46			
Alimentador vibratorio TRIO (Vibrating 46" x 10' Pan Feeder)	15.67			
4 Sorters COM 1200 TOMRA	78.96			

*Nota:* la tabla se puede apreciar el resumen de los datos de los equipos después de haber implementado el plan de mantenimiento preventivo.

##### 4.7.9.1. Confiabilidad: Tiempo Promedio Operativo Hasta El Fallo.

Para realizar los cálculos de confiabilidad se tomó en cuenta las siguientes variables.

Tiempo total de producción al 1/2año: 4004 horas (154 horas semanales. 26 semanas)

Tiempo total de inactividad: es la el resultado de la resta de horas paradas antes de la mejora y las horas de parada programadas totales después del plan.

$$843 - 420.88 = 422.12$$



Número de fallas en ½ año es de 117 omitiendo los numero de fallas de los equipos que están sujetas al plan de mantenimiento preventivo.

Para el cálculo:

$$MTTF = \frac{\text{tiempo total de operacion de maquina}}{\text{numero de fallas por maquina}}$$
$$MTTF = \frac{4004 - 422.12}{117} = 30.6 \text{ horas hasta fallo.}$$

#### 4.7.9.2. Mantenibilidad: tiempo promedio fuera de servicio.

Se tomo en cuenta las siguientes variables para el cálculo de la mantenibilidad.

Tiempo total para restaurar por maquina:  $843 - 420.88 = 422.12$ .

Número de fallas en ½ año estudiado: 117 sin incluir los maquinas implementadas en PMP.

Se obtuvo:

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total para restaurar por maquina}}{\text{numero de fallas totales por maquina}}$$
$$MTTR = \frac{422.12}{117} = 3.6 \text{ horas promedio fuera de servicio}$$

#### 4.7.9.3. Disponibilidad operativa.

Para el cálculo se tomó lo siguiente:

Horas operativas: 4004

Horas inoperativas:  $843 - 420.88 = 422.12$

Para el cálculo se obtuvo:

$$D = \frac{\text{horas operativas} - \text{horas inoperativas}}{\text{horas operativas}} * 100$$
$$D = \frac{4004 - 422.12}{4004} * 100 = 89.5\% \cong 90\%$$

*Disponibilidad = 90%*

#### 4.7.10. Proyección de la disponibilidad de los equipos

Para proyectar la disponibilidad utilizaremos el método de regresión lineal, lo que implica buscar la línea que se ajuste en forma óptima a la serie histórica.

La ecuación de ajuste de la proyección tiene la siguiente forma:

$$y = a + bx$$

sacando las ecuaciones normales para calcular los parámetros y encontrar la función proyección. Luego se estructura un cuadro en el que se puede obtener las ecuaciones normales planteadas.

**Tabla 52**

##### *Disponibilidad Histórica*

Año	Disponibilidad
2020	79%
2021	89%

*Nota:* la tabla muestra el porcentaje de la disponibilidad obtenidas en el pre test y post test.

Con los datos obtenidos del estudio antes de implementar el plan de mantenimiento preventivo se tuvo una disponibilidad del 79% y después de implementar el plan de mantenimiento preventivo la disponibilidad de los equipos subió a 89%, con estos datos se procede a proyectar.

**Tabla 53**

##### *Método de Regresión Lineal.*

AÑO	Y	X	XY	X <sup>2</sup>
2020	0.79	-1	-0.79	1
2021	0.89	1	0.89	1
N	ΣY	ΣX	ΣXY	ΣX <sup>2</sup>
2	1.68	0	0.1	2

*Nota:* la tabla muestra la regresión lineal con los datos obtenidos en el estudio para su proyección.

$$a = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{1.68}{2} = 0.84$$



$$b = \frac{\Sigma XY}{\Sigma x^2} = \frac{0.1}{2} = 0.05$$

$$y = a + bx = 0.84 + 0.05(2.5) = 0.97 \cong 97\%$$

$$y = a + bx = 0.84 + 0.05(3) = 0.99 \cong 99\%$$

**Tabla 54**

*Disponibilidad de los Equipos Proyectado.*

Nº	AÑO	DISPONIBILIDAD PROYECTADA
1	2020-2	79%
2	2021-1	89%
3	2021-2	97%
4	2022-1	99%

*Nota:* la tabla muestra la proyección de la disponibilidad de los equipos de la planta pre concentrado ore Sorting, esta proyección se hace realidad siempre en cuando que el plan de mantenimiento preventivo se vaya mejorando respecto el paso del tiempo.

