

# UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

PROGRAMA PROFESIONAL DE

INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“OPTIMIZAR LOS PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVOS Y  
RUTINARIOS DE LA GRUA PUENTE DE 200TM EN AREA MILL SITE DE LA  
UNIDAD PRODUCTIVA TOQUEPALA – SOUTHERN PERU COPPER  
CORPORATION 2012 - 2013”.**

Tesis presentado por el Bachiller de  
Ingeniería Industrial:

**BRYAN JOSEHP MOLINA ALFARO**

Para optar el Grado profesional de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

AREQUIPA – PERÚ

2015

## DEDICATORIA:

A Dios todopoderoso por darme el privilegio de vivir y gozar de todas las bendiciones que me ha otorgado, por ser mi guía y mi protector siempre.

A mis padres: por su gran amor y ayuda incondicional.

Ustedes han sido el pilar fundamental en mi vida para mi formación personal y profesional y a mis hermanos la inspiración de conseguir mis metas.

A mis hermanos, tíos y abuelos, que fueron guías de mi crecimiento y enseñanza de vida.



## **AGRADECIMIENTO:**

Por sobre todas las cosas, agradezco a Dios, la oportunidad de vida que me tocó vivir, pues aprendí mucho dándome lo necesario para ser feliz y el impulso para buscar el éxito, poniendo en mi camino a personas indicadas y experiencias de vida, para aprender de ellas.

Agradezco a mis padres, por su esfuerzo incondicional. Tengan por seguro que los frutos de ese esfuerzo serán bien merecidos para ustedes.

Gracias a la UCSM, mi alma mater y cada uno de los docentes que aportaron con sus conocimientos y ayudaron a mi formación profesional.

A mis asesores de tesis que brindaron su apoyo para que tenga éxito este proyecto de tesis.

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, amigos y a mi novia que de una manera u otra hicieron posible alcanzar esta meta.

## INDICE GENERAL

### Contenido

|   |            |
|---|------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                | <b>II</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO: .....</b>            | <b>III</b> |
| <b>INDICE GENERAL.....</b>              | <b>IV</b>  |
| <b>INDICE DE TABLAS.....</b>            | <b>IX</b>  |
| <b>INDICE DE GRAFICAS .....</b>         | <b>XI</b>  |
| <b>INDICE DE FIGURAS .....</b>          | <b>Xi</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                    | <b>XII</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                    | <b>XIV</b> |
| <b>INTRODUCCION .....</b>               | <b>XIV</b> |
| <b>CAPITULO I.....</b>                  | <b>1</b>   |
| <b>PLANTEAMIENTO TEORICO .....</b>      | <b>1</b>   |
| 1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....        | 1          |
| 1.2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....   | 1          |
| 1.3. ALCANCE .....                      | 2          |
| 1.4. OBJETIVOS .....                    | 3          |
| 1.4.1. Objetivo General:.....           | 3          |
| 1.4.2. Objetivos Específicos: .....     | 3          |
| 1.5. HIPOTESIS .....                    | 4          |
| 1.6. TIPO DE INVESTIGACION.....         | 4          |
| 1.7. JUSTIFICACION .....                | 6          |
| 1.7.1. Personal .....                   | 6          |
| 1.7.2. Laboral.....                     | 7          |
| 1.7.3. Económico.....                   | 7          |
| 1.7.4. Tecnología.....                  | 7          |
| 1.8. CAMPO Y AREA DE INVESTIGACION..... | 7          |
| 1.8.1. Variables:.....                  | 8          |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.9. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL: .....  | 8         |
| 1.9.1. Técnicas .....  | 8         |
| 1.9.2. Instrumentos .....  | 8         |
| 1.9.3. Campo De Verificación .....   | 9         |
| 1.9.4. Diseño De Investigación: .....  | 10        |
| 1.9.5. Población y muestra: .....  | 11        |
| 1.9.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....                                  | 12        |
| 1.9.7. Técnicas de análisis de datos:.....   | 14        |
| 1.9.8. Metodología: .....  | 20        |
| <b>CAPITULO II.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....</b>   | <b>21</b> |
| 2.1. ANTECEDENTES: .....   | 21        |
| 2.2. MANTENIMIENTO: .....  | 23        |
| 2.2.1. Objetivos del mantenimiento: .....  | 24        |
| 2.2.2. Tipos de mantenimiento: .....   | 24        |
| 2.2.3. Sistema de mantenimiento: .....   | 27        |
| 2.2.4. Planificación y programación del mantenimiento:.....                                    | 28        |
| 2.2.5. Tipos de planes: .....  | 28        |
| 2.3. ANALISIS DE CRITICIDAD:.....  | 29        |
| 2.3.1. Clasificación de los equipos según su criticidad:.....                                  | 29        |
| 2.3.2. Metodología D.S. Para determinar criticidad: .....                                      | 30        |
| 2.4. PARETO .....  | 33        |
| 2.4.1. Equipo natural de trabajo:.....   | 34        |
| 2.4.2. Contexto Operacional: .....   | 36        |
| 2.4.3. Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado<br>en confiabilidad:..... | 37        |
| 2.4.4. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF): .....                                       | 38        |
| 2.5. TIPOS GRÚAS:.....   | 45        |
| 2.5.1. Puentes grúa: .....   | 45        |
| 2.5.2. Grúas pórtico: .....  | 45        |
| 2.5.3. Grúas ménsula: .....  | 46        |
| 2.5.4. Grúa Semipórtico:.....  | 47        |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.5.5.  | Grúa Ménsula Fija: .....                                 | 48 |
| 2.5.6.  | Grúa de brazo giratorio: .....                           | 49 |
| 2.6.    | COMPONENTES DE LAS GRÚAS:.....                           | 50 |
| 2.6.1.  | Mecanismos de elevación: .....                           | 50 |
| 2.6.2.  | Mecanismos de translación del carro: .....               | 52 |
| 2.6.3.  | Mecanismos de translación del puente:.....               | 52 |
| 2.6.4.  | Camino de rodadura: .....                                | 53 |
| 2.6.5.  | Botonera: .....  | 53 |
| 2.6.6.  | Telemando:.....  | 53 |
| 2.6.7.  | Cabina: .....  | 53 |
| 2.6.8.  | Accesorios o útiles de prensión: .....                   | 53 |
| 2.7.    | PARÁMETROS: .....  | 54 |
| 2.7.1.  | Altura máxima del recorrido del gancho: .....            | 54 |
| 2.7.2.  | Luz:.....  | 54 |
| 2.7.3.  | Distancia entre ejes de la ruedas de los testeros: ..... | 54 |
| 2.7.4.  | Voladizo total: .....                                    | 54 |
| 2.7.5.  | Voladizo útil: .....                                     | 54 |
| 2.7.6.  | Brazo útil:.....   | 55 |
| 2.7.7.  | Brazo total: .....                                       | 55 |
| 2.7.8.  | Carga nominal o máxima: .....                            | 56 |
| 2.7.9.  | Carga útil: .....  | 56 |
| 2.7.10. | Placa de características: .....                          | 56 |
| 2.8.    | OPERACIONES: .....                                       | 56 |
| 2.8.1.  | Montaje de la grúa: .....                                | 56 |
| 2.8.2.  | Puesta en servicio: .....                                | 56 |
| 2.8.3.  | Ensayo estático: .....                                   | 57 |
| 2.8.4.  | Ensayo dinámico: .....                                   | 57 |
| 2.8.5.  | Verificaciones: .....                                    | 57 |
| 2.9.    | PARTES INTERESADAS:.....                                 | 57 |
| 2.9.1.  | Fabricante:.....   | 57 |
| 2.9.2.  | Propietario: .....                                       | 57 |
| 2.9.3.  | Usuario: .....   | 58 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.9.4. Instalador:.....  | 58        |
| 2.9.5. Operador de la grúa:.....   | 58        |
| 2.9.6. Jefe de maniobra:.....  | 58        |
| 2.9.7. Personal del área:.....   | 58        |
| 2.10. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO:.....   | 59        |
| 2.10.1. Riesgos mecánicos:.....  | 59        |
| 2.10.2. Riesgos Eléctricos:.....   | 59        |
| 2.10.3. Riesgos producidos por defectos ergonómicos en el diseño.....                                | 60        |
| 2.10.4. Riesgos producidos por falla de alimentación de energía y otros trastornos funcionales:..... | 60        |
| 2.10.5. Riesgos producidos por la ausencia y/o inadecuación de medidas de seguridad.....             | 60        |
| <b>CAPITULO III.....</b>   | <b>62</b> |
| <b>DIAGNOSTICO SITUACIONAL.....</b>  | <b>62</b> |
| 3.1. ORGANIGRAMA DEL AREA DE MANTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA:.....                       | 63        |
| 3.3. DESCRIPCION DEL AREA DE MANTENIMIENTO, RESPONSABILIDAD Y FUNCIONES:.....                        | 64        |
| 3.4. CONTEXTO OPERACIONAL:.....  | 65        |
| 3.5. NUMERO DE PUENTES GRUA POR AREA OPERATIVA:.....   | 66        |
| 3.6. DESCRIPCION DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL PUENTE GRUA #5 (GRT5):.....              | 67        |
| 3.6.1. Puntos clave del mantenimiento:.....  | 80        |
| 3.6.2. Tareas recomendadas antes de que el puente grúa entre en operación:.....                      | 81        |
| 3.6.3. Inspección de los grúas puente:.....  | 81        |
| 3.7. VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA:.....                                 | 84        |
| 3.8. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE FALLAS:.....  | 84        |
| 4.2. ANALISIS DE PARETO:.....  | 92        |
| 4.3. ANALISIS DE CRITICIDAD.....   | 94        |
| <b>CAPITULO IV.....</b>  | <b>97</b> |
| <b>RESULTADOS.....</b>   | <b>97</b> |
| 4.4. ANALISIS DE PLANES ACTUALES DE MANTENIMIENTO:.....  | 102       |

|   |            |
|---|------------|
| 4.5. ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS: .....                      | 107        |
| 4.6. COSTEO DEL PLAN PROPUESTO SEGÚN INDICADORES:.....                | 125        |
| 4.7. CUADROS COMPRATIVOS DEL SISTEMA ACTUAL VS EL<br>PROPUESTO: ..... | 129        |
| 4.8. ANALISIS ECONOMICO PARA EVALUAR LA PROPUESTA:.....               | 130        |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>   | <b>136</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>138</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>                               | <b>139</b> |



## INDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1.1. Cuadro tipo de investigación .....  | 04  |
| Tabla 1.2. Cuadro de variables e indicadores .....                                   | 08  |
| Tabla 1.3. Preguntas básicas del mantenimiento centrado en confiabilidad .....       | 38  |
| Tabla 3.1. Inventario de grúas en área Mill Site y Talleres – Toquepala .....        | 67  |
| Tabla 3.2. Tareas actuales de mantenimiento GRT5 .....                               | 70  |
| Tabla 3.3. Plan de mantenimiento preventivo anual – Actual.....                      | 72  |
| Tabla 3.4. Tiempo registrado de fallas (Horas) .....                                 | 73  |
| Tabla 3.5. Tiempo promedio entre fallas (Horas) .....                                | 74  |
| Tabla 3.6. Tiempo promedio para reparar .....  | 75  |
| Tabla 3.7. Numero de fallas de la GRT5 – medición: anual .....                       | 76  |
| Tabla 3.8. Costo de Mantenimiento por el número de veces que falló el<br>equipo..... | 77  |
| Tabla 3.9. Tiempo promedio para reparar el equipo - GRT5 – medición:<br>anual.....   | 78  |
| Tabla 3.10 Costo de Mantenimiento por el número de horas con equipo<br>parado .....  | 79  |
| Tabla 3.11. Número de fallas por equipo .....  | 85  |
| Tabla 3.12. Datos del subsistema principal de distribución eléctrica (01). .....     | 88  |
| Tabla 3.13. Datos del subsistema de control de traslación del puente (02) .....      | 88  |
| Tabla 3.14. Datos del subsistema de control del carro cabina (03).....               | 89  |
| Tabla 3.15. Datos del subsistema de traslación puente (04).....                      | 89  |
| Tabla 3.16. Datos del subsistema de traslación carro cabina (05).....                | 90  |
| Tabla 3.17. Datos del subsistema de 04 ganchos principales de 50TM (06). .....       | 90  |
| Tabla 3.18. Datos del subsistema de gancho auxiliar de 5TM (07).....                 | 91  |
| Tabla 3.19. Jerarquización de subsistemas. ....                                      | 92  |
| Tabla 3.20. Cuadro de impacto de la producción de los subsistemas.....               | 96  |
| Tabla 4.1. Guía de criticidad para el modelo de mantenimiento.....                   | 98  |
| Tabla 4.2. Resultados evaluación de criticidad .....                                 | 100 |
| Tabla 4.3. Actividades del mantenimiento actual .....                                | 104 |
| Tabla 4.4. Formato de AMEF .....   | 107 |
| Tabla 4.5. Índice de Severidad.....  | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 4.6. Índice de detección.....   | 111 |
| Tabla 4.7. Evaluación de ocurrencia subsistemas de ganchos principales de<br>50 TM .....                            | 114 |
| Tabla 4.8.Evaluación de severidad subsistemas de ganchos principales de<br>50 TM. ....                              | 115 |
| Tabla 4.9.Evaluación de detección del subsistema de ganchos principales de<br>50 TM. ....                           | 116 |
| Tabla 4.10. Índice de prioridad de riesgo del subsistema de ganchos<br>principales de 50 TM .....                   | 117 |
| Tabla 4.11. Ajuste, acciones correctivas y/o preventivas para el subsistema<br>de ganchos principales de 50 TM..... | 118 |
| Tabla 4.12. Formato AMEF – propuesta del análisis.....  | 120 |
| Tabla 4.13. Plan anual propuesto de Mantenimiento Rutinario .....   | 121 |
| Tabla 4.14. Plan de actividades de Mantenimiento propuesto. ....  | 122 |
| Tabla 4.15. Diagrama Gantt de Mantenimiento Propuesto .....   | 123 |
| Tabla 4.16. Numero de fallas del sistema propuesto. ....  | 125 |
| Tabla 4.17. Costo parcial y total por el número de fallas – propuesta.....  | 126 |
| Tabla 4.18. Tiempo promedio para reparar – propuesta. ....  | 127 |
| Tabla 4.19. Costo parcial y total del tiempo promedio de equipo parado –<br>propuesta.....                          | 128 |
| Tabla 4.20. Cuadro resumen de indicadores.....  | 129 |
| Tabla 4.21. Flujo de caja – Costo por el número de veces que falló el equipo<br>– ACTUAL. ....                      | 130 |
| Tabla 4.22. Flujo de caja – Costo por el número de veces que falló el equipo<br>– PROPUESTA. ....                   | 131 |
| Tabla 4.23. Flujo de caja – Costo por el número de horas de equipo parado –<br>ACTUAL .....                         | 133 |
| Tabla 4.24. Flujo de caja – Costo por el número de horas de equipo parado<br>– PROPUESTA .....                      | 134 |

## INDICE DE GRAFICAS

|   |     |
|---|-----|
| Grafica 1. Incidencia de fallas del sistema de grúas del área Mill Site ..... | 86  |
| Grafica 2. Análisis diagrama de Pareto – sistema de puente grúa GRT5 .....    | 93  |
| Grafica 3. Análisis de criticidad – sistema de puente grúa GRT5.....          | 101 |
| Grafica 4. Distribución de criticidad – subsistema del puente grúa GRT5.....  | 102 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 1.1. Evolución del mantenimiento. ....   | 23  |
| Fig. 2.1. Tipos de Mantenimiento .....  | 25  |
| Fig. 2.2. Matriz de criticidad de la metodología D.S. ....  | 30  |
| Fig. 2.3. Distribución de las horas de mantenimiento.....   | 32  |
| Fig. 2.4. Representación típica de un equipo de trabajo de MCC. ....                                    | 36  |
| Fig. 2.5. Grúa Puente – NTP737 y NTP738 .....   | 46  |
| Fig. 2.6. Grúa ménsula – NTP737 y NTP738.....   | 47  |
| Fig. 2.7. Grúa Semipórtico – NTP737 y NTP738.....   | 48  |
| Fig. 2.8. Grúa ménsula – NTP737 y NTP738.....   | 49  |
| Fig. 2.9. Grúa de brazo giratorio – NTP737 y NTP738.....  | 50  |
| Fig. 2.10 Motor del tambor de cable acerado – NTP737 y NTP738.....                                      | 51  |
| Fig. 2.10. Motor de las ruedas de traslación longitudinal – NTP737 y NTP738 ..                          | 51  |
| Fig. 2.11. Referencia fotográfica (Vista desde abajo) GRT5 de 200TM 04<br>ganchos de 50TM cada uno..... | 52  |
| Fig. 2.12 - (1): Altura máxima de recorrido del gancho - NTP737 y NTP738 .....                          | 55  |
| Fig. 2.12 - (2): Luz - NTP737 y NTP738 .....  | 55  |
| Fig. 2.12 - (3): Voladizo Total - NTP737 y NTP738.....  | 55  |
| Fig. 2.12 - (4): Voladizo Útil - NTP737 y NTP738.....   | 55  |
| Fig. 3.1. Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento de Planta.....                                    | 63  |
| Fig. 4.1. Diagramas Gantt Plan de Mantenimiento Actual.....   | 105 |
| Fig. 4.2. Diagrama CPM del mantenimiento actual .....   | 106 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado con el objetivo de diseñar un plan de mantenimiento preventivo y rutinario para el equipo más crítico del área de molinos.

Se considera crítico e importante porque su déficit en el funcionamiento haría que el molino o carga que esté trasladando caiga y sucedan eventos de daño personal, material o al proceso. Y por otro lado afectaría la producción por ende la rentabilidad; es por ello que se diseña el plan de mantenimiento, porque dada la praxis se obtuvo resultados óptimos.

Se emplean herramientas estadísticas y de análisis que permiten ratificar el equipo y sus componentes o subsistemas que presentan mayores incidencias.

Posterior a ello se propone el plan, las frecuencias y los recursos a utilizar para cada mantenimiento, a su vez se justifican con la evaluación económica optar por el plan propuesto.

Con el cumplimiento de ello, se estaría asegurando la disponibilidad, seguridad; reduciendo la cantidad de fallas, costos y optimizar el tiempo medio para reparar (inoperatividad).

## ABSTRACT

The Present Research Project was conducted with the objective of designing the preventive plan maintenance and routine to equipment more critical area mills.

Because its deficit OPERATION That Would Be That mill moving falling and personal events happen damage, material or process is considered critical and important. On the Other Hand affect production therefore PROFITABILITY; that is why the maintenance plan is Design, given the praxis for optimal results were obtained.

Statistics and Analysis Tools they allow ratify the computer and its components or subsystems posing major incidents are employed.

This post is proposes plan, frequencies and Resources Maintenance Each used for justified by the economic evaluation choice do for proposed plan.

With Compliance wave, it would be ensuring the availability, security; reducing the number of failures, costs and optimize halftime to Repair (inoperative).



## INTRODUCCION

A fines de 1937, Don Juan Oviedo Villegas de Arequipa, denunció la zona central de Toquepala, cuyas concesiones vendió más tarde a la Northern Peru Mining and Smelting Company, subsidiaria en el Perú de la American Smelting and Refining Company, de New Jersey.

Poco tiempo después, se iniciaron los trabajos de explotación del yacimiento de Toquepala por medio de perforación diamantina y percusión, continuándose dichos trabajos hasta fines de 1952. Se sabe que durante ese periodo, se realizó algún trabajo subterráneo.

En esos años también se instaló en Toquepala una planta piloto de concentración con capacidad de 50 toneladas diarias, al que se utilizó durante un año para experimentar la mejor forma de concentrar los diversos tipos de mineral obtenidos en las labores de perforación.

Eran los tiempos de la exploración. Los resultados de esos trabajos de exploración pusieron en evidencia la existencia aproximada de 400 millones de toneladas de mineral con una ley ligeramente superior al 1% de cobre. También se determinó la presencia de molibdeno en pequeñas cantidades y de otros metales.

En 1952, comenzaron los trabajos de ingeniería, preliminares al proyecto de explotación, que fue confeccionándose en 1955 sobre la base de un programa de explotación minera a tajo abierto con una planta de concentración con capacidad de 30 mil toneladas diarias.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO TEORICO

#### **1.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

“OPTIMIZAR LOS PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVOS Y RUTINARIOS DE LA GRUA PUENTE DE 200TM EN AREA MILL SITE DE LA UNIDAD PRODUCTIVA TOQUEPALA – SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION 2012 - 2013”.

#### **1.2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA**

Para realizar operaciones satisfactorias en el área de Concentradora, se cuentan con 05 puentes grúa de la marca Shaw Box, las cuales tienen una capacidad 20, 10, 48 y 200/5 Toneladas, para el carguío y alimentación de barras a los molinos y para el cambio de molinos de bolas respectivamente.

Con un tiempo de funcionamiento de 50 años aproximadamente, estos grandes equipos, son utilizados en el cambio y/o alimentación de barras y cambio de molinos de gran capacidad.

Estas grúas están destinadas a cumplir tan importantes acciones y se les realizan labores de mantenimiento planificados (rutinarios y preventivos) para garantizar su operatividad. No obstante en los últimos años se han venido reportando en el sistema integral de

mantenimiento, una secuencia de fallas de alto potencial e impacto en la disponibilidad de estas grúas; siendo esto contradictorio con el cumplimiento de planes de mantenimiento rutinarios y preventivos realizados por personal de mantenimiento.

Es por ello que se ve en la necesidad de evaluar y proponer el diseño de un plan de mantenimiento de rutina y preventivo basado en el mantenimiento preventivo, por medio del cual se estudiaran las fallas presentadas en las mismas mediante un monitoreo de su funcionamiento; así mismo permitirá aumentar la disponibilidad y confiabilidad de mantenimiento asociados a estos equipos para de esa manera garantizar el proceso productivo en el área.

### **1.3. ALCANCE**

La siguiente investigación contempla la optimización de los planes de mantenimiento preventivos y rutinarios de la grúa puente de 200TM – Concentradora – Toquepala, a través de la evaluación de cada una de las actividades a ejecutar a fin de proponer un nuevo plan de mantenimiento, enfocado en la experiencia y las fallas funcionales asociadas a los subsistemas que conforman las grúas puente de la concentradora.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo General:

Optimizar los planes de mantenimiento preventivos y rutinarios de la grúa puente de 200TM en área Mill Site de la U.P. Toquepala – Southern Peru Copper Corporation.

### 1.4.2. Objetivos Específicos:

- a) Realizar un diagnóstico general de los puentes grúa existentes en el área, con el fin de evidenciar cuál de ellos presenta mayor número de fallas por año.
- b) Identificar cual es el componente más crítico de la grúa puente y realizar su evaluación mediante el Análisis de Modos y Efecto de Fallas.
- c) Realizar un diagrama Diagrama – CPM del plan de mantenimiento actual versus el plan de mantenimiento propuesto, a fin de identificar la mejora en la ruta crítica.
- d) Evaluar económicamente la viabilidad del plan de mantenimiento propuesto utilizando el VAN.
- e) Demostrar con los indicadores de gestión la mejora propuesta en el plan de mantenimiento.

### 1.5. HIPOTESIS

Es factible que la optimización de los planes de mantenimiento preventivos y rutinarios de la grúa puente de 200 TM permita mejorar los indicadores de gestión del mantenimiento.

### 1.6. TIPO DE INVESTIGACION<sup>1</sup>

**Tabla 1.1. Cuadro tipo de investigación**

|                        |  |               |
|------------------------|--|---------------|
| <b>TIPO DE ESTUDIO</b> | Por la técnica de recolección                | Observacional |
|                        | Por el tipo de dato que se planifica recoger | Prospectiva   |
|                        | Por el número de mediciones de la variable   | Transversal   |
|                        | Por el número de muestra o población         | Descriptiva   |
|                        | Por el ámbito de recolección                 | De campo      |
| <b>DISEÑO</b>          |  | Descriptivo   |
| <b>NIVEL</b>           |  | Descriptiva   |

Fuente: Elaboración propia

<sup>1</sup> Hernández Sampieri, Roberto. Metodología de la investigación. México, Graw Hill, Julio 2007, P.122

El tipo de investigación es descriptivo, pues se describen las propiedades particulares del proceso de mantenimiento. Además podemos medir, evaluar o recolectar datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

La investigación presenta varios enfoques de acuerdo a sus características, lográndose definir según los siguientes tipos:

**f) Según el nivel de profundidad:**

- Investigación Documental: la información obtenida de los puentes grúa es para el sustento de dicho estudio. Se basa en la recopilación teórica y manuales del equipo, obtenidos de la biblioteca del departamento de mantenimiento. Al respecto, *Cázares, Christen, Jaramillo, Villaseñor y Zamudio (2000)* explica que:

*“La investigación documental depende fundamentalmente de la información que se arroje o consulte en documentos, entendiéndose en este término, en sentido amplio, como todo material de índole permanente, es decir al que se pueda acudir como fuente o referencia en cualquier momento o lugar, sin que se altere su naturaleza o sentido, para que aporte información o rinda cuentas de una realidad o acontecimiento”<sup>2</sup> (p. 18).*

---

<sup>2</sup>Cázares, Christen, Jaramillo, Villaseñor y Zamudio, (2000) (p.18)

**g) Según el propósito:**

- Investigación aplicada: la búsqueda de información se presenta como una herramienta para la toma de decisión, con el fin de satisfacer la necesidad del departamento y la empresa. Al respecto *Tamayo y Tamayo (2001)* comentan:

*“La investigación aplicada, movida por el espíritu de la investigación fundamental, ha enfocado la atención sobre la solución teoría. Se refiere a los resultados inmediatos y se halla interesada en el perfeccionamiento del individuo implicado en el proceso de la investigación”<sup>3</sup>(p.43)*

## **1.7. JUSTIFICACION**

La justificación a este problema es optimizar el plan de mantenimiento preventivo y rutinario dadas las condiciones del equipo. Como consecuencia de esta primera implementación obtendremos la operatividad y confiabilidad que se requiere para su utilización.

### **1.7.1. Personal**

Mitigar, reducir y controlar este problema latente de la falta de un plan de mantenimiento, en este caso, centrado en la confiabilidad.

---

<sup>3</sup>*Tamayo y Tamayo (2001), (p.43)*

### **1.7.2. Laboral**

Ayudará en las operaciones y en la producción, pues se tendrá su disponibilidad en un total porcentaje de operatividad y confiabilidad.

### **1.7.3. Económico**

Este plan de mantenimiento, ayudara económicamente pues se tendrá información de repuestos y piezas para comprar en lotes económicos. Se romperá con ese costo oculto del mantenimiento. A su vez nos ayudara a disponer mejor del recurso humano para sus mantenimientos, no se incurrirá en tareas correctivas post jornal de trabajo la cual ameritan un costo extra de la mano de obra.

### **1.7.4. Tecnología**

Una vez que se haga el mantenimiento se podrá evaluar la opción de automatizar las grúas puente, dado que ya se conoce sus características técnicas y de operatividad.

## **1.8. CAMPO Y AREA DE INVESTIGACION**

Esta investigación se ubica en el Campo de Ingeniería Industrial, en el área de Mantenimiento, en la especialidad de Mantenimiento Preventivo.

### 1.8.1. Variables:

**Tabla 1.2. Cuadro de variables e indicadores**

| TIPO DE VARIABLE       | VARIABLE  | INDICADORES                     |
|------------------------|---|---------------------------------|
| Variable Dependiente   | Disponibilidad, operatividad.                                 | - MTBF<br>- MTRR                |
| Variable Independiente | Optimizar los planes de mantenimiento preventivo y rutinario. | - Frecuencias de mantenimiento. |

Fuente: Elaboración Propia

## 1.9. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL:

### 1.9.1. Técnicas

- ✓ Observación documental (propias de gestión de mantenimiento)
- ✓ Observación de campo por parte de personal técnico.

### 1.9.2. Instrumentos

- ✓ Hoja de toma de datos anual.
- ✓ Hoja de mantenimientos realizados a los equipo.
- ✓ Hoja de check list de mantenimientos realizados in situ.

### 1.9.3. Campo De Verificación

#### ❖ **Ámbito Geográfico**

Las grúas puente, corresponden al área de Mill Site en la Unidad Minera Productiva Toquepala de Southern Perú Copper Corporation, Distrito de Ilabaya provincia de Jorge Basadre Departamento de Tacna – Perú.

#### ❖ **Unidad De Estudio**

- ✓ La observación documental será retroalimentada de las hojas técnicas de mantenimiento, elaboradas con tareas para cada componente.
- ✓ La observación de campo, será teniendo las hojas técnicas en mención para realizar un check list y verificación de la realización efectiva de la tarea, posteriormente plasmarlas en la hoja de frecuencias.

#### ❖ **Temporalidad**

El estudio se realizó en 02 semestres, compuesto del segundo semestre del 2012 y el primer semestre del 2013.

#### 1.9.4. Diseño De Investigación:

##### ❖ Diseño no experimental – transversal:

Conocida también como investigación Expost Facto, término que proviene del latín y significa “después de ocurridos los hechos”. Lo que se hace en el diseño no experimental es, observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. De acuerdo como *Kerlinger (1979)* señala que:

*“La investigación no experimental o expost facto, es cualquier investigación en la que resulta imposible manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o las condiciones”<sup>4</sup>*  
(p.116)

La investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo. En estos casos el diseño apropiado (bajo un enfoque no experimental) es el transversal.

Los aspectos de la problemática planteada se analizaron a través del desarrollo de un diagnóstico de la situación actual.

---

<sup>4</sup>*Kerlinger (1979) (p.116)*

#### ❖ Investigación de campo:

Se considera de campo, porque la investigación se realizó en el lugar de los hechos, es decir donde ocurren los fenómenos estudiados. Para la obtención de datos es necesario investigar directamente el estado de las grúa puente de marca Shaw Box del área Mill Site – Concentradora y solicitar información al personal que labora en el área. Cázares, Christen, Jaramillo, Villaseñor y Zamudio (2000) señalan que:

*“La investigación de campo es aquella en que el mismo objeto de estudio sirve como fuente de información para el investigador. Consiste en la observación directa y en vivo de cosas, comportamiento de personas, circunstancias en que ocurren ciertos hechos, por ese motivo la naturaleza de las fuentes determina la manera de obtener los datos”<sup>5</sup> (p.18).*

#### 1.9.5. Población y muestra:

Para el desarrollo de la investigación y el logro de los objetivos, la población de estudio será constituida por el sistema de puentes grúa Shaw Box en el área de Molinos Sur y Norte (Mill Site), esta población o universo estará conformado por cinco (05) puentes grúa con el siguiente código de equipo: GRT5, GRT6, GRT7, GRT8, GRT24.

De manera que las características de la población son pequeña y finita, y en vista que son estructuras mecánicas que funcionan de

---

<sup>5</sup>Cázares, Christen, Jaramillo, Villaseñor y Zamudio (2000) (p.18)

igual manera se tomará como unidad de estudio y muestra al sistema de grúa GRT5, la cual fue la que presento mayor incidencia de fallas en el periodo estudiado.

#### 1.9.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Dentro de los recursos más efectivos con los que cuenta un investigador están las técnicas e instrumentos de recolección de datos, de las cuales se vale para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información necesaria para el desarrollo de la investigación o estudio. Para enfatizar esto, Páez (2002) dice:

*“Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso que emplea el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información necesaria”<sup>6</sup> (p.123).*

Las técnicas empleadas para la recolección de datos, son las siguientes:

- Observación directa:

Es la más común de las técnicas de investigación. Mario Tamayo (2002) la define como:

*“aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”<sup>7</sup> (p.183).*

A través de esta técnica se adquirió, toda la información relacionada con las características funcionales del sistema, a través de una

---

<sup>6</sup>Páez (2002) (p.123)

<sup>7</sup>Mario Tamayo (2002) (p.183)

observación por parte del investigador y el cuerpo técnico de todos los aspectos que lo conforman y las fallas que fueron presentando.

- Formatos de reporte de fallas:

Fueron realizadas por las personas que se encuentran dentro del proceso en estudio, es decir, sujetos expertos y con amplios conocimientos sobre las labores para poder desarrollar a total cabalidad, el diseño de este modelo de mantenimiento. Todo esto se empleó como una medida para obtener información exacta referente a las etapas de la investigación, las cuales por su manera de estar expuesta permitieron ser analizados de forma muy precisa y plasmarlos en el resumen de frecuencia de fallas.

Éste último nos servirá para obtener los indicadores de mantenimiento.

- Revisión documental:

Esta técnica consiste en recopilar información relacionada con la investigación, con el propósito de profundizar en el tema, para ello se procedió a realizar una revisión y extracción de datos a partir de: estándares de procesos de mantenimiento, prácticas de trabajo seguras para el mantenimiento, manuales y planes de mantenimiento internos de SPCC.

- Paquetes computarizados:

Para el desarrollo de esta investigación se empleó el uso de los paquetes de computación de MS Office y posteriormente el uso de Internet Explorer para la concienzuda búsqueda de información y su posterior manejo.

#### 1.9.7. Técnicas de análisis de datos:

- **Diagrama de Pareto:**

Es una herramienta que empleada en nuestro caso, demuestra durante un periodo de tiempo determinado el equipo o componente con mayor número de falla, lo que facilita el conocimiento y comportamiento de falla del sistema en estudio y a cual componente se debe analizar y monitorear con prioridad si lo que se requiere es garantizar la operatividad y disponibilidad del sistema. No obstante, la gráfica de Pareto, facilita las decisiones ya que permite jerarquías y prioridades del sistema en estudio.

- **Análisis de criticidad:**

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipo, en función de su impacto global con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Esta técnica se utilizó para estudiar las fallas críticas de los subsistemas que componen las grúas, el empleo de esta herramienta sirve para detallar.

El objetivo de análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de los procesos, sistemas y equipos de una planta, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.<sup>8</sup>

- **Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF):**

Es un proceso sistemático, continuo y permanente, cuyo objetivo es recomendar las acciones a tomar durante el diseño, la manufactura o la operaciones para reducir riesgos, los costos asociados e incrementar la satisfacción del cliente.<sup>9</sup>

Puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- ✓ Reconocer y evaluar los modos de fallos potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- ✓ Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.

---

<sup>8</sup>Huerta Mendoza (2001)

<sup>9</sup>Crespo (2006)

- ✓ Identificar las acciones que podrían eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- ✓ Analizar la confiabilidad del sistema.
- ✓ Documentar el proceso.

- **Diagrama Gantt / CPM:**

Las técnicas de planificación se ocupan de estructurar las tareas a realizar dentro del plan de mantenimiento, definiendo la duración y el orden de ejecución de las mismas, mientras que las técnicas de programación tratan de ordenar las actividades de forma que se puedan identificar las relaciones temporales lógicas entre ellas, determinando el calendario o los instantes de tiempo en que debe realizarse cada una. La programación debe ser coherente con los objetivos perseguidos y respetar las restricciones existentes.

La programación consiste por lo tanto en fijar, de modo aproximado, los instantes de inicio y terminación de cada actividad. Algunas actividades pueden tener holgura y otras son las actividades críticas (fijas en el tiempo).

Como resultado se va disponer de un diagrama de tiempos, conocer las actividades críticas y determinar la necesidad de recursos.

- **Valor Actual Neto ( VAN):**

La forma más segura para determinar si un proyecto daría un retorno positivo es calcular el valor presente neto. Es el valor

presente (en dinero de hoy) del flujo de caja menos la inversión inicial del proyecto. Evaluado a una tasa de descuento, que la empresa debe fijar para sus proyectos de inversión, si el VAN es mayor que cero indica que el proyecto debe ser aceptado, si es negativo indica que el proyecto debe ser rechazado y si es igual a cero se está en la indiferencia y la decisión final deberá ser tomada en base a un análisis de condicionantes cualitativas.

El VAN se expresa como:

$$VNP = \frac{VF_1}{(1+I)^1} + \frac{VF_2}{(1+I)^2} + \frac{VF_3}{(1+I)^3} + \dots + \frac{VF_n}{(1+I)^n} - I_0$$

DONDE:  $I_0$ : representa la inversión inicial del proyecto, VF: representa los ingresos netos futuros para cada año de vida útil del proyecto,  $i$  es la tasa de retorno exigida al proyecto. La tasa de retorno puede ser la tasa que da el mercado financiero para una inversión sin riesgo o bien es la tasa que la empresa exige a sus proyectos para que estos sean atractivos como alternativa de inversión.

El origen de los proyectos de mejoramiento en el área del mantenimiento se deben a diferentes causas, que se pueden manifestar como:

- Producción defectuosa (productos rechazados y reprocesados)

- Baja disponibilidad (producción perdida por fallas imprevistas, por tiempos de preparación excesivos)
- Baja productividad (tasa de producción disminuida)
- Baja mantenibilidad (tiempos de ejecución notablemente altos)
- Alta accidentabilidad (numerosas fallas que desembocan en accidentes personales y/o ambientales)
- Exceso de inventarios de repuestos, partes, equipamientos y productos intermedios en las líneas de producción.
- Pago de servicios a terceros por mantenciones extraordinarias.
- Pérdida de beneficios por no entregar a tiempo la producción comprometida o con defectos en la calidad.
- Pérdida por deterioración acelerada de equipamientos.

La evaluación de los beneficios de la mejora e innovación del mantenimiento se hace a través de los impactos que eso produce. Entre ellos se evalúan aspectos tales como:

- Aumento de la producción por reducción de la producción defectuosa.
- Aumento de la producción por mayor disponibilidad de los equipamientos.
- Aumento de la producción por mayor productividad
- Disminución de los inventarios de repuesto, partes equipamientos en bodega.

- Reducción de los inventarios de productos intermedios en las líneas de producción (batch sizes).
  - Beneficios por mayor vida útil de los equipamientos y disminución de servicios extraordinarios.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):**

La tasa interna de retorno es una técnica alternativa usada en el proceso de decisión de inversión de capitales que también toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo. La tasa interna de retorno representa el interés, el verdadero interés ganado por la inversión durante el periodo de vida económico del proyecto. Alternativamente, el TIR puede ser descrito como el costo máximo del capital que puede ser aplicado para financiar el proyecto sin que se causen perjuicios a los inversionistas.

La tasa interna de retorno se calcula mediante:

$$I_0 = \frac{VF_1}{1+K} + \frac{VF_2}{(1+K)^2} + \frac{VF_3}{(1+K)^3} + \dots + \frac{VF_n}{(1+K)^n} -$$

DONDE: "K" es la tasa interna de retorno.

El valor de obtenido de K se compara con la tasa de interés para una inversión sin riesgo o con la tasa interés fijada por la empresa, y si es mayor que ésta, indica que la inversión es rentable.

### 1.9.8. Metodología:

Estará planteada por las diferentes etapas, las cuales están de acuerdo a:

- **Capítulo I:** Se define el problema de investigación, los objetivos del estudio, así como también el alcance y justificación de la misma.
- **Capítulo II:** Se muestra la descripción de la empresa, las bases teóricas que sustentan y que sirven de soporte para el desarrollo de la investigación.
- **Capítulo III:** En este capítulo se observa la metodología empleada. Se aprecia el tipo de investigación, diseño de investigación, la población y muestra, técnica de recolección de datos, procedimiento metodológico y análisis situacional en la que se encuentra el equipo de estudio.
- **Capítulo IV:** Se presenta los resultados que surgieron de la investigación, la propuesta, viabilidad y toda la información necesaria para poder alcanzar el objetivo del estudio.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO CONCEPTUAL

#### **2.1. ANTECEDENTES:**

La metodología del mantenimiento preventivo ha causado aceptación y vigencia dentro del área de mantenimiento, por lo que actualmente es comúnmente utilizado. Pero con tendencia a ir mejorando metodologías que ayuden a un a mejor prevención de los equipos.

Entre las referencias encontradas tenemos las siguientes:

- ✓ En el año 2011, Aguilar Gascón A. realizo la optimización de los planes de mantenimiento preventivos y rutinarios de las grúas NKM de hornos de cocción de CVG VENALUM.
- ✓ En el año 2007, Calderón W. estableció las tareas de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo Jusepin PDVSA mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Los resultados más resaltantes fueron los siguientes: Para las bombas principales 29 tareas de reacondicionamiento cíclico, 23 tareas a condición, 7 actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 2 tareas de sustitución cíclica y para las Bombas Booster 13 tareas de reacondicionamiento cíclico, 12 tareas a condición, 6

actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 1 tarea de sustitución.

- ✓ En 2012, Suarez D., Explicita la metodología para determinar la criticidad de los equipos considerando el método de criterios ponderados. Universidad de Oriente. (2012).
- ✓ En 2007, Torres R., definió las estrategias para el mejoramiento del plan de mantenimiento de las bombas de doble tornillo ubicadas en Terminal Orimulsión. Las conclusiones que causaron mayor impacto son las siguientes: el sistema de lubricación de las bombas es el mayor causante de fallas en las mismas y acumula el 52% de las fallas totales en el periodo de estudio y el programa de mantenimiento propuesto presenta un 68% de actividades preventivas y 32% de actividades correctivas.

También tenemos la guía técnica del “Centro Nacional de Condiciones de Trabajo” – Grupo de trabajo FEM-AEM:

Esta NTP explicita las condiciones para una utilización segura de las grúas puente y otros tipos de grúa afines. Junto con las normas NTP 737 y 738, actualizan y sustituyen a la NTP 253-89.

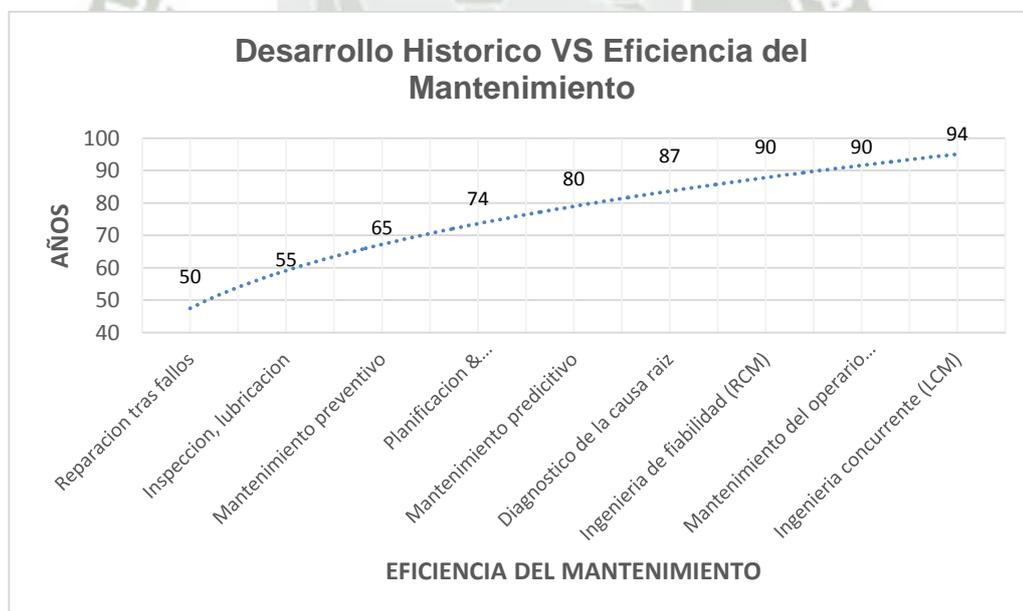
Estas normas describen brevemente, los tipos, características, parámetros, operaciones y partes interesadas relativas a estas grúas, explicitar los riesgos principales, exponer los dispositivos de seguridad exigibles y las medidas de prevención en diseño, montaje, utilización y mantenimiento.

## 2.2. MANTENIMIENTO:

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o conexión en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde.<sup>10</sup>

El mantenimiento a lo largo de los años ha ido evolucionando (ver figura 1) de acuerdo al desarrollo industrial, es por ello que su filosofía ha ido cambiando buscando como objetivo principal el manejo eficiente de los recursos que intervienen en el mismo. En los años 50 era una práctica común esperar a que el equipo fallase para después repararlo lo que hoy se conoce como “apaga incendios”. En general, la dirección consideraba el mantenimiento como un costo necesario a la hora de hacer negocios.

**Figura 1.** Evolución del mantenimiento.



*Fuente: SKF, Guía para la optimización de eficiencia de activos (AEO) para una mayor rentabilidad.*

<sup>10</sup>SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico” (2001).

### 2.2.1. Objetivos del mantenimiento:

- ✓ Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- ✓ Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- ✓ Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- ✓ Cumplir con todas las normas de seguridad.
- ✓ Maximizar el beneficio global.<sup>11</sup>

### 2.2.2. Tipos de mantenimiento:

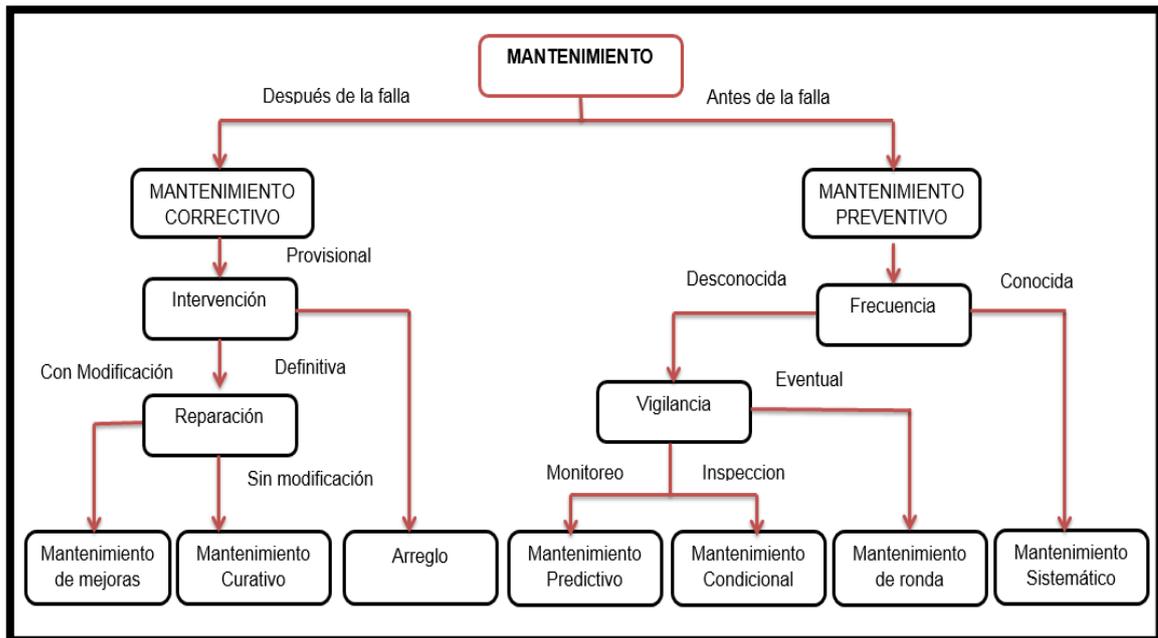
Existen diferentes tipos de mantenimiento, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento preventivo y correctivo. Se muestra los tipos de mantenimiento.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup>SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, (2001)

<sup>12</sup>SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, (2001)

**Figura 2.1.** Tipos de Mantenimiento



*Fuente: Ing. Diógenes Suarez “Guía Teórico Practico Mantenimiento Mecánico” (2001).*

### 2.2.2.1. Mantenimiento preventivo:

Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo a recomendación del fabricante, las condiciones operacionales y el historial de falla del equipo. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- ✓ Disminución de los paros imprevistos y no deseados, menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.
- ✓ Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.
- ✓ Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con personal calificado y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal.
- ✓ Mayor disponibilidad del equipo, por tanto mayor control de calidad.

#### **2.2.2.2.1. Tipos de mantenimiento preventivo:**

- ✓ **Mantenimiento Sistemático:**

Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas).

- ✓ **Mantenimiento de ronda:**

Es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo de forma muy frecuente y estable, se basa en el principio de que mejor atendida este la máquina, genera menor cantidad de problemas.

- ✓ **Mantenimiento condicional:**

Son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante diagnóstico de sus condiciones.

✓ **Mantenimiento predictivo:**

Consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad.

**2.2.3. Sistema de mantenimiento:**

Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El sistema puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

Los sistemas de mantenimiento también contribuyen en el logro de las metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente y/o usuario. Estas se logran reduciendo el mínimo de tiempo muerto del equipo, mejorando la utilidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los usuarios/clientes.

El objetivo del mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- ❖ Garantía de la disponibilidad y confiabilidad planeada.
- ❖ Satisfacción de todos los requisitos de calidad.
- ❖ Adecuada disponibilidad de equipos al menor costo posible.

#### 2.2.4. Planificación y programación del mantenimiento:

Es el diseño de programa de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocida, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir las metas de producción y seguridad preestablecidas por la organización.

El inicio del mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.<sup>13</sup>

#### 2.2.5. Tipos de planes:

El proceso de planificación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo del horizonte de la planificación. Los cuales son:

- a) Planes a largo plazo..... cubre un periodo de hasta 5 años.
- b) Planes a mediano plazo..... cubre un periodo de 1 año.
- c) Planes a corto plazo..... corresponde a los planes diarios y semanales.

---

<sup>13</sup>MONTAÑO M, Luis, "Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Sistema de Gas, Complejo Santa Rosa, PDVSA-GAS, Distrito Social Anaco". (2007)

### 2.3. ANALISIS DE CRITICIDAD:

El análisis de criticidad permite establecer niveles jerárquicos en procesos, sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que se generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. También es el análisis de confiabilidad que establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgándoles un valor numérico o un estatus, en función de ciertos factores a tomar en cuenta.