#### **4.7.11. Producción proyectada respecto a la disponibilidad.**

Para poder desarrollar la producción proyectada se tomará como dato la producción instalada de la planta pre concentrado ore Sorting al 100%, que es de 2800 ton/día.

2 800 ton/día → 100%

X ← 79%

X = 2 212 ton/día de producción sin el plan de mantenimiento preventivo.

2 800 ton/día → 100%

X ← 89%

X = 2 492 ton/día de producción después de implementar el plan de mantenimiento preventivo.

Producción proyectada:



2 800 ton/día → 100%

X ← 97%

X = 2 716 ton/día de producción proyectada al 97% de disponibilidad.

2 800 ton/día → 100%

X ← 99%

X = 2 772 ton/día de producción proyectada al 99% de disponibilidad.

#### 4.7.12. Costos de explotación en la planta ore Sorting

**Tabla 55**

*Costos de Explotación del Mineral de Estaño en Ore Sorting.*

RUBROS	VALOR UNIT. (S/.)	TOTAL, EN \$ U.S.A.
<b>I. COSTO DE PRODUCCIÓN:</b>		<b>1 171 641.59</b>
<b>1.1. COSTOS DIRECTOS:</b>		<b>399 151.17</b>
<b>a) Mano de obra directa</b>	<b>SUELDO:</b>	273 492.54
Jefe de guardia	4 500	16 119.40
Operadores técnicos (3)	2 600	27 940.29
Operador volquete (6)	2 400	51 582.09
Operador cargador frontal (2)	2 600	18 626.87
Operador Excavadora (2)	2 600	18 626.87
Supervisor de limpieza (3)	5 800	5 194.03
Operadores de limpieza (9)	4 200	135 402.99
<b>b) Materiales directos</b>		125 658.63
Combustible		90 402.38
Accesorios		35 256.25
<b>1.2. COSTOS INDIRECTOS:</b>		<b>772 490.42</b>
<b>a) Mano de obra indirecta.</b>	<b>SUELDO</b>	98 149.27



Superintendente	8 000	28 656.72
Ingeniero de Seguridad	6 000	21 492.54
Ingeniero jefe de planta	6 000	21 492.54
Maestro mecánico (1)	3 200	11 462.69
Ayudante de mecánica (2)	2 100	15 044.78
<b>b) Mantenimiento de maquinaria. 3 %</b>		<b>637 075.50</b>
<b>c) Materiales indirectos.</b>		<b>37 265.65</b>

Fuente: Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A.

Nota: TASA DE CAMBIO: 1\$ U.S.A. A S/. 3.35

#### 4.7.13. Costos para procesar una tonelada de mineral

En las siguientes tablas se muestran los costos para procesar una tonelada de mineral de estaño, en donde se detallan los costes de mano de obra, energía eléctrica e imprevistos.

**Tabla 56**

*Sueldos Mensuales de Trabajadores.*

	CANTIDAD	PRECIO UNIT. S./	SUELDO S/.
Super. de mantenimiento	01	4 500	4 500
Jefe de guardia	01	10 000	10 000
Supervisor de seguridad	01	4 500	4 500
Operadores de planta	04	3 500	14 000
Mantenimiento	10	2 000	20 000
Limpieza	06	1 500	9 000

Nota: la tabla muestra los sueldos mensuales de todos los trabajadores de la planta de pre concentrado ore

Sorting de la unidad minera Minsur.

#### a) Deducción del tiempo de procesamiento de una tonelada de mineral:



La planta de pre concentrado ore Sorting tiene el flujo de producción de 2 800 ton/día, en un día la planta tiene un total de 20 horas de producción o funcionamiento.

2 800 ton	→	20 horas
1 ton	←	X
	X	= 0.007 horas
1 hora	→	60 minutos
0.007 hora	←	X
	X	= 0.42 minutos

La planta de pre concentrado ore Sorting produce 1ton en 0.42 minutos.