El análisis se orienta a través de tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario conformado por la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, con la finalidad de unificar criterios y validar la información.<sup>14</sup>

#### 2.3.1. Clasificación de los equipos según su criticidad:

Los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en categorías:

- a) No critico
- b) Semi – critico
- c) Critico

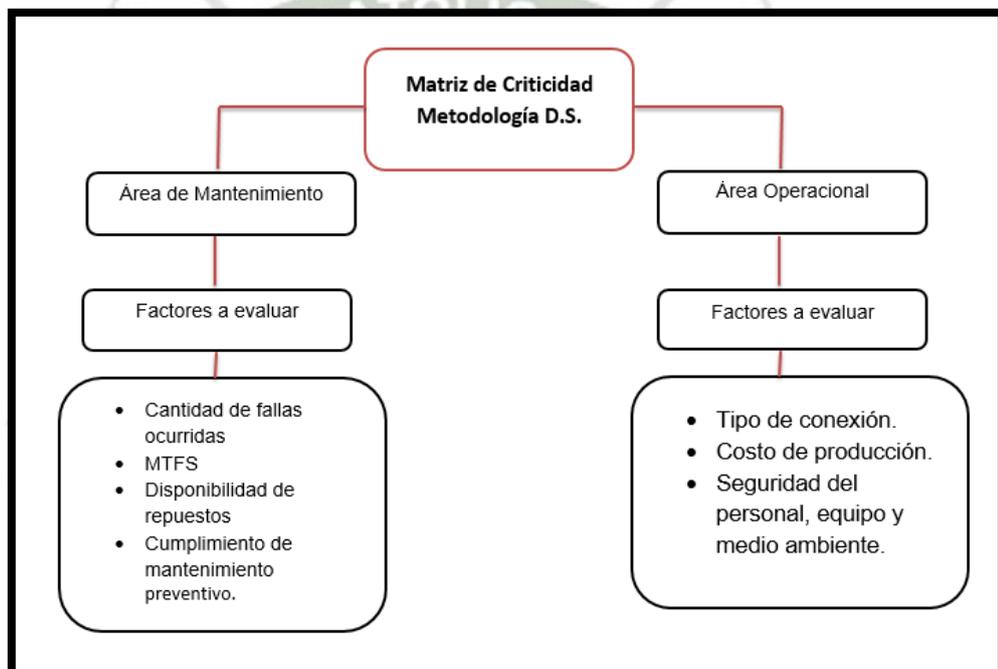
---

<sup>14</sup>SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, Universidad de Oriente. (2001).

### 2.3.2. Metodología D.S. Para determinar criticidad:

Es un método diseñado por el Ing. Msc. Diógenes Suarez, para determinar la criticidad de los equipos o componentes, basado en estudiar por separado factores del área de mantenimiento y el de operación, con fin de ponderarlos y determinar su criticidad. Ver figura 2.2.

**Figura 2.2. Matriz de criticidad de la metodología D.S.**



*Fuente: Ing. Diógenes Suarez "Guía teórico – práctico Mantenimiento Mecánico" (2001).*

*Elaboración propia*

La criticidad a emplear por este método depende de los siguientes factores:

**2.3.2.1. En el área de mantenimiento<sup>15</sup>:**

**a) Cantidad de fallas ocurridas:**

Este parámetro es la cantidad o número de veces que el equipo falla en el tiempo de estudio.

**b) MTBF:**

Promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Usualmente la gente lo considera como el tiempo promedio que algo funciona hasta que falla y necesita ser reparado.

A mayor MTBF, aumenta la disponibilidad del equipo.

$$MTBF = \frac{\sum_{i=0}^n TBF}{n} \qquad MTBF = \frac{1}{\text{Ratio Falla}}$$

**Ec. 2.1.**

**c) MTTR:**

Tiempo promedio que toma reparar algo después de una falla. A mayor MTTR, disminuye la disponibilidad del equipo.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=0}^n TFS}{n}$$

**Ec. 2.2.**

<sup>15</sup>SUAREZ D., "Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico", Universidad de Oriente. (2001).

**d) TASA DISPONIBILIDAD:**

Es el porcentaje del tiempo en que el activo está realmente en operatividad con respecto al tiempo programado para estar operativo.

Indicador clave de rendimiento, es parte de la medida de eficiencia general de los equipos (OEE). (Ver figura 2.3.)

**Figura 2.3.** Distribución de las horas de mantenimiento



*Fuente: Ing. Diógenes Suarez "Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico" (2001).*

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

**Ec. 2.3**

**2.3.2.2. En el área de operaciones:**

**a) Tipo de conexión:**

Este factor evalúa como está conectado el activo operacionalmente, ya sea en serie, paralelo o combinación.

**b) Costo de producción en el periodo a evaluar:**

Este indicador resulta de la comparación de los costos que trae como consecuencia la falla del activo, con los costos que se propone como meta la organización.

**c) Seguridad del personal , equipos y/o ambiente**

Es la evaluación de las consecuencias por falla del activo sobre la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

Para el cálculo de la criticidad, se deben tener los valores del área de mantenimiento y el área de operaciones, para luego ingresarlos a la fórmula 2.6. Mostrada a continuación:

**2.4. PARETO**

El diagrama de Pareto es una grafica en donde se organizan diversas clasificacion de datos por orden descendente, de izquierda a derecha pormedio de barras sencillas despues de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de priordidades. El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Josehp Juran en honor del economista italiano Vilfredo Pareto (1848-1923) quien realizo un estudio sore la distribucion de la riqueza, en el cual descubrio que la minoria de la poblacion poseia la mayor parte de la eiqueza y la mayoria

de la población poseía la menor parte de la riqueza. Con esto estableció la llamada “ley de Pareto” según la cual la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que se conoce como la regla 80/20. Según este concepto si se tiene un problema con muchas causas, se dice que el 20 % de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas resuelven el 20% del problema. Por lo tanto, el análisis del Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”.

El estudio de Pareto permite realizar distintos tipos de análisis a un equipo o sistemas de equipos que estén bajo estudio. Los análisis más comunes se realizan:

- Para analizar las causas.
- Para estudiar los resultados.
- Para planear una mejora continua.
- Las gráficas de Pareto son especialmente valiosas como fotos de “antes y después” para mostrar el progreso que se ha logrado.

#### **2.4.1. Equipo natural de trabajo:**

Es el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar los problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Los equipos naturales de trabajo son

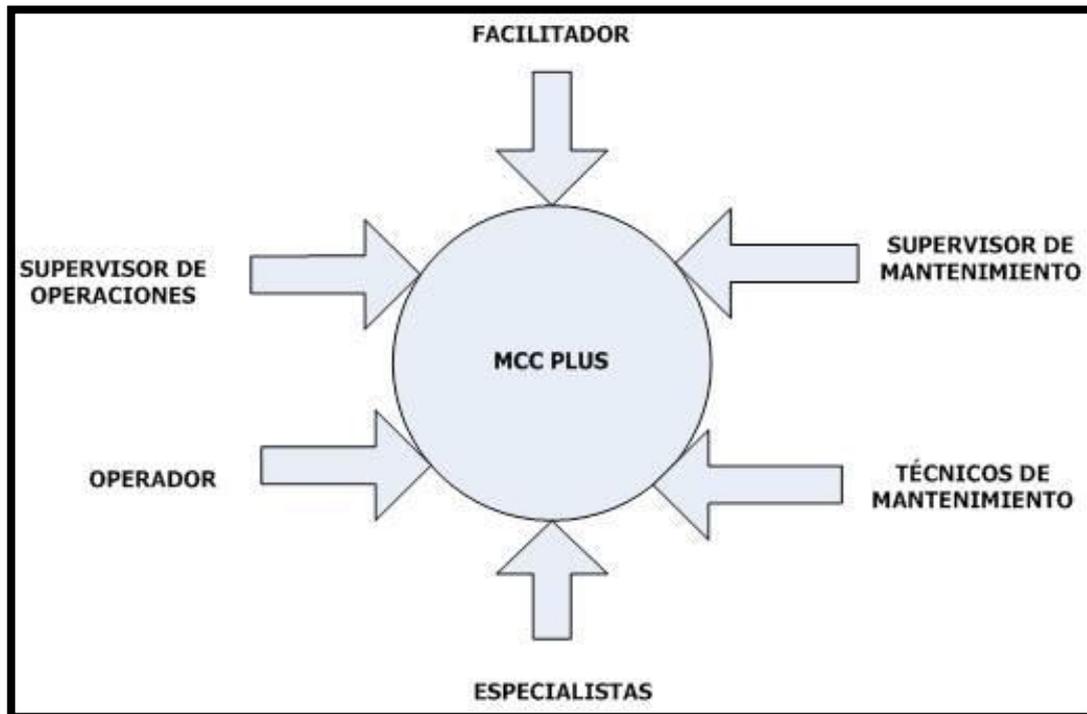
vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa y trabajan consistentemente a largo plazo.

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar todas las preguntas por sí mismos. Esto porque muchas de las respuestas solo las puede dar el personal de operaciones, los cuales se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos. Por esta razón una revisión de los requisitos de mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan una persona por lo menos de mantenimiento y una de producción, en la figura 2.4. Se muestra en ejemplo básico de un equipo natural de trabajo.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup>TORRES E., Ronald, “Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión José”. (2007)

**Figura 2.4.** Representación típica de un equipo de trabajo de MCC.



*Fuente: Estrategias basadas en el MCC*

#### 2.4.2. Contexto Operacional:

El primer documento que se realiza para un análisis de mantenimiento preventivo, es el contexto operacional, lo que debe realizarse muy cuidadosamente porque de esto dependerá la ejecución de análisis, el cual debe contener una descripción detallada de la instalación que será analizada, también se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicio, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de

componentes de cada sistema en caso de que haya división del en varios subsistemas, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores.

### **2.4.3. Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad:**

Según la norma SAE-JA-1011, toda aplicación del MCC debe responder siete (7) preguntas, las cuales permiten consolidar los objetivos de esta filosofía (aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos por medio del empleo adecuado de los recursos). Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el AMEF (Análisis de modos y efectos de las fallas) y ALD (árbol lógico de decisiones). La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras la segunda ayuda a determinar el tipo de mantenimiento más adecuado, para cada modo de falla. La primera técnica ayuda a responder las 5 primeras preguntas, mientras que la segunda ayuda a responder las restantes, en el cuadro 1.1. Se observa las preguntas del MCC.

**Tabla 1.3.** Preguntas básicas del mantenimiento centrado en confiabilidad.

|            |             |   |
|------------|-------------|---|
| <b>RCM</b> | <b>AMEF</b> | ¿Cuál es la función del activo?               |
|            |             | ¿De qué manera pueden fallar?                 |
|            |             | ¿Que origina la falla?                        |
|            |             | ¿Qué pasa cuando falla?                       |
|            |             | ¿Importaría si falla?                         |
|            | <b>ALD</b>  | ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?  |
|            |             | ¿Qué pasaría si no podemos prevenir la falla? |

*Fuente: Estrategias basadas en el MCC.*

*Elaboración Propia*

#### 2.4.4. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF):

Es un proceso sistemático, continuo y permanente cuyo objetivo es recomendar las acciones a tomar durante el diseño, la manufactura o la operación para reducir riesgos, los costos asociados a las fallas e incrementar la satisfacción del cliente.

El análisis de los modos y efectos de las fallas (AMEF), constituye la herramienta principal del mantenimiento preventivo y de confiabilidad, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un sistema sistemático que permite identificar los problemas antes de que estos ocurran y

puedan impactar en los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante de la realización de mantenimiento, ya que a partir de los análisis realizados por los grupos de trabajo a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El AMEF busca responder las 5 primeras preguntas básicas del mantenimiento centrado en confiabilidad, aplicado en este contexto al mantenimiento preventivo, definiendo así para cada activo sus funciones, sus fallas funcionales, los modos de fallas y su efecto de fallas.<sup>17</sup>

#### **2.4.4.1. Funciones y estándares de funcionamiento:**

Da inicio a la aplicación del mantenimiento y consiste en determinar las funciones específicas y los estándares de comportamiento funcional, asociado a cada uno de los activos objeto de estudio en su contexto operacional.

---

<sup>17</sup>TORRES E., Ronald, “Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión José”. (2007)

**a) Funciones primarias:**

Las funciones primarias de un elemento son las razones por las que existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas. A menudo se identifica la función primaria por el nombre del elemento.

**b) Funciones secundarias:**

Además de sus funciones primarias, casi todo elemento tiene funciones secundarias. Suelen ser menos obvias que las funciones primarias, pero su falla suele traer graves consecuencias, a veces más graves que las de una función primaria. Estas funciones son definidas por los criterios o estándares de funcionamiento.

**c) Dispositivos de seguridad:**

En cuanto más complejo sea el equipo, crecerá casi exponencialmente el número de maneras de fallas. Esto conlleva a un crecimiento correspondiente en la variedad y la severidad de las consecuencias de las fallas.

**d) Funciones superfluas:**

A veces se encuentran elementos o componentes que son totalmente superfluos. Esto suele suceder cuando el equipo ha estado sometido a modificaciones frecuentes a través de un largo periodo de tiempo, o cuando la especificación de un equipo nuevo es innecesariamente compleja. (Estos no se aplican a componentes redundantes incorporados por razones

de seguridad, sino a los elementos que no tengan utilidad alguna dentro del contexto bajo consideración).

#### **2.4.4.2. Fallas funcionales:**

Las fallas funcionales se producen por la incapacidad de un elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Para definir una falla solo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, negar la función.

#### **2.4.4.3. Modos de fallas:**

Son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir lo que hace que la planta, sistema o activo no realice la función deseada. Cada falla original puede ser originada por más de un modo de falla y cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que esta falla ocurra.

#### **2.4.4.4. Efectos de fallas:**

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, por lo tanto que nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

#### **2.4.4.5. Consecuencias de las fallas:**

Para que se pueda decidir sobre las tareas de mantenimiento a realizar, es importante que se tenga las consecuencias de

las fallas y decidir el eslabón en el que se encuentra cada modo de falla.

**a) Consecuencia de las fallas ocultas:**

Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales si se produce por sí solo. Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otras fallas cuyas consecuencias serían más graves y/o catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de la falla de los equipos complejos modernos.

**b) Consecuencias para la seguridad:**

Un modo de falla tiene consecuencias sobre la seguridad personal si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, mientras que sobre el ambiente se origina una infracción de cualquier normativa o reglamento relacionado con el medio ambiente.

**c) Consecuencias operacionales:**

Una falla trae consecuencias operacionales si tiene efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, afectan al rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al

cliente. En todos estos casos las consecuencias cuestan dinero.

**d) Consecuencias no operacionales:**

Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría son aquellos que no traen consecuencia sobre la seguridad ni la producción, de modo que solo originan el costo directo de la reparación.

**2.4.4.6. Tareas de mantenimiento preventivo:**

Son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla. El que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y de la tarea.

**a) Tareas a condición:**

Consiste en chequear si los equipos están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar consecuencias de los mismos, las cuales están basadas en el hecho de que un gran número de fallas no ocurren al mismo tiempo, sino que se va desarrollando a partir de un periodo de tiempo. Los equipos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

**b) Tareas cíclicas de reacondicionamiento:**

Consiste en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su estado original. La frecuencia de una tarea cíclica de reacondicionamiento está determinada por la edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla.

**c) Tareas de sustitución cíclicas:**

Consiste en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en este momento. La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la “vida útil” de los elementos.

**2.4.4.7. Tareas a “falta de”:**

Son las acciones “a falta de” que deben tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas. Estas incluyen: la búsqueda de fallas, en no realizar ningún tipo de mantenimiento y el rediseño. Las tareas “a falta de”, están regidas por las consecuencias de las fallas.

**a) Búsqueda de fallas:**

Consiste en chequear una función oculta a intervalo regular para verificar si ha fallado.

**b) Ningún mantenimiento preventivo:**

Se utiliza cuando la consecuencia no causa consecuencia sobre la producción ni la seguridad y no se puede encontrar una tarea preventiva adecuada, por lo que se deja que ocurra la falla y de allí la intervención para la reparación.

**c) El rediseño:**

Se refiere a cualquier cambio sobre las especificaciones del sistema en estudio, es viable solo cuando las tareas preventivas no son factibles y los modos de falla pueden generar daños sobre la producción y la seguridad.

**2.5. TIPOS GRÚAS:<sup>18</sup>****2.5.1. Puentes grúa:**

Máquina de funcionamiento discontinuo, destinada a elevar y distribuir las cargas suspendidas de un gancho o de cualquier otro accesorio de prensión.

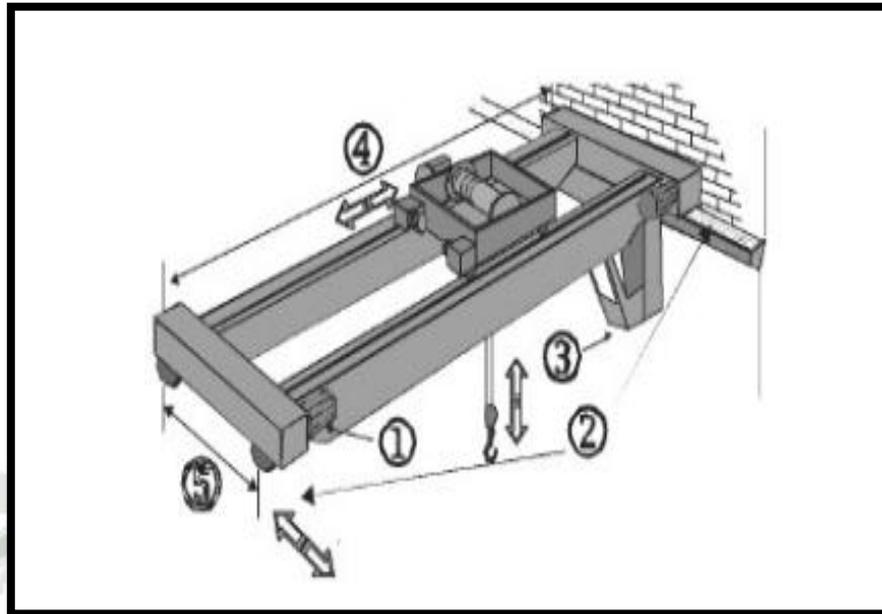
**2.5.2. Grúas pórtico:**

Grúa que consta de un elemento portador formado por una o dos vigas móviles, apoyadas o suspendidas, sobre las que se desplaza el carro con los mecanismos elevadores. (Fig. 2.5)

---

<sup>18</sup> Instituto Navarra de Salud Laboral – España, Seguridad de las grúas puente.

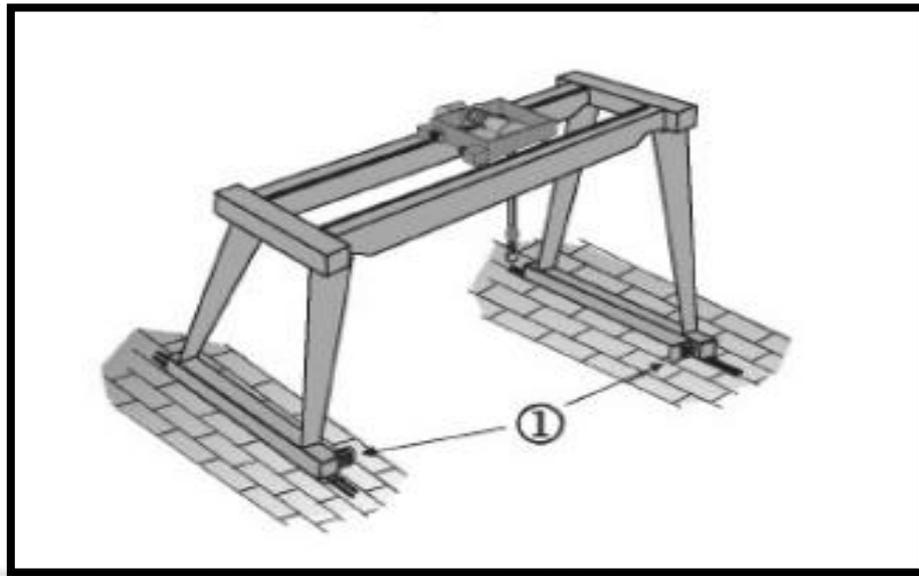
**Fig. 2.5.** Grúa Punte – NTP737 y NTP738



Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

### 2.5.3. Grúas ménsula:

Grúa cuyo elemento portador se apoya sobre un camino de rodadura por medio de patas de apoyo. Se diferencia de la grúa puente en que los rieles de desplazamiento están en un plano horizontal muy inferior al del carro (normalmente apoyados en el suelo). (Fig. 2.6)

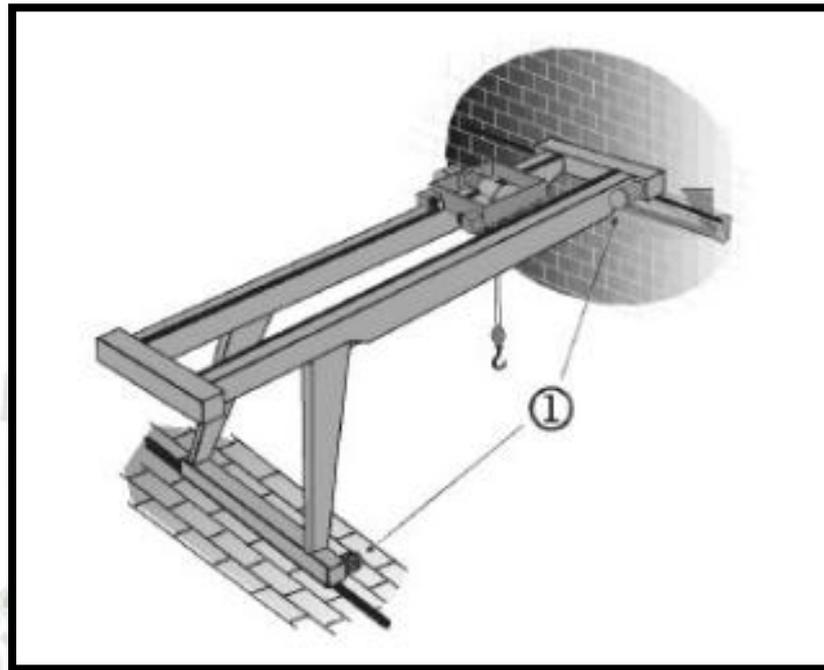
**Fig. 2.6.** Grúa ménsula – NTP737 y NTP738

Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

#### 2.5.4. Grúa Semipórtico:

Grúa cuyo elemento portador se apoya sobre un camino de rodadura, directamente en un lado y por medio de patas de apoyo (Fig. 2.7). Se diferencia de la grúa pórtico y del puente grúa, en que uno de los railes de desplazamiento está aproximadamente en el mismo plano horizontal que el carro, y el otro rail de desplazamiento está en otro plano horizontal muy inferior del carro (normalmente apoyado en el suelo).

**Fig. 2.7.** Grúa Semipórtico – NTP737 y NTP738

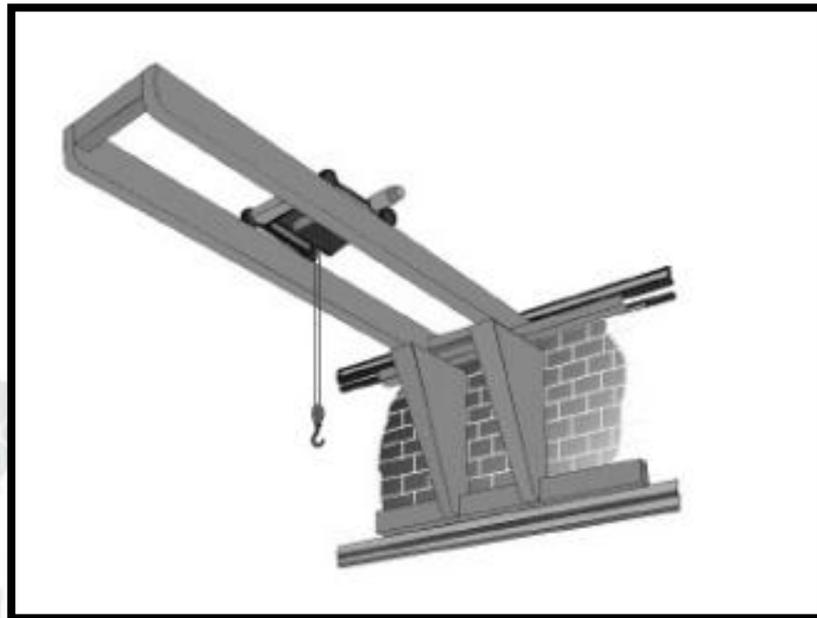


Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

#### **2.5.5. Grúa Ménsula Fija:**

Grúa fijada en un muro, o susceptible de desplazarse a lo largo de un camino de rodadura aéreo, fijado a un muro o una estructura de obra (Fig. 2.8). Se diferencia de la grúa puente en que los rieles de desplazamiento están en un mismo plano vertical.

**Fig. 2.8.** Grúa ménsula – NTP737 y NTP738

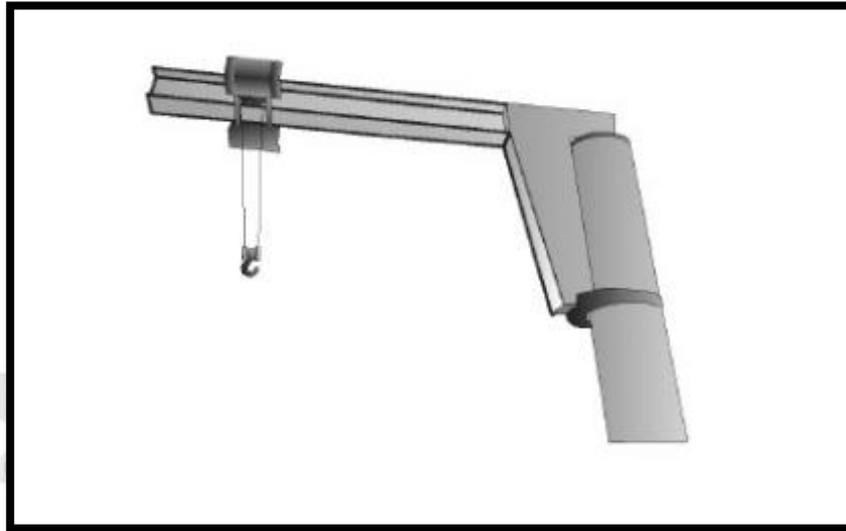


Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

#### **2.5.6. Grúa de brazo giratorio:**

Grúa capaz de girar sobre una columna fijada por su base a la fundación, o fijada a una columna giratoria sobre un soporte empotrado (Fig. 2.9).

**Fig. 2.9.** Grúa de brazo giratorio – NTP737 y NTP738



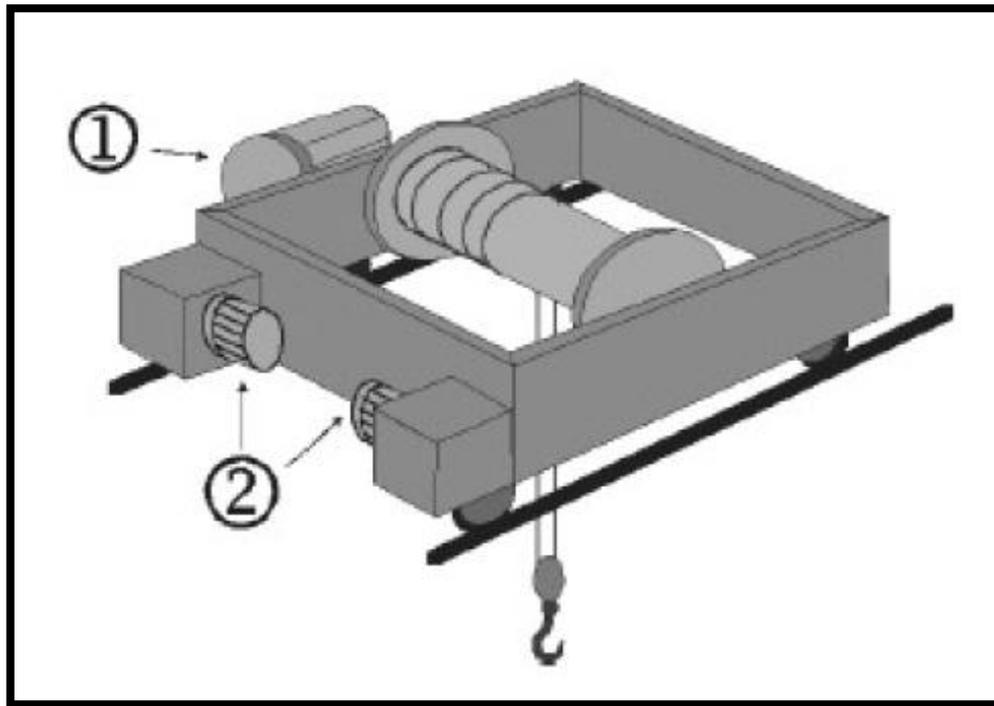
Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

## **2.6. COMPONENTES DE LAS GRÚAS:**

### **2.6.1. Mecanismos de elevación:**

Conjunto de motores y aparejos (sistema de poleas y cables destinados a variar fuerzas y velocidades) que se aplican en el movimiento vertical para elevar una carga. (Fig. 2.10)

**Fig. 2.10** Motor del tambor de cable acerado – NTP737 y NTP738  
**Fig. 2.10.** Motor de las ruedas de traslación longitudinal – NTP737 y NTP738



Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

**Fig. 2.11.** Referencia fotográfica (Vista desde abajo) GRT5 de 200TM  
04 GANCHOS DE 50TM CADA UNO



Fuente: Concentradora - SPCC

### **2.6.2. Mecanismos de translación del carro:**

Conjunto de motores que se aplican en el movimiento longitudinal del carro (sistema mecánico con los mecanismos de elevación). (Fig. 2.10).

### **2.6.3. Mecanismos de translación del puente:**

Conjunto de motores que incluye los testeros como estructuras portantes que incorporan este mecanismo para el movimiento longitudinal de la grúa.

#### **2.6.4. Camino de rodadura:**

Elemento estructural por el que se desplaza longitudinalmente la grúa. Mecanismo de giro: conjunto mecánico que realiza el desplazamiento angular del brazo o bien de la posición de los ganchos de un carro.

#### **2.6.5. Botonera:**

Dispositivo eléctrico o electrónico unido físicamente mediante una manguera de cables eléctricos a la grúa, para el manejo de la misma desde el exterior de la cabina.

#### **2.6.6. Telemando:**

Dispositivo electrónico inalámbrico (sin unión física a la grúa), para el manejo de la misma.

#### **2.6.7. Cabina:**

Habitáculo destinado, si existe, a la conducción de la grúa y que alberga los dispositivos fijos de mando y al operador o gruista.

#### **2.6.8. Accesorios o útiles de prensión:**

Elementos auxiliares cuya función es la de sujetar la carga tales como: pinzas, pulpos, electroimanes, ventosas, cucharas, etc.

## 2.7. PARÁMETROS:

### 2.7.1. Altura máxima del recorrido del gancho:

Distancia vertical entre el nivel más bajo del suelo, (incluido el foso, si existiese) y el gancho de carga, cuando éste se encuentra en la posición más elevada del trabajo. Fig.2.11 – (1)

### 2.7.2. Luz:

Es la distancia horizontal entre las distancias de los ejes de los carriles de la vía de rodadura. Fig.2.11 - (2)

### 2.7.3. Distancia entre ejes de la ruedas de los testeros:

Es la distancia medida paralelamente al eje longitudinal de desplazamiento.

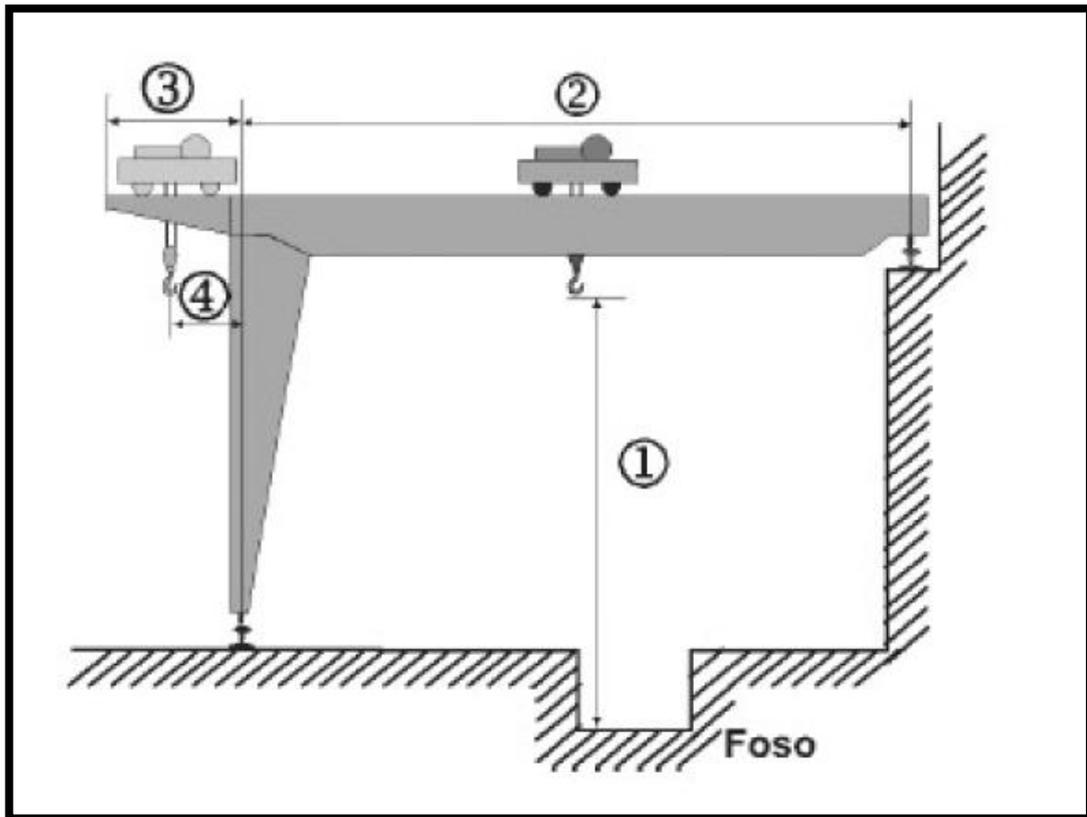
### 2.7.4. Voladizo total:

Distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el extremo de la estructura sobre el voladizo. Fig.2.11- (3)

### 2.7.5. Voladizo útil:

Distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el eje del elemento de presión emplazado sobre el voladizo. Fig.2.11 - (4)

**Fig. 2.12 - (1):** Altura máxima de recorrido del gancho - NTP737 y NTP738  
**Fig.2.12 - (2):** Luz - NTP737 y NTP738  
**Fig. 2.12 - (3):** Voladizo Total - NTP737 y NTP738  
**Fig. 2.12 - (4):** Voladizo Útil - NTP737 y NTP738



Fuente: Instituto Navarra – Seguridad de las grúas puente

#### 2.7.6. Brazo útil:

Distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del elemento de prensión.

#### 2.7.7. Brazo total:

Distancia horizontal entre el eje vertical de la parte giratoria o eje de rodadura y el eje vertical del extremo de la estructura.

#### **2.7.8. Carga nominal o máxima:**

Valor de la carga fijado por el fabricante e indicando en la placa de características (incluye los accesorios de elevación y aprehensión originales).

#### **2.7.9. Carga útil:**

Carga bajo el aparejo o accesorios si los hay.

#### **2.7.10. Placa de características:**

En cada grúa indica: el fabricante, el año de fabricación, número, carga nominal y útil en función de los alcances, si les es aplicable. Si la grúa dispone de varios mecanismos de elevación, se indicaran las características de cada uno.

### **2.8. OPERACIONES:**

#### **2.8.1. Montaje de la grúa:**

Es el proceso de izar y posicionar la grúa sobre un emplazamiento y fundaciones para que pueda prestar su cometido.

#### **2.8.2. Puesta en servicio:**

Es el conjunto de comprobaciones y maniobras que deben ejecutarse en una grúa instalada por completo en su emplazamiento, sometida a las solicitaciones establecidas para que pueda pasar inmediatamente a la condición de servicio, si las circunstancias lo permiten.

### **2.8.3. Ensayo estático:**

Ensayo de la grúa por aplicación al dispositivo de aprehensión de una carga estática que exceda en un porcentaje fijado a su carga nominal.

### **2.8.4. Ensayo dinámico:**

Ensayo de los movimientos de trabajo de la grúa, realizados con una carga que sobrepase un porcentaje fijado su carga nominal.

### **2.8.5. Verificaciones:**

Consisten en la realización por personal autorizado, del conjunto de comprobaciones básicas que se detallan en la UNE EN 12644-1(2001). Éstas pueden ser previas a la puesta en marcha de la grúa o de carácter periódico para garantizar el mantenimiento de las condiciones de trabajo y seguridad fijadas por el fabricante.

## **2.9. PARTES INTERESADAS:**

### **2.9.1. Fabricante:**

Persona física o jurídica responsable del diseño y construcción.

### **2.9.2. Propietario:**

Persona física o jurídica titular del puente grúa. Es el responsable de que se realice el adecuado mantenimiento e inspección. Coincide con el usuario, salvo que arriende el servicio de mantenimiento a un tercero.

### **2.9.3. Usuario:**

Persona física o jurídica que utiliza el puente grúa. Si es arrendatario legal, es responsable de su utilización y de la comunicación de defectos u averías al propietario.

### **2.9.4. Instalador:**

Empresa cualificada, que está autorizada para realizar el montaje y desmontaje del puente grúa. Conservador. Persona física o jurídica cualificada y competente para realizar operaciones de mantenimiento periódico y reparaciones en la grúa.

### **2.9.5. Operador de la grúa:**

Persona física formada y autorizada por la empresa, para manejar y operar con la grúa.

### **2.9.6. Jefe de maniobra:**

Persona física formada y autorizada por la empresa, responsable del equipo de preparación, estrobo, apilado y manipulación de cargas.  
Encargado de señales: persona física formada y autorizada por la empresa, responsable de guiar las maniobras del gruista.

### **2.9.7. Personal del área:**

Conjunto de personas de la empresa que trabajan o transitan habitualmente por la zona de operación de la grúa.

## 2.10. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO:

El riesgo laboral es la posibilidad de que un trabajador sufra daños por la exposición a los peligros asociados al trabajo que realiza. Las técnicas preventivas son las actuaciones o medidas que se toman en todas las actividades de la empresa para eliminar o reducir los riesgos, y en su defecto, minimizar sus consecuencias, si estos se materializan.

Los factores de riesgo específico de las grúas, lo constituyen el desplazamiento del equipo (sea en carga o en vacío) y su posible interacción con el personal o con otras máquinas u objetos que se encuentren dentro de la zona de desplazamiento de la grúa.

Los riesgos y factores de riesgo más importantes y críticos son los mecánicos y eléctricos, ergonómicos, por fallo de energía y por falta o inadecuación medidas de seguridad.

### 2.10.1. Riesgos mecánicos:

- ❖ De arrastre o atrapamientos por la carga o por la propia grúa.
- ❖ De impacto por la carga o por la propia grúa.
- ❖ De pérdida de estabilidad (de la carga, de la maquina o de sus propios elementos).
- ❖ De rotura de los elementos de la maquina (por envejecimiento, fatiga)

### 2.10.2. Riesgos Eléctricos:

- ❖ Pueden ser debido a contactos directos o indirectos.
- ❖ Riesgo térmico producido por las resistencias de puesta en marcha que pueden producir quemaduras por contacto.

### **2.10.3. Riesgos producidos por defectos ergonómicos en el diseño.**

- ❖ Posturas forzadas o esfuerzos excesivos (especialmente en grúas con cabina para el operador).
- ❖ Inadecuada iluminación localizada.

### **2.10.4. Riesgos producidos por falla de alimentación de energía y otros trastornos funcionales:**

- ❖ Fallo de la alimentación de energía (de los circuitos de potencia y/o de mando).
- ❖ Fallo del sistema de mando (puesta en marcha o aceleración intempestivos).

### **2.10.5. Riesgos producidos por la ausencia y/o inadecuación de medidas de seguridad.**

- ❖ Inexistencia o diseño inadecuado de resguardos o dispositivos de protección.
- ❖ Diseño inadecuado de dispositivos de marcha y paro.
- ❖ Ausencia o inadecuación de señales y pictogramas de seguridad.
- ❖ Ausencia o inadecuación de los dispositivos de paro de emergencia.
- ❖ Medios inadecuados de carga y descarga.
- ❖ Ausencia y/o inadecuación de accesorios en las operaciones de ajuste y mantenimiento.
- ❖ Ausencia y/o inadecuación de equipos de protección individual.

A estos riesgos debe añadirse los que son propios del entorno de trabajo de las grúas, por ejemplo:

- ❖ Caída de personas a desnivel y desde altura.
- ❖ Inhalación de sustancias nocivas.
- ❖ Estrés térmico por calor o frío.
- ❖ Trauma sonoro.



## CAPITULO III

### DIAGNOSTICO SITUACIONAL

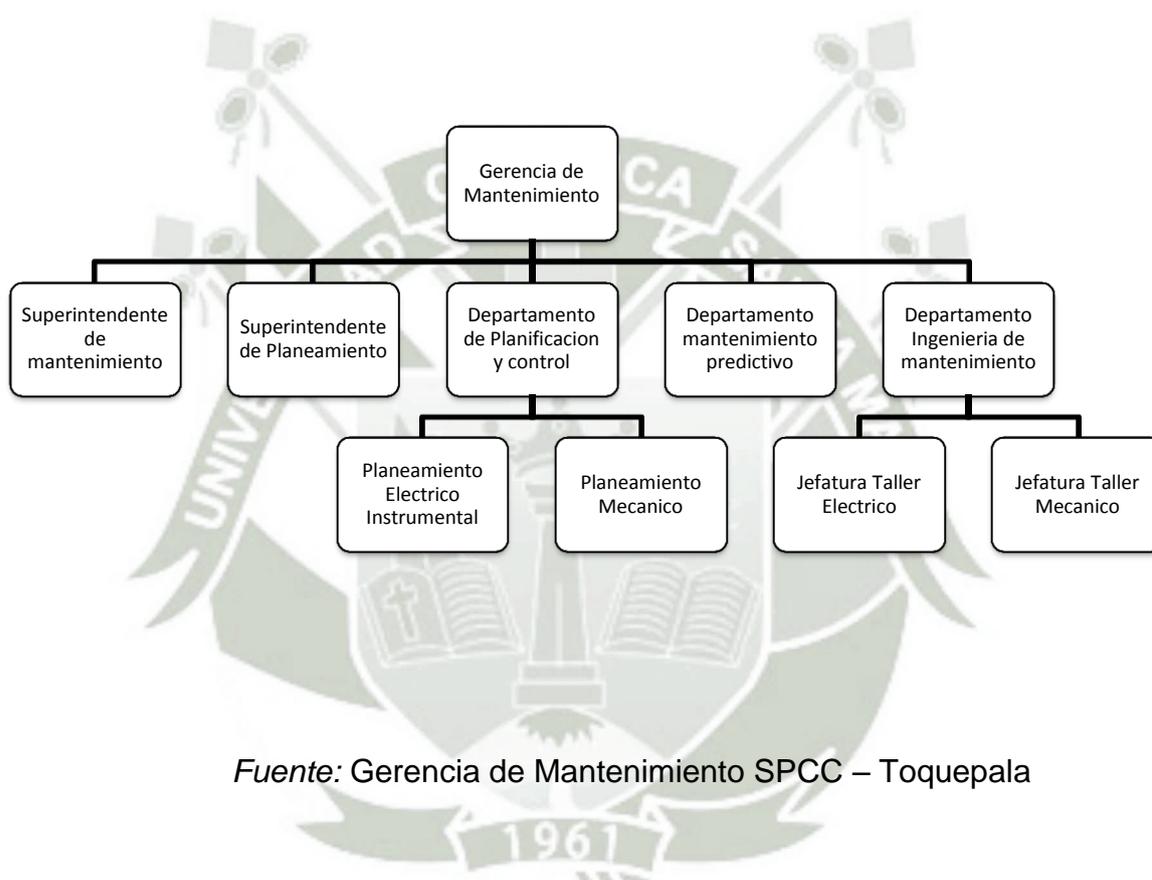
En el siguiente capítulo se desarrollara cada uno de los objetivos específicos planteados, el cual va a proporcionar la identificación y clasificación de los equipos a estudiar, segmentándonos a 05 equipos de estudio de los 20 existentes, ya que éstos pertenecen al área de producción.

La recopilación de la data de fallas estará plasmada en el registro de cantidad de fallas por mes a lo largo del año de estudio.

El análisis de los planes actuales de mantenimiento, pues éstos son muy disconformes al momento de la operatividad. Mediante una gráfica de Pareto se priorizarán los equipos y el desarrollo de un análisis de criticidad para detectar cual es el componente dentro del equipos con mayor incidencia de falla seguidamente se efectuara el Análisis de Modos y Efectos de Fallas para tomar control de las fallas y la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo y rutinario, basado en actividades del CPM y el GANTT; analizando dicha propuesta con el ahorro económico que implica dicha decisión aplicando el análisis del VAN.

### 3.1. ORGANIGRAMA DEL AREA DE MANTENIMIENTO EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA:

Figura 3.1. Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento de Planta



Fuente: Gerencia de Mantenimiento SPCC – Toquepala

Observación: El organigrama actual, debería tener una mejora en cuanto a sus líneas de mando; pues se observa que las superintendencias están en la misma línea de los departamentos de gestión de la planificación y mantenimiento; cuando realmente éstas deberían estar por debajo de las superintendencias.

### 3.3. DESCRIPCION DEL AREA DE MANTENIMIENTO, RESPONSABILIDAD Y FUNCIONES:

- Establecer un plan anual de proyectos de ingeniería de mantenimiento de los equipos de planta, de acuerdo a las necesidades detectadas.
- Analizar los parámetros de mantenimiento de los equipos de planta, mediante la evaluación del comportamiento de las variables que inciden en su funcionamiento, historiales de mantenimiento y fallas, así como de las recomendaciones técnicas suministradas por el departamento de mantenimiento predictivo que permitirán orientar la toma de decisiones y la evaluación de los proyectos de ingeniería.
- Identificar, evaluar y emitir recomendaciones sobre las necesidades de mejoras, modificaciones o reparaciones de equipos y sistemas vinculados al proceso productivo con base a su criticidad, historial de fallas, comportamiento de costos y demás factores relevantes, así como presentar ante los niveles correspondientes los cambios tecnológicos que se detecten.
- Diseñar modificaciones a equipos e instalaciones, basadas en la evaluación técnica de proyectos de ingeniería, verificando sus especificaciones técnicas requeridas.
- Canalizar con la Gerencia de Proyectos aquellas alternativas que generen modificaciones o mejoras que escapen al ámbito funcional de la ingeniería de mantenimiento.

- Establecer la planificación y programas de trabajo cónsonos con la planificación y programación del mantenimiento; y facilitar la ejecución de los trámites administrativos que se generen en los términos de calidad y seguridad.
- Recepcionar, verificar y conformar las valuaciones por servicios ejecutados por contratistas, así como canalizar ante los niveles autorizados las modificaciones o cambios que se generen o no estén previstos desde el diseño del proyecto.
- Coordinar y realizar evaluaciones técnicas y pruebas de equipos, componentes y materiales industriales, nuevos o sustitutos, para la determinación de posibilidades de reemplazo o equivalentes de uso.
- Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad en la planta.
- Implantar medidas correctivas de ingeniería para controlar las desviaciones.

### **3.4. CONTEXTO OPERACIONAL:**

Se describirá las tareas que realiza la GRT5 en área Mill Site en planta concentradora (lugar donde se ubican los molinos de bolas y barras) como:

- a) Realizar la operación de cambio de barras y bolas a los molinos, operación con carga suspendida, personal de operaciones concentradora en el sitio para realizar el cambio de manera manual,

vigías; hace que se incurra en riesgo de alto potencial tanto para el personal como para los equipos.

- b) Realizar la operación de traslado de molinos hacia la zona de mantenimiento, trasladándola como carga suspendida y con un alto índice de riesgo ante caída, mala operación, colisiones, aplastamientos; en el caso que la grúa falle en el momento de la operación.
- c) Traslados de equipos y maquinarias propias del mantenimiento de los molinos a lo largo de la concentradora, en carga suspendida.
- d) Cargo de pesos patrones menor igual a las 200 toneladas, para calibrar los 04 ganchos de la grúa (cada uno de 50 TM).

Todas estas operaciones se hacen con frecuencia semanal y hasta dos veces por semana, según requerimiento de producción y/o condiciones inseguras.

### **3.5. NUMERO DE PUENTES GRUA POR AREA OPERATIVA:**

En el área de Toquepala, se encuentran 20 grúas puente ubicadas en distintas zonas de los talleres del área. En la tabla 3.1, se muestra el inventario de grúas puente correspondiente al área de Toquepala – SPCC.