**b) Deducción del costo de mano de obra por tonelada:**

- Supervisor de mantenimiento:

$$\frac{4500\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.11 \text{ soles/minuto}$$

- Jefe de guardia:

$$\frac{10000\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.23 \frac{\text{soles}}{\text{minuto}}$$

- Supervisor de seguridad:

$$\frac{4500\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.11 \text{ soles/minuto}$$

- Operador:

$$\frac{3500\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.1 \text{ soles/minuto}$$

- Mantenimiento:

$$\frac{2000\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.05 \text{ soles/minuto}$$

- Limpieza:



$$\frac{1500\text{soles}}{1\text{mes}} \times \frac{1\text{mes}}{30\text{días}} \times \frac{1\text{día}}{24\text{horas}} \times \frac{1\text{hora}}{60\text{minutos}} = 0.03 \text{ soles/minuto}$$

**Tabla 57**

*Costo de Mano de Obra para Procesar 1 Tonelada de Mineral.*

	CANTIDAD	COSTO UNIT./TON S./	COSTO POR TONELADA S/.
Super. de mantenimiento	01	0.11	0.11
Jefe de guardia	01	0.23	0.23
Supervisor de seguridad	01	0.11	0.11
Operadores de planta	04	0.1	0.4
Mantenimiento	10	0.05	0.5
Limpieza	06	0.03	0.18
<b>TOTAL</b>			<b>1.53 soles</b>

*Nota:* en la tabla se aprecia el pago de los trabajadores para procesar una tonelada de mineral, lo cual es de 1.53 soles peruanos.

**c) costo de energía para procesar una tonelada de mineral.**

- Alimentador vibratorio:

$$5hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 3.73 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.06 \frac{kw}{minuto}$$

- Zarandas vibratorias:

$$30hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 22.38 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.37 \frac{kw}{minuto}$$

- Chancadora de quijadas:

$$150hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 111.9 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 1.87 \frac{kw}{minuto}$$

- Faja transportadora N° 1 y 11:

$$5hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 3.73 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.06 \frac{kw}{minuto}$$



- Faja transportadora 3 al 9:

$$15hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 11.19 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.19 \frac{kw}{minuto}$$

- Chancadora cónica:

$$200hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 149.2 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 2.48 \frac{kw}{minuto}$$

- Sorters:

$$9.25 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.15 \frac{kw}{minuto}$$

- Faja reversible:

$$10hp * \frac{0.746KW}{1hp} = 7.46 \frac{KW}{hora} * \frac{1hora}{60minutos} = 0.12 \frac{kw}{minuto}$$

**Tabla 58**

*Costo de Energía para Procesar una Tonelada de Mineral.*

Equipos	cantidad	KW/ton	KW/ton total	Costo unit. de KW S/.	Costo de KW/ton S/.
Alimentador vibratorio	1	0.06	0.06	0.95	0.06
Zaranda vibratoria	3	0.37	1.11	0.95	1.10
Chancadora de quijadas	1	1.87	1.87	0.95	1.78
Faja transportadora	2	0.06	0.12	0.95	0.11
Faja transportadora	7	0.19	1.33	0.95	1.26
Chancadora cónica	1	2.48	2.48	0.95	2.36
Sorters	4	0.15	0.60	0.95	0.57
Faja reversible	1	0.12	0.12	0.95	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>S/.</b>				<b>7.37</b>

*Nota:* la tabla muestra el costo de energía para procesar una tonelada de mineral.

El costo total en soles para procesar una tonelada de mineral en la planta de pre concentrado ore Sorting es:

**Tabla 59**

*Resumen de los Gastos Para Procesar 1 ton de Mineral pre-concentrado.*

	<b>Soles/ton</b>	<b>Distr.</b>
Mano de obra	1.53	7%
Costo de energía	7.37	32%
Movimiento de mineral	14	61%
<b>Total</b>	<b>22.9</b>	<b>100%</b>

*Nota:* la tabla muestra el resumen de los gastos para procesar una tonelada de pre-concentrado de mineral de estaño.

#### **4.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Según los resultados obtenidos en el pre test la disponibilidad de los equipos era de 79% por este motivo se les intervino a los equipos más críticos a sufrir fallas, para eso se recolecto datos durante seis meses, luego de la implementación del plan de mantenimiento preventivo se hizo el post test de la disponibilidad de los equipos que subió a 89%.

El mantenimiento preventivo es una parte importante de la gestión de cualquier tipo de equipo, maquina o infraestructura, contribuye de manera positiva a la vida útil de los equipos, porque a los equipos se les interviene antes de que sufran una falla grave, el plan de mantenimiento preventivo es muy importante porque alarga la vida útil del equipo, reduce costos de reparación, aumenta la disponibilidad de los equipos para una producción continua



## V. CONCLUSIONES

1. En esta tesis se determinó la eficacia del plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la planta pre-concentrado Ore Sorting de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, 2020; por consiguiente, reduce el tiempo de mantenimiento por averías y aumenta la disponibilidad de los equipos y la producción.
2. En esta tesis se determinó la disponibilidad baja sin el plan de mantenimiento preventivo de los equipos, la confiabilidad el tiempo promedio hasta que ocurra un fallo fue de 9.4 horas; el tiempo de mantenibilidad de los equipos fue de 2.52 horas; estos dos datos nos llevan a tener un porcentaje de la disponibilidad del 79% de disponibilidad de los equipos lo cual es bajo.
3. En esta tesis se determinó la disponibilidad con el plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la planta pre concentrado Ore Sorting, en donde: la confiabilidad del tiempo promedio hasta que ocurra un fallo se incrementó a 30.6 horas; la mantenibilidad del tiempo promedio es de 3.6 horas; con estos datos la disponibilidad de los equipos se incrementó a un 89%, con esto se concluye que el plan de mantenimiento preventivo es eficaz para poder tener, confiabilidad y disponibilidad mejorada de los equipos de la planta de producción Ore Sorting.



## VI. RECOMENDACIONES

Se debe ejecutar la implementación del plan de mantenimiento preventivo siempre y cuando se haya realizado el seguimiento anterior de las fallas de los equipos, a lo que teóricamente se llama “experiencias y registro del técnico mecánico”, para que con estos datos poder realizar los cálculos estadísticos de las fallas o averías que puedan ocurrir, estos datos permiten cronogramar un plan de trabajo más eficaz. El estudio historial de las fallas debe realizarse periódicamente para seguir optimizando y seguir mejorando la eficacia del plan de mantenimiento preventivo.

Con respecto a las nuevas incidencias que puedan ocurrir de manera imprevista se deben de registrar y seguir mejorando el plan de mantenimiento preventivo.

Y finalmente se recomienda implementar otros tipos de planes de mantenimiento preventivo como el correctivo, predictivo para tener una mayor confiabilidad y disponibilidad de todos los equipos de la planta de pre concentrado Ore Sorting de la Unidad Minsur – San Rafael.



## VII. REFERENCIAS

- Chanataxi, C. E. (2017) Diseño de bisutería artesanal con chatarra para mujeres de 20 a 35 años de la ciudad de Ambato. Tesis Universidad Técnica de Ambato Ecuador.
- Orellano, G. (2017) Importación de bisutería desde la China y su comercialización en el Perú. Tesis Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos USMP Lima Perú.
- Flores, A. (2013) Optimización del proceso de vaciado de zamak 3 en molde permanente mediante técnicas estadísticas y cómputo suave. Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología con Especialidad en Sistemas de Manufactura Avanzada. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
- Caltenco, R. (2009) Diseño y construcción de una máquina de colada centrífuga para aleaciones de bajo punto de fusión: Instituto Politécnico Nacional.
- Carrasco, H. (2016) Propuesta de un sistema de mantenimiento total para mejorar la eficiencia del Área Centrífugas en la Empresa Agroindustrial Tumán 2016. Universidad César Vallejo
- Conesa, V. (1993). Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental (Segunda ed.). Madrid: Mundi – Prensa.
- Domínguez, J. & Pérez, O. (2016) Diseño de un prototipo de colada centrífuga horizontal para producir tubos de aluminio. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México- Facultad de Ingeniería.
- Flores, J. (2012) Diseño de un sistema automático para el accionamiento del horno de crisol y colado centrífugo vertical para el taller de fundición de la universidad francisco de paula santander Ocaña. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Ucha, F. (2012) definición de implementar  
<https://www.definicionabc.com/general/implementar.php>



Alberti, A. (2020) ¿Cómo calcular la disponibilidad de una máquina? -

[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)

<https://www.alsglobal.com/es-co/news/articulos/2020/08/como-calcular-a-disponibilidate-de-maquinas-e>

[equipamentos#:~:text=La%20disponibilidad%20de%20una%20m%C3%A1quina%20es%20una%20m%C3%A1trica%20que%20eval%20BAa,el%20mantenimiento%20de%20los%20equipos.](https://www.alsglobal.com/es-co/news/articulos/2020/08/como-calcular-a-disponibilidate-de-maquinas-e)

Mantenimiento (2020) Mantenimiento a Nivel Mundial – [mantenimiento.win](http://mantenimiento.win)