**Tabla 3.1.** Inventario de grúas en área Mill Site y Talleres – Toquepala – SPCC.

| N° | CODIGO SPCC | MARCA       | CAPACIDAD DE CARGA (TM) | AREA OPERATIVA      |
|----|-------------|-------------|-------------------------|---------------------|
| 1  | GRT 1       | P&H         | 115/25                  | CHANCADORA PRIMARIA |
| 2  | GRT 3       | SHAW BOX    | 5                       | CHANCADORA PRIMARIA |
| 3  | GRT 4       | SHAW BOX    | 48                      | CHANCADORA PRIMARIA |
| 4  | GRT 5       | SHAW BOX    | 200/5                   | MOLIENDA            |
| 5  | GRT 6       | SHAW BOX    | 20                      | MOLIENDA            |
| 6  | GRT 7       | SHAW BOX    | 10                      | FLOTACION           |
| 7  | GRT 8       | SHAW BOX    | 10                      | REMOLIENDA          |
| 8  | GRT 9       | KONECRANE   | 5                       | PLANTA DE MOLY      |
| 9  | GRT 10      | LOAD LIFTER | 5                       | FABRICACION         |
| 10 | GRT 12      | SHAW BOX    | 20/5                    | TORNOS              |
| 11 | GRT 13      | SHAW BOX    | 5                       | FABRICACION         |
| 12 | GRT 14      | P&H         | 10                      | REBOBINADOS         |
| 13 | GRT 15      | P&H         | 3.2                     | REBOBINADOS         |
| 14 | GRT 16      | YALE        | 3                       | TORNOS              |
| 15 | GRT 17      | DEMAG       | 2                       | REACTIVOS           |
| 16 | GRT 18      | BEDFORD     | 30                      | BORING MILL         |
| 17 | GRT 19      | YALE        | 3                       | TORNOS              |
| 18 | GRT 22      | YALE        | 3                       | PLANTA DE MOLY      |
| 19 | GRT 24      | P&H         | 30                      | MOLINO FULLER       |
| 20 | GRT 25      | P&H         | 5                       | FILTRO LAROX COBRE  |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.6. DESCRIPCION DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL PUENTE GRUA #5 (GRT5):

Los puentes grúa representan una gran inversión en equipo para una empresa, por ende un funcionamiento confiable y seguro de estos equipos es vital y esencial.

Una instalación apropiada, operación, mantenimiento e inspección de los puentes son necesarios para asegurar el correcto funcionamiento y evitar paradas inesperadas y por sobre todo accidentes. Se realizaba el siguiente esquema de revisión (técnico mecánico: TM, técnico electricista: TE):

a) SUBSISTEMA TRASLACION CARRO CABINA (1TE; 1TM)

- Freno electromecánico del motor lado izquierdo de traslación carro cabina
- Reductor lado izquierdo de traslación carro cabina
- Motor de 10 hp de traslación carro cabina
- Conjunto de ruedas motrices de traslación carro cabina
- Conjunto de rueda libre lado izquierdo de traslación carro cabina
- Conjunto de ruedas guías izquierda de traslación carro cabina
- Conjunto de ruedas guías derecha de traslación carro cabina
- Conjunto de ruedas libre lado derecho de traslación carro cabina
- Estructuras metálicas del carro cabina

b) SUBSISTEMA DE CONTROL DE TRASLACION DE PUENTE (1TE; 1TM)

- Resistencias de velocidad para motores de traslación de puente.
- Tablero de control para motores de traslación de puente.
- Puente rectificador modular de frenos para motores de traslación de puente.

c) SUBSISTEMA DE CONTROL DE CARRO CABINA (1TE; 1TM)

- Resistencias de velocidad para motores de traslación de carro cabina.
- Tablero de control para motores de traslación de carro cabina.
- Puente rectificador modular de frenos para motores de traslación de carro cabina.

d) SUBSISTEMA DE GANCHOS PRINCIPALES 50 TM (1TE; 1TM)

- Moto reductor de 29 hp / 3 $\phi$ / 60Kw, de elevación y descenso de los ganchos.
- Conjunto de tambor y porta guayas de los ganchos de 50 TM.

e) SUBSISTEMA DE GANCHO AUXILIAR 5 TM. (1TE; 1TM)

- Moto reductor de 2 hp / 1 fase / 1,2Kw, de elevación y descenso del gancho auxiliar
- Conjunto de tambor y porta guayas en el gancho de 5 TM.

**Tabla 3.2.** Tareas actuales de mantenimiento GRT5.

|   |                        |
|---|------------------------|
| <b>GRUA PUENTE 5 - Molinos Sur</b>  | <b>11.85<br/>horas</b> |
| <b>GESTIONES DE SEGURIDAD</b>   | <b>0.5<br/>horas</b>   |
| Llenado de formatos de seguridad  | 0.5<br>horas           |
| <b>SUBSISTEMA TRASLACION CARRO CABINA</b>   | <b>4.15<br/>horas</b>  |
| Revisar freno electromecánico del motor lado izquierdo de traslación de cabina              | 1 hora                 |
| Revisar freno electromecánico del reductor lado izquierdo de traslación de cabina           | 1 hora                 |
| Revisar motor de 10 HP de traslación carro cabina   | 0.5<br>horas           |
| Inspeccionar ruedas motrices de traslación carro cabina                                     | 1.15<br>horas          |
| Estructura metálica del carro cabina  | 0.5<br>horas           |
| <b>SUBSISTEMA DE CONTROL DE TRASLACION DE PUENTE</b>  | <b>2.1<br/>horas</b>   |
| Revisar las resistencias de velocidad de los motores de traslación de puente.               | 1.2<br>horas           |
| Revisar los comandos del tablero de control de traslación de puente.                        | 0.45<br>horas          |
| Revisar el puente rectificador modular de frenos para motores de traslación de puentes      | 0.45<br>horas          |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS PRINCIPALES DE 50 TM</b>   | <b>3.35<br/>horas</b>  |
| Revisar el motoreductor de 29 HP /3 $\phi$ /60 Kw, elevación y descenso de los ganchos (04) | 2.15<br>horas          |
| Revisar el conjunto de tambor y porta guayas de los ganchos de 50 Tm                        | 1.2<br>horas           |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS AUXILIAR DE 5 TM</b>   | <b>0.75<br/>horas</b>  |
| Revisar Motoreductor de 2 hp / 1 $\phi$ / 1,2Kw, elevación y descenso del gancho auxiliar   | 0.45<br>horas          |
| Revisar conjunto de tambor y porta guayas en el gancho de 5 TM                              | 0.3<br>horas           |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS AUXILIAR DE 5 TM</b>   | <b>1 hora</b>          |
| Pruebas de seguridad con carga suspendida y peso patrón                                     | 1 hora                 |

Fuente: Elaboración propia

En el Tabla 3.2, podemos apreciar las tareas y la secuencia con la que suceden una de la otra respectivamente, generando un tiempo de **11.85 horas**, a su vez siendo ésta la rutina de mantenimiento cada que se necesitaba intervenir la máquina.

Este rutina de mantenimiento fue la encontrada y ejercida por muchos años, teniendo como resultados, paradas excesivas de máquina, tiempos excedidos para mantenimiento correctivo.

También se analizó su plan de mantenimiento actual, obteniendo la siguiente información, consta de un plan de 14 tareas, de las cuales 3 son de mantenimiento cada 3 semanas (3S), 2 tareas de mantenimiento cada 3 meses (3M) y 9 tareas de mantenimiento cada mes (M).



Analizamos los indicadores, para saber en cuanto vamos a mejorar nuestro plan de mantenimiento.

**Tabla 3.4.** Tiempo registrado de fallas (Horas)

| 1. Numero de Fallas (Numero)                      |          |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |           |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-----------|
| SUBSISTEMAS                                       | octubre  | noviembre | diciembre | enero     | febrero  | marzo    | abril    | mayo     | junio    | julio    | agosto   | septiembre | TOTAL     |
|   | GRT5     |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            | TOTAL     |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 2        | 1         | 1         | 1         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 6         |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 1        | 0         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0          | 4         |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0        | 1         | 0         | 0         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 2         |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0        | 1         | 1         | 2         | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 7         |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0        | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 1         |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 2        | 2         | 3         | 3         | 2        | 3        | 1        | 1        | 3        | 1        | 2        | 1          | 24        |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0        | 1         | 2         | 2         | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1          | 10        |
|   | <b>5</b> | <b>6</b>  | <b>8</b>  | <b>10</b> | <b>2</b> | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b>   | <b>54</b> |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.5.** Tiempo promedio entre fallas (Horas)

| SUBSISTEMAS                                       | TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) |           |           |       |         |       |       |      |       |       |        |            | TOTAL  | FRECUENCIA | MTBF   |   |       |
|---|-------------------------------------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|--------|------------|--------|---|-------|
|   | octubre                             | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre |        |            |        |   |       |
| <b>GRT5</b>                                       |                                     |           |           |       |         |       |       |      |       |       |        |            |        |            |        |   |       |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 371                                 | 746       | 243       | 724   | -       | 692   | -     | -    | -     | -     | -      | -          | -      | -          | 2775.2 | 5 | 555.0 |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 657                                 | -         | 372       | 647   | -       | -     | -     | 669  | -     | -     | -      | -          | -      | -          | 2345.7 | 4 | 586.4 |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | -                                   | 721       | -         | -     | -       | 601   | -     | -    | -     | -     | -      | -          | -      | -          | 1321.8 | 2 | 660.9 |
| 4. Subsistema traslación del puente               | -                                   | 675       | 739       | 349   | -       | 637   | 745   | -    | -     | -     | 673    | -          | -      | -          | 3817.1 | 6 | 636.2 |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | -                                   | -         | -         | 648   | -       | -     | -     | -    | -     | -     | -      | -          | -      | -          | 647.9  | 1 | 647.9 |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 360                                 | 354       | 240       | 248   | 414     | 238   | 772   | 816  | 373   | 781   | 316    | 709        | 5621.8 | 12         | 468.5  |   |       |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | -                                   | 749       | 366       | 715   | -       | 693   | -     | 794  | -     | 790   | 624    | 749        | 5479.9 | 8          | 685.0  |   |       |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.6.** Tiempo promedio para reparar

| TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)               |             |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |            |     |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------|------------|-----|
| SUBSISTEMAS                                       | octubre     | noviembre | diciembre | enero     | febrero  | marzo    | abril    | mayo     | junio    | julio    | agosto   | septiembre | TOTAL | FRECUENCIA | MTR |
|   | <b>GRT5</b> |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |            |     |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 3           | 3         | 7         | 2         | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 17.0  | 5          | 3.4 |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4           | 0         | 5         | 2         | 0        | 0        | 0        | 0        | 4        | 0        | 0        | 0          | 15.0  | 4          | 3.8 |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0           | 3         | 0         | 0         | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 5.0   | 2          | 2.5 |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0           | 3         | 1         | 2         | 0        | 1        | 2        | 0        | 0        | 0        | 2        | 0          | 11.0  | 6          | 1.8 |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0           | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 1.0   | 1          | 1.0 |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 6           | 3         | 4         | 2         | 6        | 2        | 3        | 3        | 4        | 3        | 3        | 4          | 41.7  | 12         | 3.5 |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0           | 4         | 2         | 2         | 0        | 1        | 0        | 3        | 0        | 2        | 3        | 2          | 18.0  | 8          | 2.3 |
|   | <b>13</b>   | <b>16</b> | <b>19</b> | <b>11</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>5</b> | <b>8</b> | <b>6</b>   |       |            |     |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3.7.** Numero de fallas de la GRT5 – medición: anual

| SUBSISTEMAS                                       | 1. Numero de Fallas (Numero) |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            | TOTAL    | FALLAS    |    |
|---|------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|-----------|----|
|   | octubre                      | noviembre | diciembre | enero     | febrero  | marzo    | abril    | mayo     | junio    | julio    | agosto   | septiembre |          |           |    |
| <b>GRT5</b>                                       |                              |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |          | <b>54</b> |    |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 2                            | 1         | 1         | 1         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        |           | 6  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 1                            | 0         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0          | 0        |           | 4  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                            | 1         | 0         | 0         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        |           | 2  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0                            | 1         | 1         | 2         | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 0        |           | 7  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                            | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        |           | 1  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 2                            | 2         | 3         | 3         | 2        | 3        | 1        | 1        | 3        | 1        | 2        | 1          | 1        |           | 24 |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0                            | 1         | 2         | 2         | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1          | 1        | 10        |    |
| <b>TOTAL</b>                                      | <b>5</b>                     | <b>6</b>  | <b>8</b>  | <b>10</b> | <b>2</b> | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b>   | <b>4</b> | <b>2</b>  |    |

Fuente: elaboración Propia

**Tabla 3.8.** Costo de Mantenimiento por el número de veces que falló el equipo.

| SUBSISTEMAS                                      | COSTO DE MANTENIMIENTO x EL TOTAL DE VECES (dólares americanos) |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            | TOTAL      | FALLAS     |              |
|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
|  | octubre   | noviembre | diciembre | enero     | febrero   | marzo      | abril      | mayo       | junio      | julio      | agosto     | septiembre |            |            |              |
| <b>GRT5</b>                                      |   |           |           |           |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |              |
| 1. Subistema principal de distribución eléctrica | \$ 1,354.   | \$ 677.08 | \$ 677.08 | \$ 677.08 | \$ -      | \$ 677.08  | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 4,062.5 | \$           |
| 2. Subistema de control de traslación de puente  | \$ 677.08   | \$ -      | \$ 677.08 | \$ 677.08 | \$ -      | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 677.08  | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 2,708.3 | \$           |
| 3. Subistema de control de carro cabina          | \$ -  | \$ 677.08 | \$ -      | \$ -      | \$ -      | \$ 677.08  | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 1,354.1 | \$           |
| 4. Subistema traslación del puente               | \$ -  | \$ 677.08 | \$ 677.08 | \$ 1,354. | \$ -      | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 677.08  | \$ -       | \$ -       | \$ 4,739.5 | \$ 36,562.50 |
| 5. Subistema de traslación carro cabina          | \$ -  | \$ -      | \$ -      | \$ 677.08 | \$ -      | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ -       | \$ 677.08  | \$           |
| 6. Subistema de ganchos principales de 50 TM     | \$ 1,354.   | \$ 1,354. | \$ 2,031. | \$ -      | \$ 1,354. | \$ 2,031.2 | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ 2,031.2 | \$ 677.08  | \$ 1,354.1 | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ 16,250. | \$           |
| 7. Subistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | \$ -  | \$ 677.08 | \$ 1,354. | \$ 1,354. | \$ -      | \$ 677.08  | \$ -       | \$ 677.08  | \$ -       | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ 677.08  | \$ 6,770.8 | \$           |
| <b>COSTO MENSUAL (dólares americanos)</b>        | \$ 3,385.   | \$ 4,062. | \$ 5,416. | \$ 6,770. | \$ 1,354. | \$ 4,739.5 | \$ 1,354.1 | \$ 1,354.1 | \$ 2,708.3 | \$ 1,354.1 | \$ 2,708.3 | \$ 1,354.1 | \$ 1,354.1 |            |              |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.9.** Tiempo promedio para reparar el equipo - GRT5 – medición: anual

| SUBSISTEMAS                                       | Tiempo promedio para reparar - MTTR (Horas) |           |           |           |            |            |          |          |            |          |          |            | TOTAL    | TIEMPO (HRS) |       |
|---|---|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|--------------|-------|
|   | octubre                                     | noviembre | diciembre | enero     | febrero    | marzo      | abril    | mayo     | junio      | julio    | agosto   | septiembre |          |              |       |
| <b>GRT5</b>                                       |   |           |           |           |            |            |          |          |            |          |          |            |          |              |       |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 3   | 3         | 7         | 2         | 0          | 2          | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        | 0          | 0        | 17           | 108.7 |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4   | 0         | 5         | 2         | 0          | 0          | 0        | 0        | 4          | 0        | 0        | 0          | 0        | 15           |       |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0   | 3         | 0         | 0         | 0          | 2          | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        | 0          | 0        | 5            |       |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0   | 3         | 1         | 2         | 0          | 1          | 2        | 0        | 0          | 0        | 2        | 0          | 0        | 11           |       |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0   | 0         | 0         | 1         | 0          | 0          | 0        | 0        | 0          | 0        | 0        | 0          | 0        | 1            |       |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 5.5   | 3         | 4         | 2.3       | 5.5        | 1.7        | 3        | 3        | 3.7        | 3        | 3        | 4          | 4        | 42           |       |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0   | 4         | 1.5       | 1.5       | 0          | 1          | 0        | 3        | 0          | 2        | 3        | 2          | 2        | 18           |       |
| <b>TOTAL</b>                                      | <b>13</b>                                   | <b>16</b> | <b>19</b> | <b>11</b> | <b>5.5</b> | <b>7.7</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7.7</b> | <b>5</b> | <b>8</b> | <b>6</b>   | <b>6</b> |              |       |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.10** Costo de Mantenimiento por el número de horas con equipo parado

| SUBSISTEMAS                                       | octubre          | noviembre         | diciembre        | enero            | febrero          | marzo            | abril            | mayo              | junio             | julio             | agosto            | septiembre        | TOTAL       | FALLAS       |
|---|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|
|   | GRT5             |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                   |                   |                   |                   |             |              |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | \$ 2,031         | \$ 2,031          | \$ 4,739.        | \$ 1,354.        | \$ -             | \$ 1,354.        | \$ -             | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ 11,510.4 |              |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | \$ 2,708         | \$ -              | \$ 3,385.        | \$ 1,354.        | \$ -             | \$ -             | \$ -             | \$ -              | \$ 2,708.         | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ 10,156.2 |              |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | \$ -             | \$ 2,031.         | \$ -             | \$ -             | \$ -             | \$ 1,354.        | \$ -             | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ 3,385.4  |              |
| 4. Subsistema de traslación del puente            | \$ -             | \$ 2,031.         | \$ 677.0         | \$ 1,354.        | \$ -             | \$ 677.0         | \$ 1,354.        | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ 1,354.1        | \$ -              | \$ 7,447.9  | \$ 73,576.39 |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | \$ -             | \$ -              | \$ -             | \$ 677.0         | \$ -             | \$ -             | \$ -             | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ -              | \$ 677.08   |              |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | \$ 3,723         | \$ 2,031.         | \$ 2,708.        | \$ 1,579.        | \$ 3,723.        | \$ 1,128.        | \$ 2,031.        | \$ 2,031.         | \$ 2,482.         | \$ 2,031.         | \$ 2,031.         | \$ 2,708.         | \$ 28,211.8 |              |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | \$ -             | \$ 2,708.         | \$ 1,015.        | \$ 1,015.        | \$ -             | \$ 677.0         | \$ -             | \$ 2,031.         | \$ -              | \$ 1,354.1        | \$ 2,031.2        | \$ 1,354.         | \$ 12,187.5 |              |
| <b>COSTO MENSUAL (dólares american)</b>           | <b>\$ 8,463.</b> | <b>\$ 10,833.</b> | <b>\$ 12,526</b> | <b>\$ 7,335.</b> | <b>\$ 3,723.</b> | <b>\$ 5,190.</b> | <b>\$ 3,385.</b> | <b>\$ 4,062.5</b> | <b>\$ 5,190.9</b> | <b>\$ 3,385.4</b> | <b>\$ 5,416.6</b> | <b>\$ 4,062.5</b> |             |              |

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1. Puntos clave del mantenimiento:

Un buen mantenimiento comienza con una buena instalación. Antes, durante y seguido de la instalación del puente es prudente observar los siguientes puntos:

- a) Las vías deben estar derechas y convenientemente alineadas para asegurar a correcta “luz” entre ellas a lo largo de todo el recorrido.
- b) Asegurarse de que el puente es ensamblado de acuerdo a instrucciones del fabricante.
- c) Es de suma importancia que las vigas principales del puente estén escuadradas con las vigas carrileras y que estén paralelas entre sí.
- d) Se deben revisar los aprietes de todos los bulones y que contengan arandelas de seguro u otro dispositivo similar.
- e) Lubricar todos los puntos indicados por el fabricante con la grasa adecuada.
- f) Lubricar el cable de elevación de acuerdo al manual del fabricante.
- g) Asegurarse de que el cable de elevación esté correctamente colocado.
- h) Revisar cualquier pérdida de aceite y/o grasa que pudiera haber ocurrido durante el montaje, limpiar convenientemente, de la misma forma revisar por herramientas olvidadas en las pasarelas y/o otros materiales.

### 3.6.2. Tareas recomendadas antes de que el puente grúa entre en operación:

- a) Revisar todos los movimientos del puente grúa, traslación del carro y puente, subir y bajar del sistema de elevación, en lo posible todas sus velocidades para verificar error en la conexión eléctrica.
- b) Revisar ajuste, estado y operación de todos los frenos.
- c) Revisar funcionamiento y ajustar límites superior e inferior del sistema de izaje, esto se debería realizar con el gancho sin carga.
- d) Revisar otros límites y paradas de emergencia, sistema anti-choque (si existen 2 puentes en la misma vía).
- e) Operar el puente grúa en forma lenta a lo largo de todo su recorrido, puente carro y sistema de elevación, revisando ruidos y posibles cruces.
- f) En puentes nuevos o antiguos en que su capacidad de carga (WLL) haya sido cambiada, se deberá realizar un test de carga (la carga no deberá ser menos que el 100% de la capacidad de carga de trabajo y no más que 125% de la misma capacidad).

### 3.6.3. Inspección de los grúas puente:

La frecuencia de inspección y grado de mantenimiento de los puentes grúa varía según el tipo de servicio al cual está sujeto (ASME B3.17).

Puentes usados permanentemente requerirán más atención que los usados esporádicamente o los que estén de respaldo.

Es recomendable realizar inspecciones periódicas (diarias y/o mensuales) que incluyan:

- a) Inspección visual del cable por posibles roturas o daños en los alambres del mismo.
- b) Inspección visual del gancho por posibles deformaciones, roturas o desgaste excesivo.
- c) Operación de los límites de izaje (superior e inferior) y de desplazamiento.
- d) Cualquier ruido o vibración anormal debe ser informada.

Estos últimos 4 puntos se deberían hacer antes de usar el puente grúa por el operador del mismo en cada turno o jornada correspondiente dado que se consideran de seguridad.

Anualmente se deberán inspeccionar (servicio normal) por personal calificado:

- a) Conexiones flojas, apriete de bulones, tuercas, etc.
- b) Rotura, desgaste, deformación o corrosión en bridas de vigas, rieles, ruedas, etc.
- c) Rotura, desgaste o deformación mecánica de ejes, cojinetes, piñones, cadenas, etc.
- d) Desgaste en los frenos.
- e) Tambor de arrollamiento, poleas, verificar desgaste.
- f) Verificar correcto funcionamiento de motores y desgaste en sistema de trolleys (carros y carbones).

- g) Verificación del gancho y sus accesorios por fisuras mediante partículas magnetizables y/o tintas penetrantes.
- h) Límites de seguridad, límites de carga.
- i) Sistema eléctrico (desgaste en contactos de contactores, relés, etc, excesivo “pitting” por conmutación).

Todos los elementos críticos, especialmente los elementos de izaje, deberían tener un historial escrito en el sistema de mantenimiento que se contare para poder seguir su evolución.

- ❖ Inspección frecuente: verificación visual por el operador (sin registros):

| Servicio | Frecuencia        |
|----------|-------------------|
| Normal   | Mensual           |
| Pesado   | Semanal o mensual |
| Severo   | Diario o semanal  |

- ❖ Inspección periódica: inspección visual del equipamiento dirigida por una persona designada para tal fin con confección de registros.

| Servicio | Frecuencia        |
|----------|-------------------|
| Normal   | Anual             |
| Pesado   | Anual o semestral |
| Severo   | Cada 3 meses      |

### **3.7. VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA:**

Se realizaron visitas al área de procesos Mill Site, Las inspecciones se realizaron táctil, auditiva y visualmente, donde la observación se basó en registrar las circunstancias anormales de los equipos en cuanto a: procesos, condiciones externas y operatividad.

El sistema estaba operando tal cual como lo reflejaban los planos y diagramas del manual de operaciones. Sin embargo se tomó el siguiente estado de condición al puente grúa de 200 TM (GRT5).

### **3.8. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE FALLAS:**

Los datos recopilados de las fallas están bajo los siguientes parámetros:

- Periodo de tiempo a evaluar: fallas ocurridas desde octubre del 2012 a setiembre del 2013.
- Área de planta a evaluar: Mill Site (molinos - concentradora)
- Sistema a evaluar: sistema de grúas Shaw Box GRT5, dado que es el que presento mayor incidencia de fallas en el periodo de estudio.