<https://mantenimiento.win/mantenimiento-a-nivel-mundial/>

ALS, R, S. (2019) Mantenimiento preventivo - [www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)

<https://www.alsglobal.com/es-co/news/articulos/2020/05/mantenimiento-preventivo-qu-es-y-cmo-hacerlo>

Reliability, (2021) Definición de las Frecuencias para un Plan de Mantenimiento –

[reliabilityweb.com](http://reliabilityweb.com)

<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento>

Senati, (2004) técnicas de mantenimiento industrial – [senati](http://senati.gob.pe)

[La función mantenimiento en la empresa.](http://senati.gob.pe)

Renovetec, (2019) Manual del jefe de mantenimiento - [mantenimiento.renovetec.com](http://mantenimiento.renovetec.com)

<http://mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento>

Infraspeak, (2021) Mantenimiento Preventivo: Guía Definitiva [2021] -

[blog.infraspeak.com](http://blog.infraspeak.com)

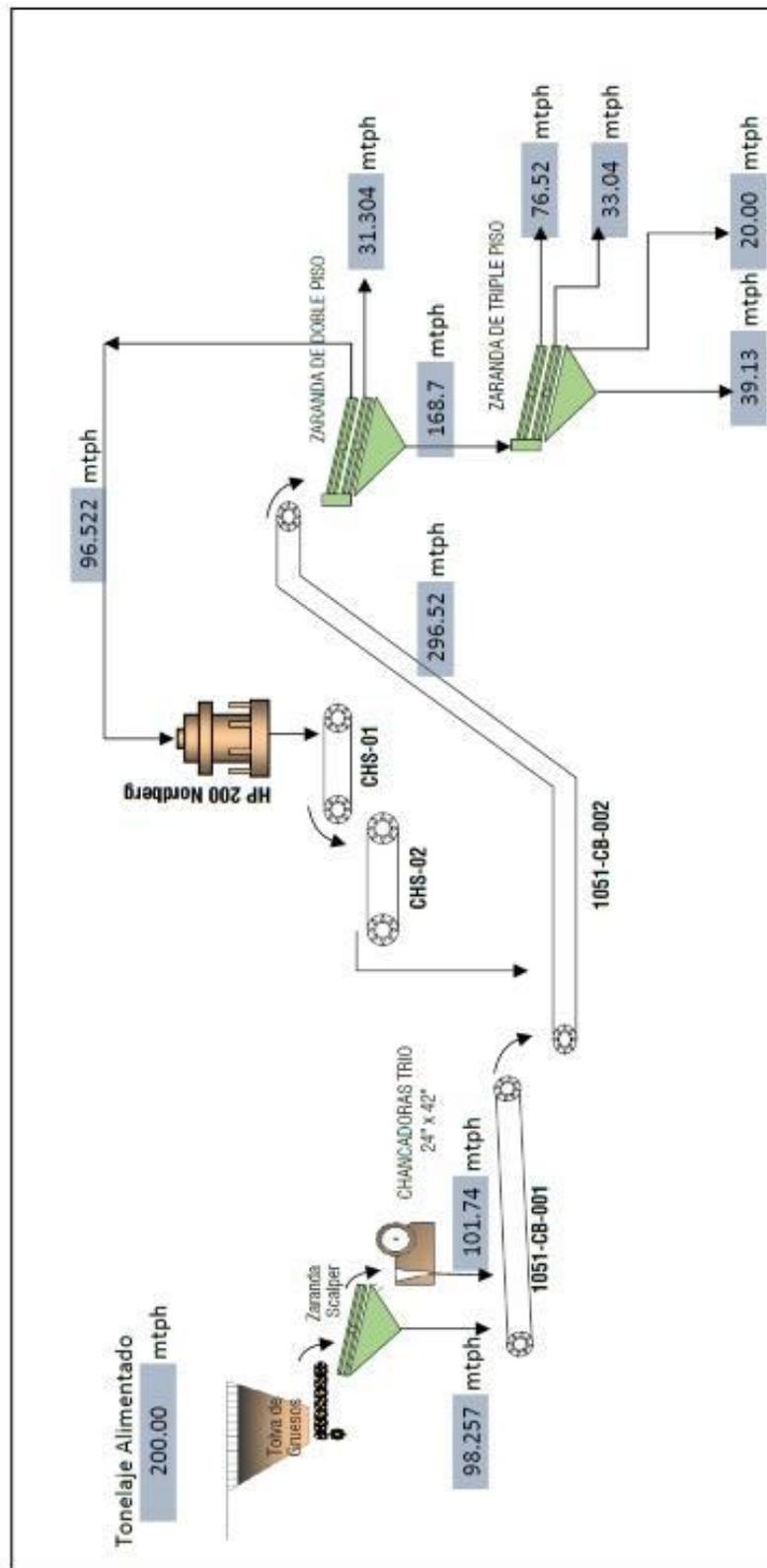
<https://blog.infraspeak.com/es/mantenimiento-preventivo/>