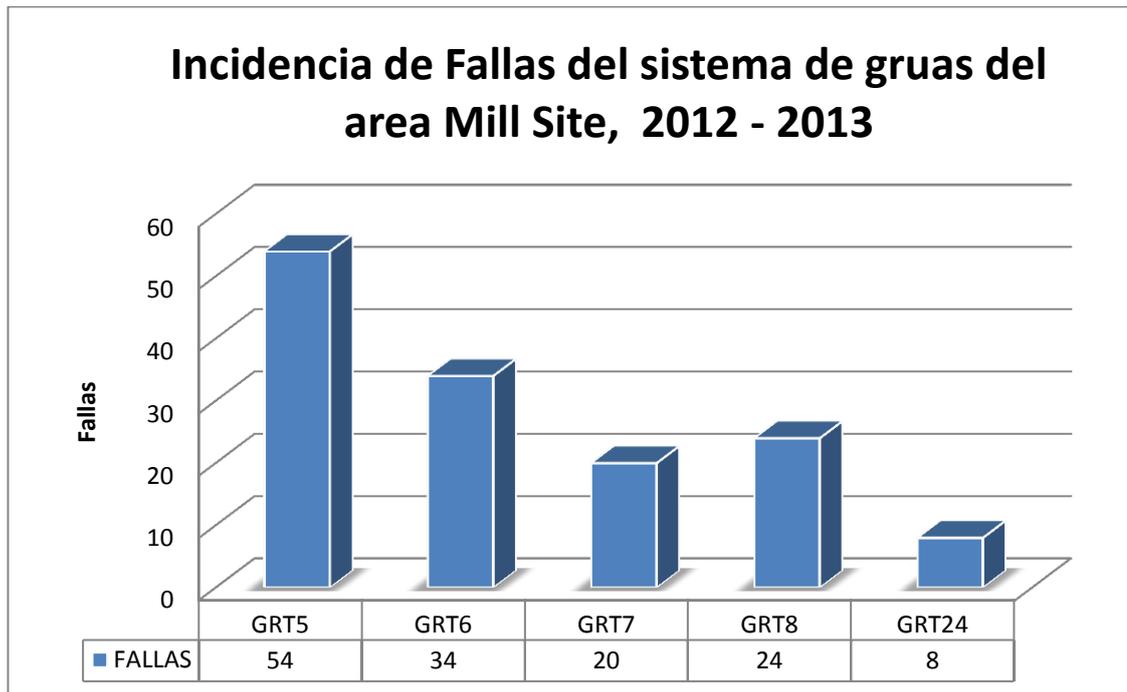
En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de fallas de los 05 sistemas de grúas (GRT5, GRT6, GRT7, GRT8, GRT24) presentes en el área de Mill Site, donde se puede observar que el sistema que presenta mayor incidencia de fallas es el de la grúa Shaw Box GRT5 (54 fallas/año), representado por un 38.57% del total de fallas registradas en el sistema de grúas en área Mill Site.

**Tabla 3.11. Número de fallas por equipo**

| SUBSISTEMAS                                       | Numero de Fallas (Numero) |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            | TOTAL | FALLAS    |  |
|---|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------|-----------|--|
|   | octubre                   | noviembre | diciembre | enero     | febrero  | marzo    | abril    | mayo     | junio    | julio    | agosto   | septiembre |       |           |  |
| <b>GRT5</b>                                       |                           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |           |  |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 2                         | 1         | 1         | 1         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 6     | <b>54</b> |  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 1                         | 0         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0          | 4     |           |  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                         | 1         | 0         | 0         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 2     |           |  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0                         | 1         | 1         | 2         | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 7     |           |  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                         | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 1     |           |  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 2                         | 2         | 3         | 3         | 2        | 3        | 1        | 1        | 3        | 1        | 2        | 1          | 24    |           |  |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0                         | 1         | 2         | 2         | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1          | 10    |           |  |
|   | <b>5</b>                  | <b>6</b>  | <b>8</b>  | <b>10</b> | <b>2</b> | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>2</b>   |       |           |  |
| <b>GRT6</b>                                       |                           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |           |  |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 1                         | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        | 1        | 0          | 6     | <b>34</b> |  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 1                         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          | 4     |           |  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                         | 0         | 1         | 0         | 1        | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 4     |           |  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 1                         | 0         | 0         | 0         | 2        | 0        | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 1          | 6     |           |  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                         | 0         | 0         | 2         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 0        | 0          | 4     |           |  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 20 TM     | 1                         | 2         | 0         | 0         | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 2        | 0        | 3          | 10    |           |  |
|   | <b>4</b>                  | <b>3</b>  | <b>1</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b> | <b>0</b> | <b>5</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>5</b>   |       |           |  |
| <b>GRT7</b>                                       |                           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |           |  |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0                         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 0        | 0          | 3     | <b>20</b> |  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0                         | 0         | 0         | 2         | 0        | 0        | 2        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0          | 5     |           |  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 1                         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 1     |           |  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0                         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0          | 2     |           |  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 1                         | 0         | 0         | 0         | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          | 4     |           |  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 10 TM     | 0                         | 0         | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 1          | 5     |           |  |
|   | <b>2</b>                  | <b>2</b>  | <b>2</b>  | <b>2</b>  | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>0</b> | <b>3</b> | <b>0</b> | <b>2</b>   |       |           |  |
| <b>GRT8</b>                                       |                           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |           |  |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 1                         | 0         | 0         | 0         | 3        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 2          | 8     | <b>24</b> |  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0                         | 1         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 2     |           |  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                         | 1         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 2          | 5     |           |  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 1                         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0          | 2     |           |  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                         | 0         | 0         | 0         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 2     |           |  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 10 TM     | 0                         | 0         | 2         | 0         | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1          | 5     |           |  |
|   | <b>2</b>                  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>1</b>  | <b>4</b> | <b>3</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>5</b>   |       |           |  |
| <b>GRT24</b>                                      |                           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |            |       |           |  |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0                         | 1         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 0        | 0        | 0          | 3     | <b>8</b>  |  |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0                         | 0         | 0         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 2     |           |  |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                         | 0         | 0         | 0         | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0          | 2     |           |  |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0                         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0     |           |  |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                         | 0         | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0     |           |  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 48 TM     | 0                         | 0         | 0         | 0         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 1     |           |  |
|   | <b>0</b>                  | <b>1</b>  | <b>0</b>  | <b>1</b>  | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>2</b> | <b>0</b>   |       |           |  |

Fuente: Elaboración propia

**Grafica 1.** Incidencia de fallas del sistema de grúas del área MillSite



*Fuente: Elaboración propia*

- Subsistemas a evaluar en la grúa GRT5: (1) Subsistema principal de distribución eléctrica, (2) Subsistema de control de traslación de puente, (3) Subsistema de control de carro cabina, (4) Subsistema traslación del puente, (5) Subsistema de traslación carro cabina, (6) Subsistema de ganchos principales de 50 TM, (7) Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.
- Bloque a evaluar: todos los bloques asociados a cada subsistema.

La información recopilada es la siguiente:

- Cantidad de fallas ocurridas
- MTBF ( tiempo promedio entre fallas)
- MTTR ( tiempo promedio para reparar)

d) Tasa de disponibilidad

El equipo natural de trabajo, decidió obviar la ponderación del backlog, puesto que sus valores eran muy bajos ,debido a que el estudio se realizó a componentes y para esto no se generan grandes horas hombre de trabajo pendientes.

Los valores recopilados se muestran en las tablas (tablas 1 – 7). Donde se refleja que el subsistema que tiene mayor incidencia de fallas es el (6) subsistemas de los 04 ganchos principales de 50TM totalizando 24 fallas por año representando 43.64% de las fallas registradas en el sistema grúa puente GRT5.

Todos los datos recopilados se utilizan para desarrollar los análisis Pareto, criticidad, AMEF.

- **Datos de fallas subsistema principal de distribución eléctrica (01)**

El subsistema control principal de distribución eléctrica, presenta un promedio muy bajo de fallas por año (6 fallas/año), lo que se traduce a una aplicación del plan de mantenimiento a dicho subsistema

**Tabla 3.12.** Datos del subsistema principal de distribución eléctrica  
(01).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 6                      | 555           | 17         | 97.03%                 |
| <b>TOTAL</b>      | <b>6</b>               |               |            |                        |

Fuente: Elaboración Propia

- **Datos de fallas subsistema de control de traslación del puente  
(02)**

El subsistema control principal de traslación del puente, presenta un promedio muy bajo de fallas por año (4 fallas/año), lo que se traduce a una mala aplicación del mantenimiento eléctrico, afectando al desplazamiento del puente.

**Tabla 3.13.** Datos del subsistema de control de traslación del puente  
(02).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 4                      | 586           | 15         | 97.51%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>4</b>               |               |            |                               |

Fuente: Elaboración propia

- **Datos de fallas subsistema de control del carro cabina (03)**

El subsistema control carro cabina, presenta un promedio muy bajo de fallas por año (2 fallas/año), lo que se traduce a consecuencia del no adecuado mantenimiento eléctrico del control del carro cabina.

**Tabla 3.14.** Datos del subsistema de control del carro cabina (03).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 2                      | 661           | 5          | 99.25%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2</b>               |               |            |                               |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Datos de fallas subsistema traslación puente (04)**

El subsistema traslación del puente, presenta un promedio muy bajo de fallas por año (7 fallas/año), lo que se traduce a una aplicación del plan de mantenimiento mecánico y a la ruptura de stock con la disponibilidad de repuestos de dicho subsistema.

**Tabla 3.15.** Datos del subsistema de traslación puente (04).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 7                      | 636           | 11         | 98.30%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>7</b>               |               |            |                               |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Datos de fallas subsistema de traslación carro cabina (05)**

El subsistema de traslación carro cabina, presenta un promedio muy bajo de fallas por año (1 fallas/año), lo que se traduce a una aplicación del plan de mantenimiento a dicho subsistema.

**Tabla 3.16.** Datos del subsistema de traslación carro cabina (05).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 1                      | 648           | 1          | 99.85%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>1</b>               |               |            |                               |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Datos de fallas subsistema de ganchos principales de 50TM (06)**

El subsistema de ganchos principales de 50TM, presenta un promedio fuera de lo moderado de fallas por año (24 fallas/año), con un tiempo promedio fuera de servicio de (42hrs/año), lo que se traduce a una aplicación del plan de mantenimiento a dicho subsistema.

**Tabla 3.17.** Datos del subsistema de 04 ganchos principales de 50TM (06).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 24                     | 468           | 42         | 91.83%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>24</b>              |               |            |                               |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Datos de fallas subsistema de gancho auxiliar de 5TM (07)**

El subsistema de gancho auxiliar de 5TM, presenta un promedio fuera de lo moderado de fallas por año (10 fallas/año) y un tiempo promedio fuera de servicio de (18hrs/año), lo que se traduce a una aplicación del plan de mantenimiento y baja disponibilidad de repuestos en el primer semestre del año en estudio a dicho subsistema.

**Tabla 3.18.** Datos del subsistema de gancho auxiliar de 5TM (07).

| AÑO               | FRECUENCIA<br>(número) | MTBF<br>(hrs) | MTTR (hrs) | Tasa<br>Disponibilidad<br>(%) |
|-------------------|------------------------|---------------|------------|-------------------------------|
| OCT2012 - SET2013 | 10                     | 685           | 18         | 97.44%                        |
| <b>TOTAL</b>      | <b>10</b>              |               |            |                               |

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2. ANALISIS DE PARETO:

El análisis de Pareto se realizó tomando en cuenta la frecuencia de fallas y el porcentaje de ocurrencia total de cada subsistema durante el periodo de estudio.

Este análisis refleja que los subsistemas (6) Subsistema de ganchos principales de 50 TM, (7) Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM y (4) Subsistema traslación del puente; representan el 74.55% del total de las fallas del sistema de puente grúa.

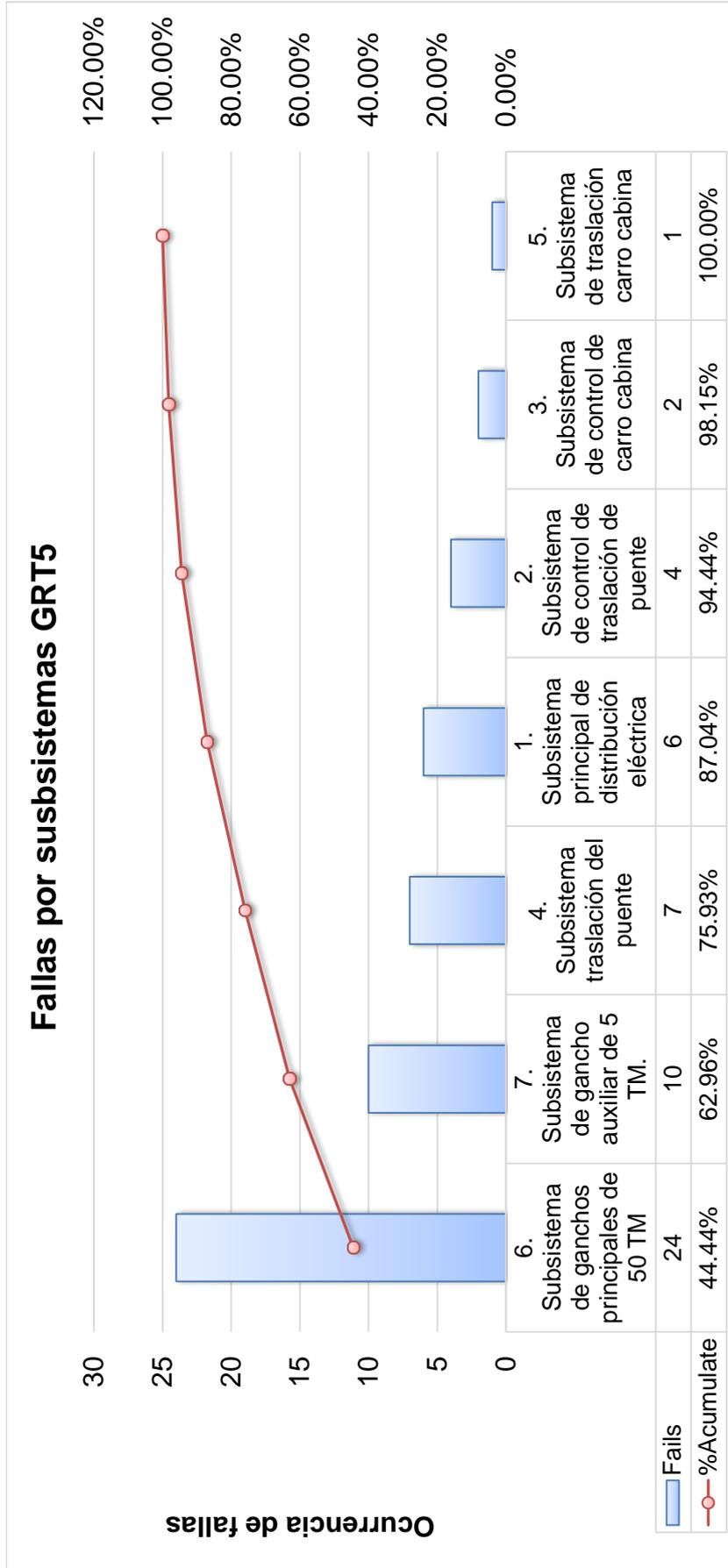
Permitiendo enfocar en cuales subsistemas se deben enfocar las actividades correctivas y/o preventivas para contribuir con la disminución de fallas del sistema de puentes grúa del área Mill Site.

**Tabla 3.19.** Jerarquización de subsistemas.

| Subsistemas                                       | Frecuencias | % de ocurrencia | % acumulado |
|---|-------------|-----------------|-------------|
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 24          | 44.44%          | 44.44%      |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 10          | 18.52%          | 62.96%      |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 7           | 12.96%          | 75.93%      |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 6           | 11.11%          | 87.04%      |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4           | 7.41%           | 94.44%      |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 2           | 3.70%           | 98.15%      |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 1           | 1.85%           | 100.00%     |
|   | <b>54</b>   | <b>100.00%</b>  |             |

*Fuente: ERP Ellipse*

**Grafica 2.** Análisis diagrama de Pareto – sistema de puente grúa GRT5



Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. ANALISIS DE CRITICIDAD

Debido a la cantidad de subsistemas (07) que componen el sistema de puente grúa GRT5, es necesario establecer a cuales se debe dirigir los esfuerzos y metodologías de mantenimiento a fin de optimizar los recursos con los que cuenta el departamento de mantenimiento.

Realizar el análisis de criticidad de un sistema se toma en cuenta la metodología planteada por *Huerto Mendoza (2001)* “se define los criterios de evaluación, se lista la información requerida de los subsistemas para la evaluación, se selecciona el método de evaluación (ponderación y cuantificación), se aplica el procedimiento (formula de criticidad) y finalmente se jerarquiza la lista”.<sup>19</sup>

Los criterios de evaluación definidos en la metodología que se aplicaran a los subsistemas en este estudio son los siguientes:

- *Frecuencia de fallas*: son las veces que falla cualquier componente. (bloqueo del subsistema).
- *Impacto operacional*: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla. Se expresa por la siguiente formula:

$$\text{Imp. Op.} = (\text{TPPR} \times \text{IMP. PROD.})$$

Donde;

IMP. OP. : Impacto operacional

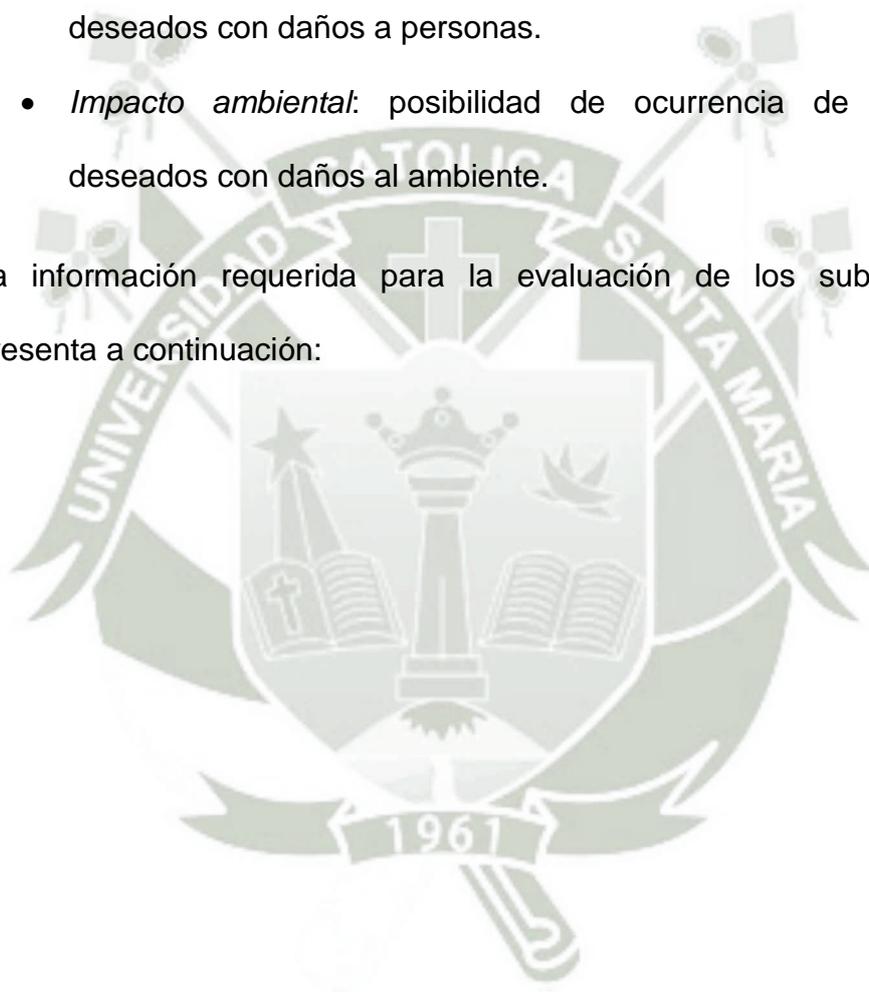
---

<sup>19</sup> Huerto Mendoza (2001)

IMP. PROD. : indica la evaluación cualitativa del impacto que tienen el subsistema en la producción.

- *Tiempo promedio para reparar*: es el tiempo promedio para reparar la falla.
- *Costo de reparación*: costo de la falla.
- *Impacto de seguridad*: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.
- *Impacto ambiental*: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

La información requerida para la evaluación de los subsistemas se presenta a continuación:



**Tabla 3.20.** Cuadro de impacto de la producción de los subsistemas

| SUBSISTEMAS                                       | FRECUENCIA<br>(fallas/año) | MTTR<br>(Hr/año) | COSTO<br>REPARACION | IMPACTO<br>PRODUCCION |
|---|----------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 6.00                       | 17               | \$ 11,510.42        | 1                     |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4.00                       | 15               | \$ 10,156.25        | 0.4                   |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 2.00                       | 5                | \$ 3,385.42         | 0.4                   |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 7.00                       | 11               | \$ 7,447.92         | 0.5                   |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 1.00                       | 1                | \$ 677.08           | 0.8                   |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 24.00                      | 42               | \$ 28,211.81        | 1                     |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 10.00                      | 18               | \$ 12,187.50        | 1                     |

*Fuente: Elaboración propia*

El método de evaluación consiste en asignar ponderaciones y puntuaciones a los criterios de evaluación considerando el comportamiento del sistema GRT5 de manera integral, es decir tomando en cuenta su comportamiento operativo y su entorno. La guía de criticidad se define de la siguiente manera (Ver capítulo de resultados).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Para la etapa de resultados, se hicieron visitas al área de procesos para hacer inspección visual, auditiva y táctil al sistema, además de recolección de parámetros operacionales. En cuanto a revisión de historiales de falla e intervenciones de mantenimiento, no se encontraron registros útiles.

Se logra hacer la comparación del plan actual de mantenimiento con el plan propuesto, a su vez, la propuesta de optimización del plan de mantenimiento, conlleva a volver a calcular los indicadores de mantenimiento propuestos en este trabajo. Para lo cual, es necesario obtener el MTBF, MTTR.

Para finalizar se evalúa el impacto económico que traería esta optimización del plan de mantenimiento.

**Tabla 4.1.** Guía de criticidad para el modelo de mantenimiento

|   |                |
|---|----------------|
| <b>1. FRECUENCIA DE FALLAS</b>  | <b>Puntaje</b> |
| Menos de 5 por año  | 1              |
| Entre 5 y 10 por año  | 2              |
| Entre 10 y 15 por año   | 4              |
| Más de 15 por año   | 6              |
| <b>2. IMPACTO OPERACIONAL POR AÑO</b>   | <b>Puntaje</b> |
| <b>2.1. Tiempo promedio para reparar (TPPR)</b>   | <b>Puntaje</b> |
| Menos de 8 horas  | 1              |
| Entre 8 y 24 horas  | 2              |
| Entre 24 a 50 horas   | 4              |
| Más de 50 horas   | 6              |
| <b>2.2. Impacto en producción (por falla)</b>   | <b>Puntaje</b> |
| No afecta la producción   | 0.05           |
| 40 % de impacto   | 0.3            |
| 50 % de impacto   | 0.5            |
| 80 % de impacto   | 0.8            |
| 100 % de impacto  | 1              |
| <b>2.3. Costo de reparación (\$)</b>  | <b>Puntaje</b> |
| Menos de 5 mil  | 3              |
| Entre 5 a 40 mil  | 5              |
| Entre 40 a 85 mil   | 10             |
| Más de 85 mil   | 25             |
| <b>2.4. Impacto en la seguridad del personal (cualquier tipo de daño, heridas, fatalidad)</b> | <b>Puntaje</b> |
| Si  | 35             |
| No  | 0              |
| <b>2.5. Impacto ambiental (daños a terceros, fuera de la instalación)</b>                     | <b>Puntaje</b> |
| Si  | 30             |
| No  | 0              |

*Fuente: Elaboración propia*

Luego de definir el método de evaluación, se aplica el procedimiento utilizando la ecuación de criticidad para cada subsistema y los resultados se registran en la tabla 4.2.