QuestionPro, (2021) ¿Qué es el diagrama de Pareto? - [www.questionpro.com](http://www.questionpro.com)

<https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/>



**ANEXO 2.** Flowsheet resumido de la planta pre concentrado Ore Sorting.



### ANEXO 3. Mantenimiento del tambor de la chancadora cónica HP-200.



**ANEXO 4.** Deterioro de la faja de transmisión del alimentador vibratorio.



### ANEXO 5. Lubricación de las partes móviles.



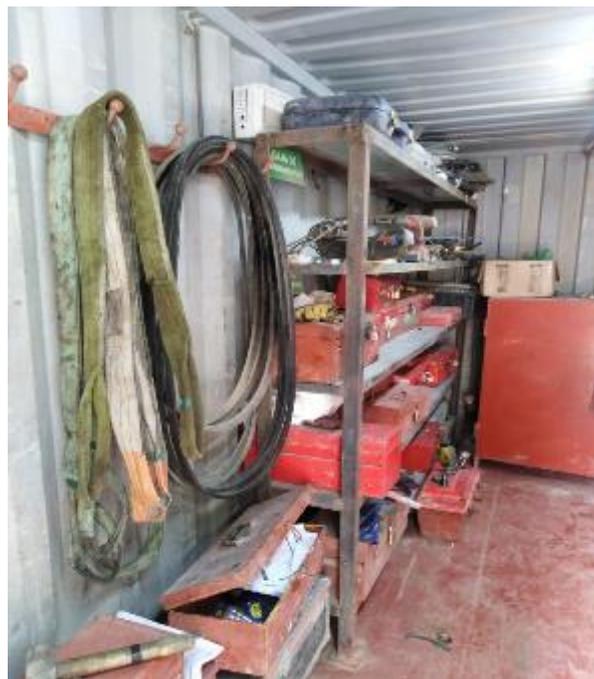
## ANEXO 6. Cambio de aceite.

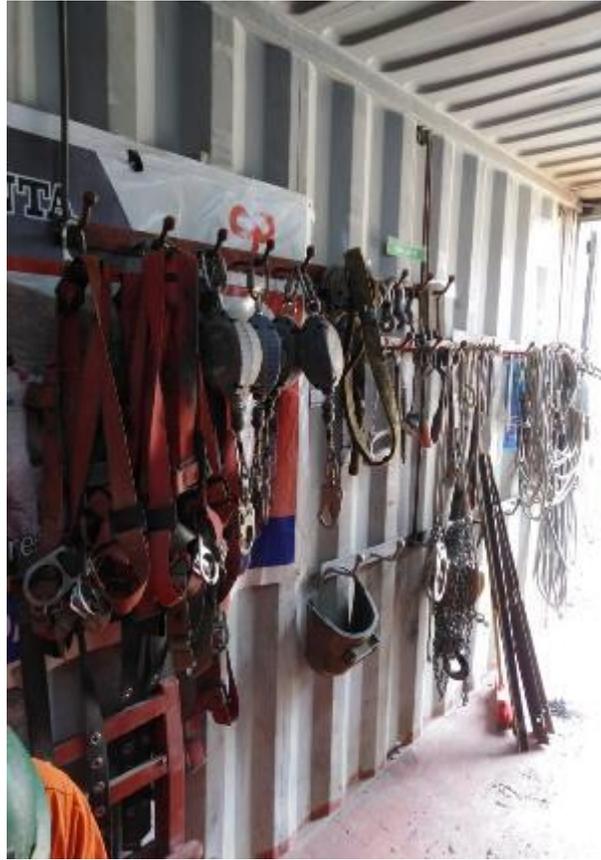


### ANEXO 7. Desgaste de polines de la faja transportadora.



### ANEXO 8. Herramientas del área de mantenimiento.





### ANEXO 9. Cambio del chute de alimentación del Sorter.