La ecuación de criticidad se presenta a continuación:

$$\text{Criticidad} = (\text{Imp. Oper.} + \text{Costo rep.} + \text{Imp. deseg.} + \text{imp. amb.}) \times \text{Frec.}$$

**Donde:**

Imp. Oper. = Impacto operacional (TPPR x IMP. OPER)

Costo rep. = Costo de reparación

Imp. Seg. = Impacto de seguridad

Imo. Amb. = Impacto ambiental

Frec. = Frecuencia

**Tabla 4.2.** Resultados evaluación de criticidad.

| Subsistemas                                       | TPPR  | Imp. Prod. | Imp. Oper. | Costo Rep. | Imp. Seg. | Imp. Amb. | Frec. | Total |
|---|-------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------|-------|
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 17.00 | 1          | 17         | 5          | 0.00      | 0         | 2.00  | 44    |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 15.00 | 0.4        | 6          | 5          | 0.00      | 0         | 1.00  | 11    |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 5.00  | 0.4        | 2          | 3          | 0.00      | 0         | 1.00  | 5     |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 11.00 | 0.5        | 5.5        | 5          | 0.00      | 30        | 2.00  | 81    |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 1.00  | 0.8        | 0.8        | 3          | 35.00     | 0         | 1.00  | 38.8  |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 41.67 | 1          | 41.7       | 5          | 35.00     | 0         | 6.00  | 490   |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 18.00 | 1          | 18         | 5          | 35.00     | 0         | 4.00  | 232   |

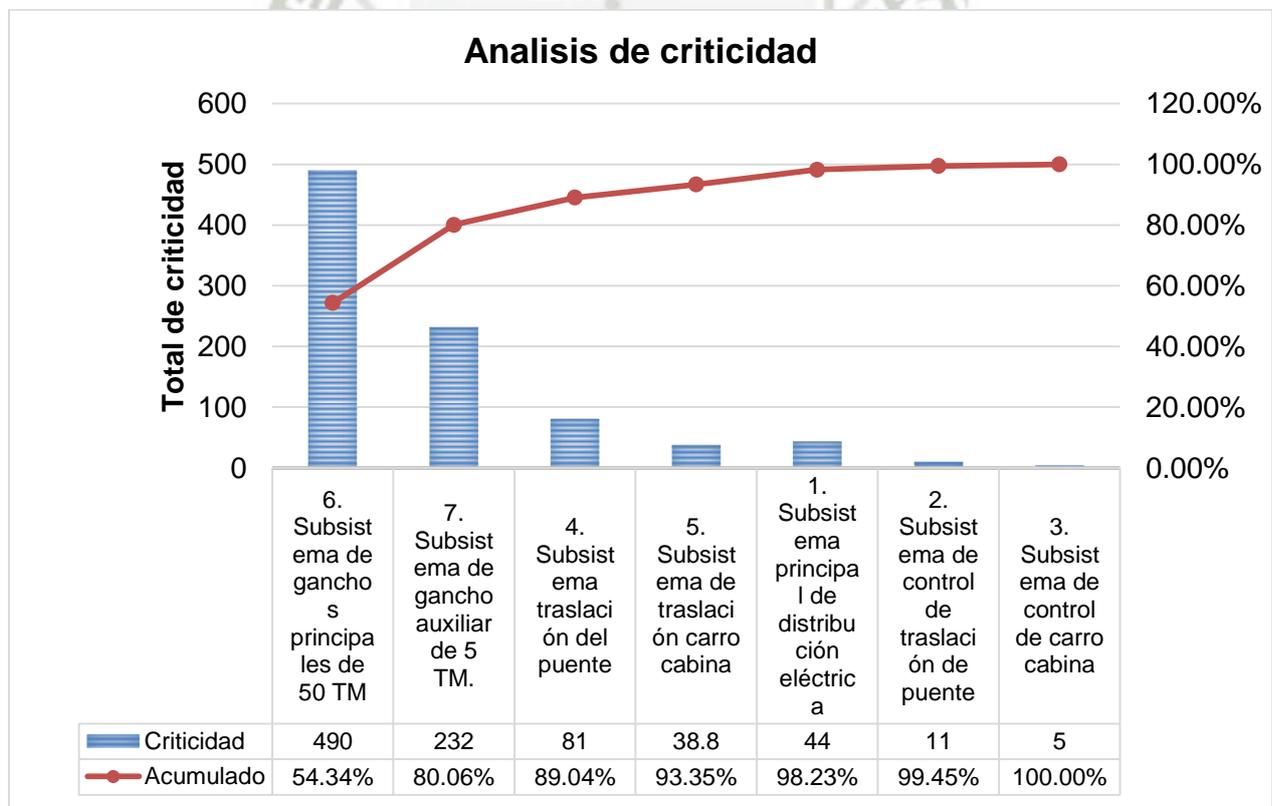
Fuente: Elaboración Propia.

Se muestran los resultados del estudio análisis de criticidad para los siguientes subsistemas de sistemas de grúas en estudio, por medio de una gráfica Pareto para observar los subsistemas más críticos.

Como resultado final del análisis de criticidad, se pudo establecer los 02 subsistemas que hacen parte del estudio de análisis de modos y efecto de fallas (AMEF), estos son:

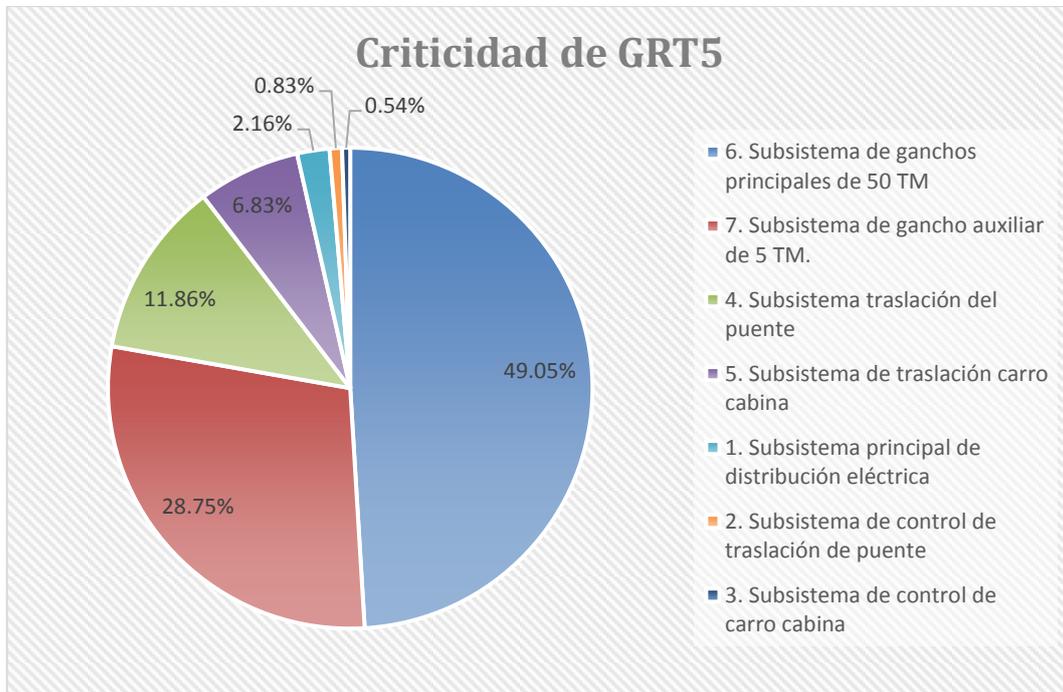
- (6): Subsistema de ganchos principales de 50 TM.
- (7): Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.

**Grafica 3. Análisis de criticidad – sistema de puente grúa GRT5**



Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.** Distribución de criticidad – subsistema del puente grúa GRT5



*Fuente: Elaboración propia.*

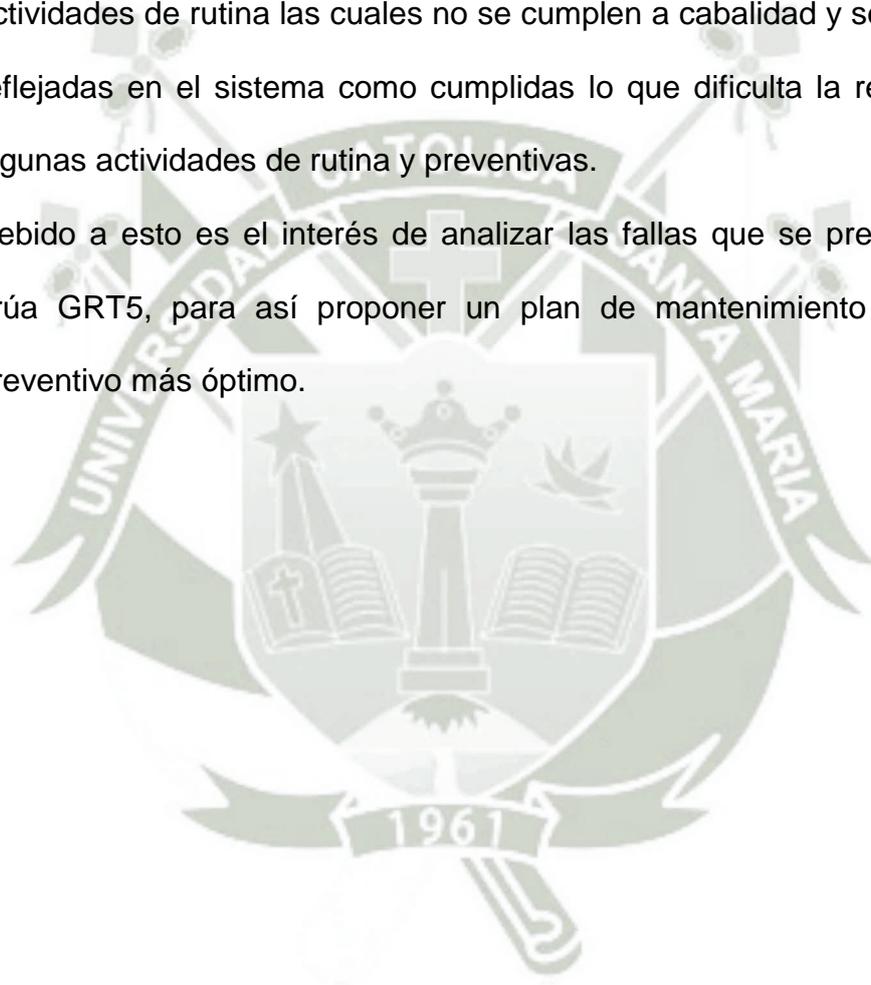
#### 4.4. ANALISIS DE PLANES ACTUALES DE MANTENIMIENTO:

El área de molinos – Mill Site, cuenta (dentro de otros) con el sistema de grúa Shaw Box, el cual cuenta con 07 subsistemas. El encargado de realizar el mantenimiento a estos equipos es el Departamento de Mantenimiento de la Superintendencia de Mantenimiento Concentradora.

Para no interferir en el proceso de producción, se realiza la parada operacional de una grúa por día, para la realización de las actividades de mantenimiento de la misma.

Mediante entrevistas no estructuradas a los supervisores de mantenimiento, observación directa de la realización de las actividades de rutina semanales al sistema de grúa GRT5 y su formato a través del Formato de Evaluación de mantenimiento, se observó que en el departamento de mantenimiento no se lleva un control adecuado de registros y mantenimientos de los equipos, el plan cuenta con 14 actividades de rutina las cuales no se cumplen a cabalidad y se encuentran reflejadas en el sistema como cumplidas lo que dificulta la realización de algunas actividades de rutina y preventivas.

Debido a esto es el interés de analizar las fallas que se presentan en la grúa GRT5, para así proponer un plan de mantenimiento de rutina y preventivo más óptimo.

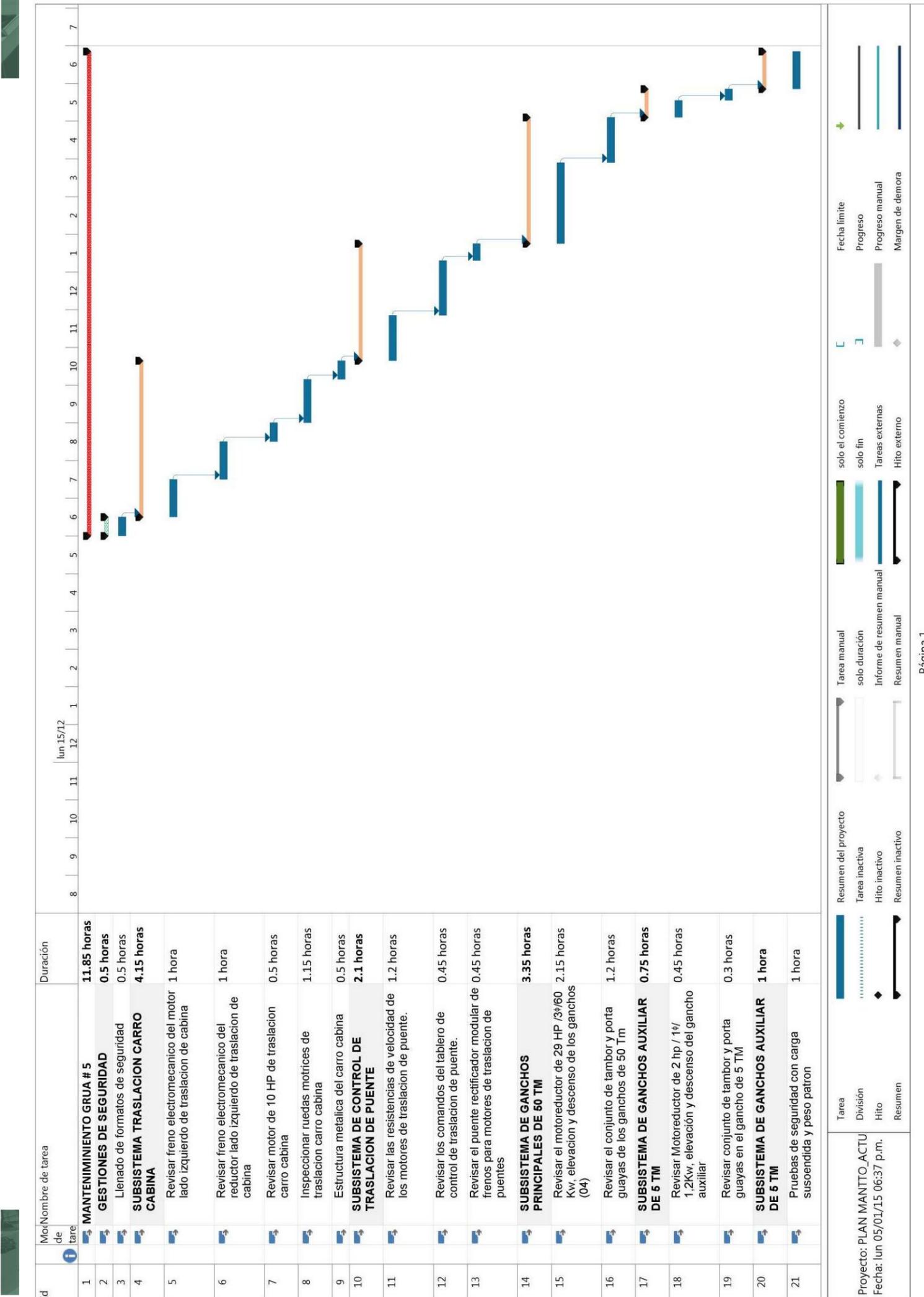


**Tabla 4.3.** Actividades del mantenimiento actual

| <b>GRUA PUENTE 5 - Molinos Sur - Mill Site</b>   | <b>11.85 HORAS</b> | <b>PREC.</b> |
|--|--------------------|--------------|
| <b>GESTIONES DE SEGURIDAD</b>  | <b>0.5 horas</b>   |              |
| Llenado de formatos de seguridad   | 0.5 horas          | A            |
| <b>SUBSISTEMA TRASLACION CARRO CABINA</b>  | <b>4.15 horas</b>  |              |
| Revisar freno electromecánico del motor lado izquierdo de traslación de cabina               | 1 hora             | B            |
| Revisar freno electromecánico del reductor lado izquierdo de traslación de cabina            | 1 hora             | C            |
| Revisar motor de 10 HP de traslación carro cabina  | 0.5 horas          | D            |
| Inspeccionar ruedas motrices de traslación carro cabina                                      | 1.15 horas         | E            |
| Estructura metálica del carro cabina   | 0.5 horas          | F            |
| <b>SUBSISTEMA DE CONTROL DE TRASLACION DE PUENTE</b>   | <b>2.1 horas</b>   |              |
| Revisar las resistencias de velocidad de los motores de traslación de puente.                | 1.2 horas          | G            |
| Revisar los comandos del tablero de control de traslación de puente.                         | 0.45 horas         | H            |
| Revisar el puente rectificador modular de frenos para motores de traslación de puentes       | 0.45 horas         | I            |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS PRINCIPALES DE 50 TM</b>  | <b>3.35 horas</b>  |              |
| Revisar el moto reductor de 29 HP /3 $\phi$ /60 KW, elevación y descenso de los ganchos (04) | 2.15 horas         | J            |
| Revisar el conjunto de tambor y porta guayas de los ganchos de 50 Tm                         | 1.2 horas          | K            |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS AUXILIAR DE 5 TM</b>  | <b>0.75 horas</b>  |              |
| Revisar Moto reductor de 2 hp / 1 $\phi$ / 1,2Kw, elevación y descenso del gancho auxiliar   | 0.45 horas         | L            |
| Revisar conjunto de tambor y porta guayas en el gancho de 5 TM                               | 0.3 horas          | M            |
| <b>SUBSISTEMA DE GANCHOS AUXILIAR DE 5 TM</b>  | <b>1 hora</b>      |              |
| Pruebas de seguridad con carga suspendida y peso patrón                                      | 1 hora             | N            |

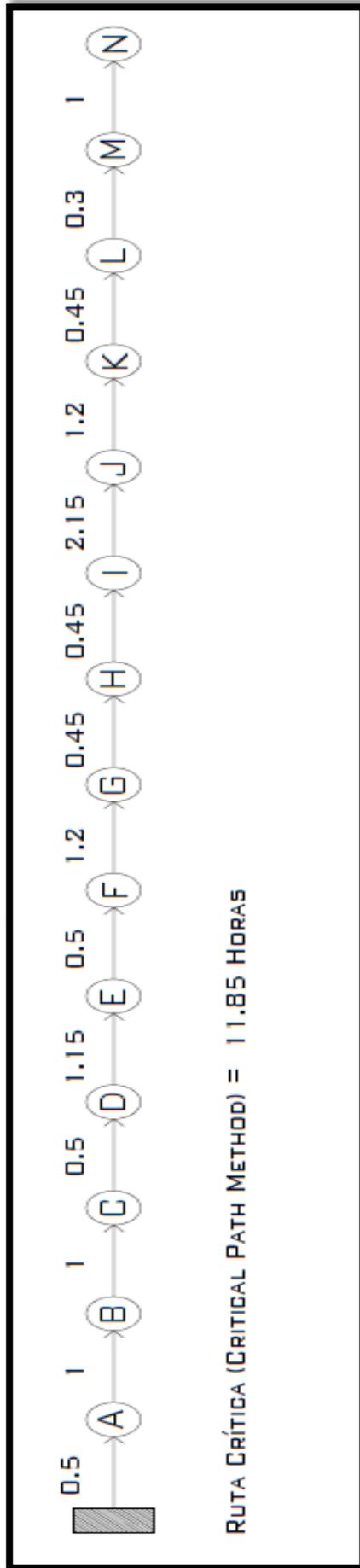
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.1. Diagramas Gantt Plan de Mantenimiento Actual



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.2. Diagrama CPM del mantenimiento actual



Fuente: Elaboración Propia

Mediante esta ruta crítica, podemos apreciar que se contaba con 14 tareas, una consecutiva de la otra, generando aun así, un tiempo de 11.85 horas / día.

#### 4.5. ANALISIS DE MODOS Y EFECTO DE FALLAS:

Para elaborar el AMEF al subsistema más críticos obtenidos en el análisis de criticidad realizado anteriormente, se toma en cuenta el formato presentado en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Formato de AMEF**

| DESCRIPCION<br>O NUMERO DE<br>EQUIPO                             | FUNCION DE LA<br>OPERACION   | FALLA POTENCIAL                                       |   |   | CONTROLES<br>ACTUALES   | EVALUACION |           |           |        | AJUSTE  |
|--|--|---|---|---|---|------------|-----------|-----------|--------|---|
|  |  | MODO DE<br>FALLA                                      | EFECTO<br>DE FALLA                              | CAUSA DE<br>FALLA   |   | O          | S         | D         | IPR    |   |
| 1  | 2  | 3   | 4   | 5   | 6   | 7          | 8         | 9         | 10     | 11  |
| DESCRIPCION<br>DEL EQUIPO O<br>SUBENSAMBLE<br>QUE SE<br>ANALIZA. | FUNCION Y<br>OPERACION DEL<br>COMPONENTE O<br>EQUIPO QUE HA<br>DE ANALIZAR | DESCRIBIR<br>CADA UNA<br>DE LAS<br>FALLAS<br>POSIBLES | DESCRIBIR<br>LOS<br>EFECTOS<br>DE LAS<br>FALLAS | ENUMERAR<br>TODAS LAS<br>POSIBLES<br>CAUSAS DE<br>CADA MODO<br>DE FALLA | ENUMERAR<br>LOS<br>CONTROLES<br>QUE<br>PREVIENEN<br>CADA MODO<br>DE FALLA | OCURRENCIA | SEVERIDAD | DETECCION | RIESGO | ACCION<br>CONTINGENTE<br>ACCION<br>PREVENTIVA<br>ACCION<br>CORRECTIVA |

Fuente: Curso AMEF. Crespo, German. Junio 2006

A continuación se describe cada columna que compone el formato utilizado:

- **Descripción o número de equipos (columna 1):** se describe el nombre del equipo a realizar con la mayor información técnica del mismo.
- **Función de la operación (columna 2):** se reúne toda la información que se tenga de la función y operación que se tenga del equipo a analizar. Además se puede anexar otra columna que describa la falla funcional que puede tener el equipo.
- **Modo de falla (columna 3):** se describe los diferentes modos de falla que tengan relación con la falla funcional del equipo.
- **Efecto de falla (columna 4):** se describe los más específico posible los efectos de la falla, tal como ocurrieron, tal como observaron o tal como podrían ocurrir.
- **Causa de la falla (columna 5):** se enumeran todas las posibles causas de cada modo de falla y correlacionadas con el efecto de falla.
- **Controles (columna 6):** se enumera todos los controles que previenen o detectan la causa de las fallas, en caso de que no existan se hace un distingo de ello.
- **Ocurrencia (columna 7):** se refiere a la probabilidad de la falla ocurra, considerando los controles existentes para prevenir la ocurrencia de las causas, los criterios de evaluación se establecen de acuerdo a la siguiente tabla.

- **Severidad (Columna 8):** es el factor que representa la gravedad de los efectos de la falla después de que ha ocurrido, como podrá ocurrir o como se observará. Los efectos se cuantifican en una escala del 1 al 10, siendo el nivel 10 el más severo. Cada falla funcional y su modo de falla se evalúan tomando en cuenta la siguiente tabla.

**Tabla 4.5. Índice de Severidad**

| EFEECTO             | CRITERIO: SEVERIDAD DEL EFECTO PARA UN AMEF APLICADO A PROCESOS   | NIVEL |
|---------------------|---|-------|
| Peligroso sin aviso | Puede poner en peligro al operador de la máquina. La falla afecta la operación segura del equipo. La falla ocurrirá sin aviso.  | 10    |
| Peligroso con aviso | Puede poner en peligro al operador de la maquina o del ensamblador. La falla afecta la operación segura del equipo. La falla ocurrida con aviso.                                  | 9     |
| Muy alto            | Interrupción mayor en la línea de producción. El 100% del equipo puede llegar a ser paralizado. El equipo queda inoperativo con pérdida de su función primaria.                   | 8     |
| Alto                | Interrupción menor de la línea de producción. Algo del equipo puede ser recuperado. El equipo es utilizable, pero algunos aspectos de confort y comodidad se verán afectados.     | 7     |
| Moderado            | Interrupción menor de la línea de producción. Una parte del equipo deberá ser excluido. El equipo es utilizable, pero algunos aspectos de confort y comodidad se verán afectados. | 6     |
| Bajo                | Interrupción menor de la línea de producción. Una parte del equipo deberá ser reparado. El equipo es utilizable, pero algunos aspectos de confort y comodidad se verán afectados. | 5     |
| Muy bajo            | Interrupción menor de la línea de producción. El producto podrá ser reparado.   | 4     |
| Menor               | Interrupción menor de la línea de producción. Una parte del equipo es posible deba ser reparado en la línea o fuera de ella (retoque).  | 3     |
| Muy menor           | Interrupción menor de la línea de producción. Una parte del producto es posible deba ser reparado en la línea o fuera de ella (retoque).  | 2     |
| Muy menor           | El modo de falla no tiene efecto.   | 1     |

*Fuente: Curso AMEF, Crespo German. Junio 2006*

*Elaboración propia*

- **Detección (Columna 9):** es la probabilidad de detectar el efecto de la falla antes de que esta llegue a presentarse en forma definitiva. Para determinar esta probabilidad, se utiliza una escala del 1 al 10. La evaluación de la detección de las fallas se realizan por medio de la siguiente tabla (Ver tabla 14) la cual tiene las siguientes observaciones.
  - ✓ Valores altos indican una pérdida en la capacidad de detección.
  - ✓ Las tablas no son cuantitativas, se emplean términos relativos.
  - ✓ Los adjetivos utilizados para describir la probabilidad de detección indican una relación generalmente lineal.
  - ✓ Un valor de detección igual a 1, no implica 100% de detección.

**Tabla 4.6. Índice de detección**

| DETECCION          | CRITERIO: PROBABILIDAD DE DETECCION POR CONTROL DE PROCESOS  | NIVEL |
|--------------------|--|-------|
| Casi imposible     | No existen controles para detectar el modo de la falla o la causa.   | 10    |
| Muy remota         | Probabilidad muy remota que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 9     |
| Remota             | Probabilidad remota que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 8     |
| Muy baja           | Probabilidad muy baja que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 7     |
| Baja               | Probabilidad baja que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 6     |
| Moderada           | Probabilidad moderada que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 5     |
| Moderadamente alta | Probabilidad moderadamente alta que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 4     |
| Alta               | Probabilidad alta que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 3     |
| Muy alta           | Probabilidad muy alta que los controles vigentes detectaran el modo de falla o la causa.   | 2     |
| Casi certeza total | Los controles vigentes detectaran casi con certeza el modo de falla o la causa. Controles de detección confiables y conocidos en procesos similares. | 1     |

*Fuente: Curso AMEF. Crespo German. Junio 2006*

- **IPR (columna 10):** es el índice de prioridad de riesgo. Este se define por la siguiente ecuación.

$$IPR = O \times S \times D$$

**Donde:**

O = Ocurrencia

S = Severidad

D = Detección

- Ajuste (columna 11): describe las acciones preventivas y/o correctivas, para cada modo de falla, que se recomiendan para reducir el índice de prioridad de riesgo, tomando cuenta además del AMEF, el análisis estadístico de las fallas.

A continuación se ejecuta el análisis de modo y efecto de fallas del subsistema de ganchos principales de 50 TM.

- **Descripción del equipo:** subsistema de ganchos principales de 50 TM (x4)
- **Función del equipo:** elevar cargas de gran tonelaje y volumen.
- **Falla funcional:** no eleva ni desciende las cargas.
- **Modo de falla:**
  - a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente
  - b) Vibración
  - c) Fuga de aceite
  - d) Falla de los cojinetes
  - e) Falla eléctrica de fuerza y control

f) Exceso de polvo

- **Efecto de falla:**

a) No lubrica lo suficiente.

b) Desalineamiento del eje de los engranes o dientes desgastados.

c) Revienta los sellos y empaques.

d) Desgaste de los rodamientos.

e) No acciona la parte mecánica por problemas eléctricos.

f) Endurece la grasa interna de la máquina y maltrata el circuito de control.

- **Controles actuales:**

a. Debe lubricarse con periodicidad regular, para evitar calentamientos.

b. Llevar registro de vida útil de piezas y repuestos. Tomar decisión de cambiar.

c. Cambio periódico de sellos y empaques, no forzarlos a cargar mayores a la nominal.

d. Cambio de los rodamientos fuera del periodo, éste dependerá de la frecuencia de uso y de la fuerza aplicada sobre éstas.

e. Ajustar borneras eléctricas y aplicar limpia contactos con frecuencia semanal.

f. Cumplir con el mantenimiento preventivo, dentro de las tareas existe la de limpieza y sopleteo del equipo con aire seco.

- **Ocurrencia:**

Para realizar la evaluación de la ocurrencia de cada modo de falla se compila la frecuencia de cada modo de falla del subsistema de ganchos principales de 50 TM., el tiempo de operación de cada subsistema (24Hrs/año), la probabilidad de ocurrencia de fallas y el nivel de ocurrencia de la tabla 15.

**Tabla 4.7.** *Evaluación de ocurrencia subsistemas de ganchos principales de 50 TM.*

| FALLA FUNCIONAL                                    | MODO DE FALLA  | FRECUENCIA / AÑO | PROBABILIDAD (24/ frecuencia) | NIVEL DE OCURENCIA |
|--|--|------------------|-------------------------------|--------------------|
| <b>No eleva ni desciende los molinos de bolas.</b> | a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | 5                | 4.8                           | 6                  |
|  | b) Vibración   | 1                | 24                            | 3                  |
|  | c) Fuga de aceite  | 5                | 4.8                           | 6                  |
|  | d) Falla de los cojinetes  | 2                | 12                            | 4                  |
|  | e) Falla eléctrica de fuerza y control                           | 8                | 3                             | 8                  |
|  | f) Exceso de polvo   | 3                | 8                             | 7                  |
|  |  | <b>24</b>        |                               |                    |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Severidad:**

Cada modo de falla del subsistema de ganchos principales de 50 TM., se evalúa de acuerdo a la siguiente tabla 16.

**Tabla 4.8.** *Evaluación de severidad subsistemas de ganchos principales de 50 TM.*

| FALLA FUNCIONAL                                 | MODO DE FALLA  | NIVEL DE SEVERIDAD |
|---|--|--------------------|
| <b>No eleva ni<br/>desciende<br/>las cargas</b> | a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | 5                  |
|   | b) Vibración   | 5                  |
|   | c) Fuga de aceite  | 5                  |
|   | d) Falla de los cojinetes  | 5                  |
|   | e) Falla eléctrica de fuerza y control                           | 8                  |
|   | f) Exceso de polvo   | 4                  |

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Detección:**

Cada modo de falla del subsistema de ganchos principales de 50 TM., se evalúa según la tabla 4.9.

**Tabla 4.9.** *Evaluación de detección del subsistema de ganchos principales de 50 TM.*

| FALLA FUNCIONAL                                 | MODO DE FALLA  | NIVEL DE DETECCION |
|---|--|--------------------|
| <b>No eleva ni<br/>desciende<br/>las cargas</b> | a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | 4                  |
|   | b) Vibración   | 5                  |
|   | c) Fuga de aceite  | 4                  |
|   | d) Falla de los cojinetes  | 4                  |
|   | e) Falla eléctrica de fuerza y control                           | 6                  |
|   | f) Exceso de polvo   | 3                  |

*Fuente: Elaboración propia*

- **Índice de prioridad de riesgo (IPR):**

Este índice se efectúa aplicando la ecuación en mención a cada modo de falla del subsistema en estudio. Para ello se registra una tabla que contiene las evaluaciones de ocurrencia, severidad y los valores del IPR calculado. Ver tabla 4.10.

**Tabla 4.10.** Índice de prioridad de riesgo del subsistema de ganchos principales de 50 TM.

| FALLA FUNCIONAL                                 | MODO DE FALLA  | NIVEL DE OCURRENCIA | NIVEL DE SEVERIDAD | NIVEL DE DETECCION | IPR |
|---|--|---------------------|--------------------|--------------------|-----|
| <b>No eleva ni<br/>desciende<br/>las cargas</b> | a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | 6                   | 5                  | 4                  | 120 |
|   | b) Vibración   | 3                   | 5                  | 5                  | 75  |
|   | c) Fuga de aceite  | 6                   | 5                  | 4                  | 120 |
|   | d) Falla de los cojinetes  | 4                   | 5                  | 4                  | 80  |
|   | e) Falla eléctrica de fuerza y control                           | 8                   | 8                  | 6                  | 384 |
|   | f) Exceso de polvo   | 7                   | 4                  | 3                  | 84  |

Fuente: Elaboración propia

- **Ajuste:**

Las acciones correctivas que y preventivas a seguir para disminuir los índices de prioridad de riesgo de los modos de falla del subsistema principal de ganchos de 50 TM, se describen a continuación; es importante señalar que los ajustes aplicados se basan en el análisis de los efectos de todos los modos de falla funcional del subsistema principal de ganchos de 50 TM y en la evaluación de los planes actuales de mantenimiento, pues permite evaluar las frecuencias de mantenimiento adecuadas para la disminución de índices de riesgo.

- Acción Clase A:  $IPR \geq 168$
- Acción Clase B:  $168 > IPR \geq 96$
- Acción Clase C:  $96 > IPR \geq 36$
- Acción Clase D:  $IPR < 36$

**Tabla 4.11.** *Ajuste, acciones correctivas y/o preventivas para el subsistema de ganchos principales de 50 TM.*

| FALLA FUNCIONAL                                    | MODO DE FALLA  | AJUSTE  |
|--|--|---------|
| <b>No eleva ni desciende los molinos de bolas.</b> | a) Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | Clase B |
|  | b) Vibración   | Clase C |
|  | c) Fuga de aceite  | Clase B |
|  | d) Falla de los cojinetes  | Clase C |
|  | e) Falla eléctrica de fuerza y control                           | Clase A |
|  | f) Exceso de polvo   | Clase C |

Fuente: Elaboración Propia

**Clase A:** refiere a las acciones que deben aplicar de manera inmediata debido a que forman parte de los modos de falla de los subsistemas estudiados que presentan mayor índice de riesgo. Para riesgos mayores de 168.

**Clase B:** acciones que deben tenerse en constante vigilancia, pues de no ser así, ocurrirá el desperfecto. Para riesgos menores de 168 y mayores a 96.

**Clase C:** refiere a las acciones que deben aplicarse en tercer orden de prioridad ya que incluyen los modos de fallas de los subsistemas que poseen los índices de riesgo menores a 96 y mayores o iguales a 36.

**Clase D:** presentan cuarto orden de prioridad y se ubican según corresponde a un índice menor a 36.

A continuación se presenta en la siguiente tabla el análisis de modos y efecto de fallas para el subsistema principal de ganchos de 50 Tm.

Tabla 4.12. Formato AMEF – propuesta del análisis

| ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS: SUBSISTEMA DE GANCHOS PRINCIPALES DE 50 TM. |   |   |   |   |  |  |            |   |   |        |         |
|--|---|---|---|---|--|--|------------|---|---|--------|---------|
| COMPONENTE O SISTEMA   | FUNCION   | FALLA FUNCIONAL                             | FALLA POTENCIAL   |   |  | CONTROLES ACTUALES   | EVALUACION |   |   | AJUSTE |         |
|  |   |   | MODO DE FALLA   | CAUSA RAIZ  | EFEECTO DE FALLA   |  | O          | S | D |        | IPR     |
| Subsistema de ganchos principales de 50 TM                                       | Carguo de los molinos de bolas para mantenimiento | No eleva ni desciende los molinos de bolas. | Elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente | * Aceite sucio.<br>* Mala calidad de aceite (Baja viscosidad).                                    | No lubrica lo suficiente.  | El nivel de aceite debe comprobarse regularmente mínimo una vez al mes.<br>Frecuencia de inspeccion: semanal             | 6          | 5 | 4 | 120    | Clase B |
|  |   |   | Vibración   | * Desgaste de piezas.<br>* Sobre esfuerzo de trabajo.   | Desalineamiento del eje de los engranes o dientes desgastados.             | Llevar registro de vida útil de piezas y repuestos.<br>Tomar decisión de cambiar.  | 3          | 5 | 5 | 75     | Clase C |
|  |   |   | Fuga de aceite  | * Sobre esfuerzo de trabajo a altas presiones.<br>* Llenar al nivel el aceite.                    | Revienta los sellos y empaques.  | Cambio periódico de sellos y empaques, no forzarlos a cargar mayores a la nominal.                                       | 6          | 5 | 4 | 120    | Clase B |
|  |   |   | Falla de los cojinetes  | * Sometido a sobre esfuerzo de carga.<br>* Desgaste de billas por falta de lubricación.           | Desgaste de los rodamientos.   | Cambio de los rodamientos fuera del periodo, éste dependerá de la frecuencia de uso y de la fuerza aplicada sobre éstas. | 4          | 5 | 4 | 80     | Clase C |
|  |   |   | Falla eléctrica de fuerza y control                           | * Falta de mantenimiento del sistema eléctrico.<br>Periodicidad semanal.                          | No acciona la parte mecánica por problemas eléctricos.                     | Ajustar borneras eléctricas y aplicar limpia contactos con frecuencia semanal.   | 8          | 8 | 6 | 384    | Clase A |
|  |   |   | Exceso de polvo   | * Equipo expuesto al polvo, reajustar el programa de mantenimiento preventivo; tarea de limpieza. | Endurece la grasa interna de la máquina y maltrata el circuito de control. | Cumplir con el mantenimiento preventivo, dentro de las tareas existe la de limpieza y sopleteo del equipo con aire seco. | 7          | 4 | 3 | 84     | Clase C |

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4.14.** Plan de actividades de Mantenimiento propuesto.

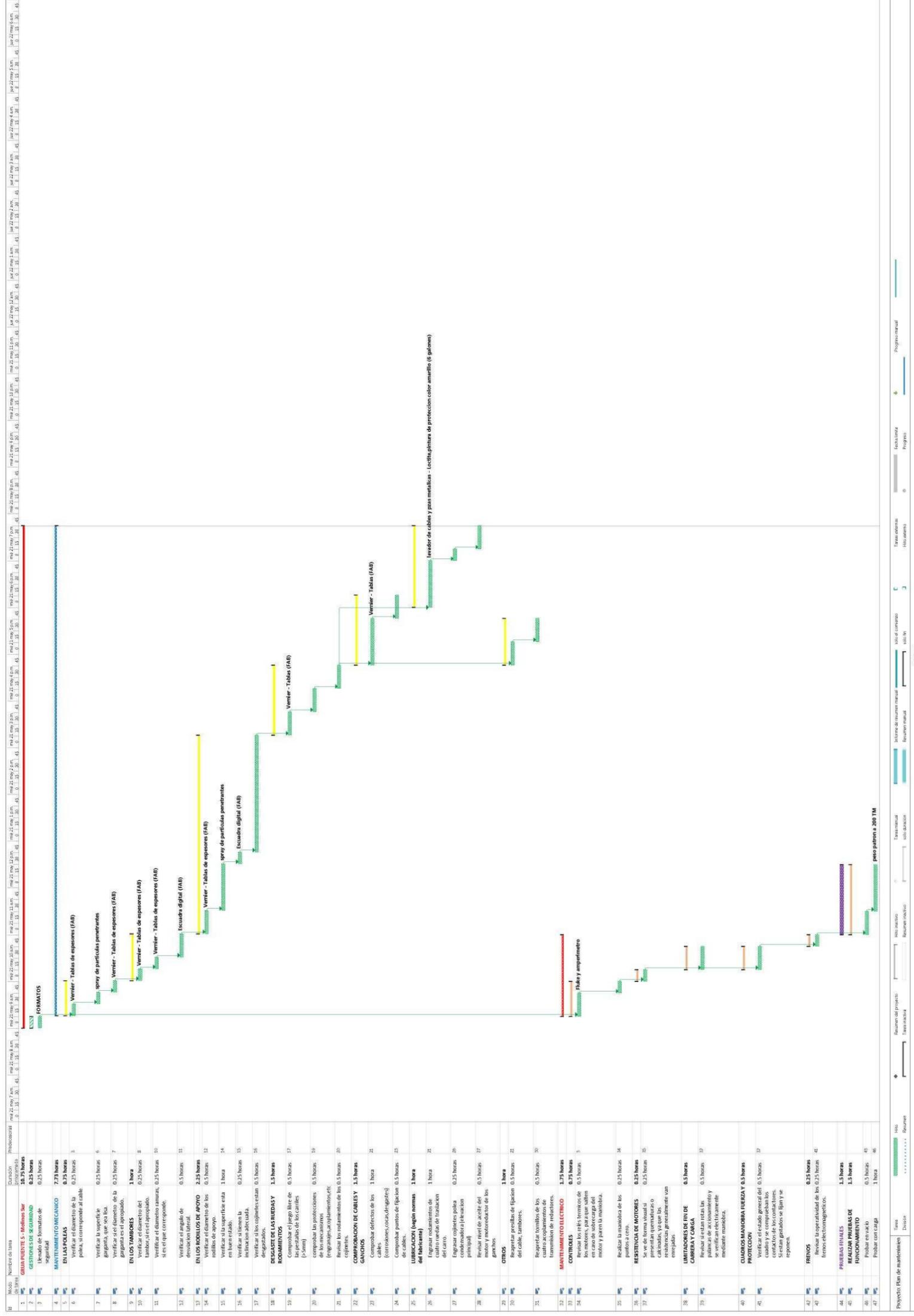
| ELEMENTO                                  | N° | TAREA / ACTIVIDAD   | Duración           | SUPERVISOR | MECANICO | ELECTRICO | LUBRICADOR | SOLDADOR | INSTRUMENT. | FRECUENCIA |
|---|----|---|--------------------|------------|----------|-----------|------------|----------|-------------|------------|
|   |    |   |                    |            |          |           |            |          |             |            |
| <b>GRUA PUENTE 5 - Molinos Sur</b>        |    |   | <b>10.75 horas</b> |            |          |           |            |          |             |            |
| <b>GESTIONES DE SEGURIDAD</b>             |    |   | <b>0.25 horas</b>  |            |          |           |            |          |             |            |
|   | 1  | Llenado de formatos de seguridad  | 0.25 horas         | 1          | 1        | 1         | 1          |          |             | S          |
| <b>MANTENIMIENTO MECANICO</b>             |    |   | <b>7.73 horas</b>  |            |          |           |            |          |             |            |
| EN LAS POLEAS                             | 1  | Verificar el diametro de la polea, si corresponde al cable  | 0.25 horas         | 1          | 1        |           |            |          |             | S          |
|   | 2  | Verificar la superficie garganta, que sea lisa.   | 0.25 horas         |            |          |           |            | 1        |             | M          |
|   | 3  | Verificar si el diametro de la garganta es el apropiado.  | 0.25 horas         |            |          |           |            | 1        |             | 3M         |
| EN LOS TAMBORES                           | 1  | Verificar el diametro del tambor, si es el apropiado.   | 0.25 horas         | 1          |          |           |            |          |             | S          |
|   | 2  | Verificar el diametro ranuras, si es el que corresponde.  | 0.25 horas         |            |          |           |            | 1        |             | M          |
|   | 3  | Verificar el angulo de desviacion lateral.  | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | 3M         |
| EN LOS RODILLOS DE APOYO                  | 1  | Verificar el diametro de los rodillos de apoyo.   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | S          |
|   | 2  | Verificar si la superficie esta en buen estado.   | 1 hora             | 1          | 1        |           |            |          |             | M          |
|   | 3  | Verificar si tienen la inclinacion adecuada.  | 0.25 horas         |            | 1        |           |            |          |             | 3M         |
|   | 4  | Verificar si los cojinetes estan desgastados.   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | M          |
| DESGASTE DE LAS RUEDAS Y RODAMIENTOS      | 1  | Comprobar el juego libre de las pestañas de los carriles (>5mm)   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | M          |
|   | 2  | Comprobar las protecciones de los mecanismos (engranajes, acoplamientos, etc)   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | S          |
|   | 3  | Revisar los rodamientos de los cojinetes.   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | M          |
| COMPROBACION DE CABLES Y GANCHOS          | 1  | Comprobar defectos de los cables (corrosiones, cocas, desgastes)  | 1 hora             | 1          | 1        |           |            |          |             | M          |
|   | 2  | Comprobar puntos de fijacion de cables.   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | S          |
| LUBRICACION (según normas del fabricante) | 1  | Engrasar rodamientos de cuatro ruedas de traslacion del carro.  | 1 hora             |            | 1        |           |            |          |             | 3M         |
|   | 2  | Engrasar cojinetes polea condensadora (elevacion principal)   | 0.25 horas         |            | 1        |           |            |          |             | 3M         |
|   | 3  | Revisar nivel de aceite del motor y motoreductor de los ganchos   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | M          |
| OTROS                                     | 1  | Reapretar presillas de fijacion del cable, tambores.  | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | S          |
|   | 2  | Reapretar tornillos de los cuatro acoplamientos de transmision de reductores.   | 0.5 horas          |            | 1        |           |            |          |             | S          |
| <b>MANTENIMIENTO ELECTRICO</b>            |    |   | <b>3.25 horas</b>  |            |          |           |            |          |             |            |
| CONTROLES                                 | 1  | Revisar los relés termicos de los motores, para que salten en caso de sobrecarga del motor y paren la maniobra.                   | 0.5 horas          | 1          |          | 1         |            |          |             | S          |
|   | 2  | Realizar la maniobra de los puntos a cero.  | 0.25 horas         |            |          | 1         |            |          |             | S          |
| RESISTENCIA DE MOTORES                    | 1  | Se ve de forma visual si presentan quemaduras o calcinadas, ya que las resistencias generalmente van enrejadas                    | 0.25 horas         |            |          | 1         |            |          |             | 3S         |
| LIMITADORES DE FIN DE CARRERA Y CARGA     | 1  | Revisar si estan rotas las palancas de accionamiento y se verifican electricamente mediante maniobra.                             | 0.5 horas          |            |          | 1         |            |          |             | S          |
| CUADROS MANIOBRA FUERZA Y PROTECCION      | 1  | Verificar el estado general del cuadro y se comprueban los contactos de los contactores. Si estan gastados se lijan y se reponen. | 0.5 horas          |            |          | 1         |            |          |             | S          |
| FRENOS                                    | 1  | Revisar la operatividad de los frenos electromagneticos.  | 0.25 horas         |            |          | 1         |            |          |             | S          |
| <b>PRUEBAS FINALES</b>                    |    |   | <b>1.5 horas</b>   |            |          |           |            |          |             |            |
| PROBAR FUNCIONAMIENTO                     | 1  | Probar en vacio   | 0.5 horas          | 1          | 1        | 1         |            |          |             | S          |
|   | 2  | Probar con carga  | 1 hora             | 1          | 1        | 1         |            |          |             | S          |

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

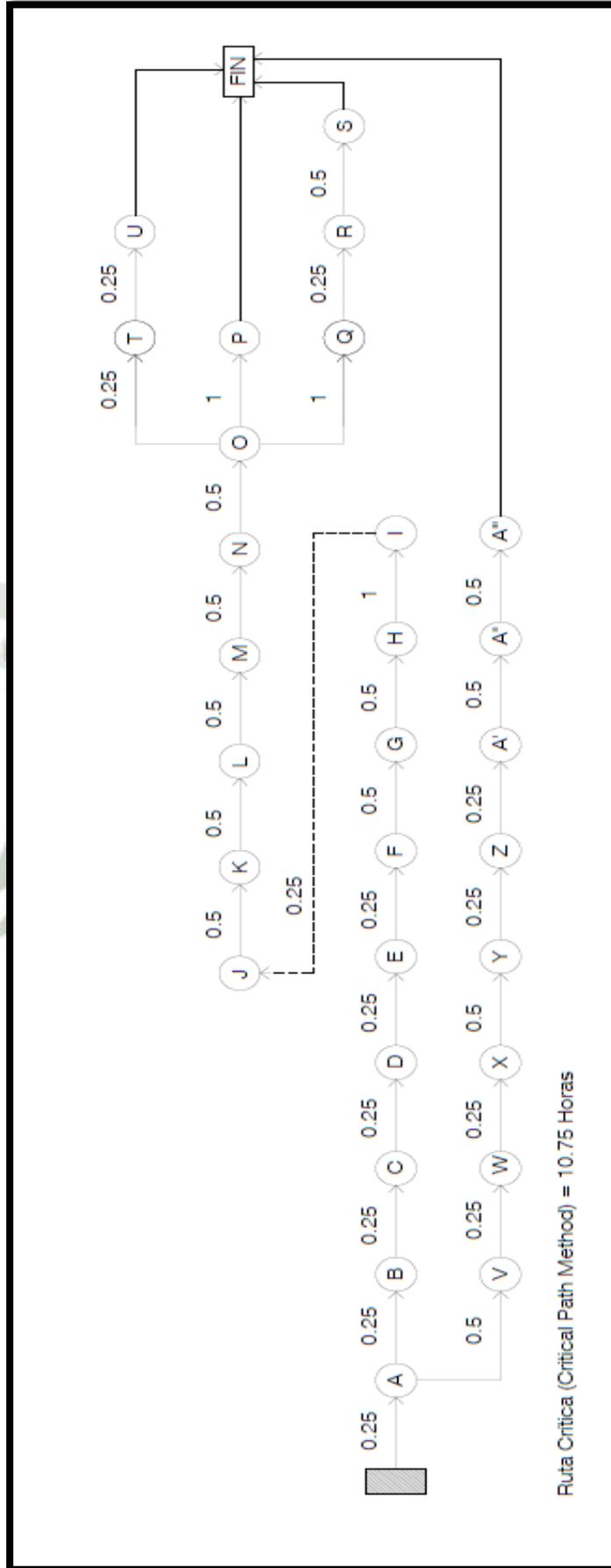
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.15. Diagrama Gantt de Mantenimiento Propuesto



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2. Diagrama CPM – Plan mantenimiento propuesto



Fuente: Elaboración Propia

En el plan propuesto, según las tareas a seguir, se puede hacer en menor tiempo (10.75 horas) y con más tareas. A su vez nos da un impacto positivo en el ahorro de recursos.

**4.6. COSTEO DEL PLAN PROPUESTO SEGÚN INDICADORES:**

**Tabla 4.16.** Numero de fallas del sistema propuesto.

| SUBSISTEMAS                                       | 1. Numero de Fallas (Numero) |           |           |          |          |          |          |          |          |          |          |            | TOTAL    | FALLAS |    |           |
|---|------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|--------|----|-----------|
|   | octubre                      | noviembre | diciembre | enero    | febrero  | marzo    | abril    | mayo     | junio    | julio    | agosto   | septiembre |          |        |    |           |
| <b>GRT5</b>                                       |                              |           |           |          |          |          |          |          |          |          |          |            |          |        |    |           |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0                            | 0         | 3         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2          | 0        | 0      | 5  | <b>39</b> |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0                            | 0         | 0         | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 3        | 0        | 0        | 0          | 0        | 0      | 5  |           |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0                            | 0         | 0         | 0        | 0        | 3        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        | 0      | 3  |           |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0                            | 5         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 4        | 0        | 0          | 0        | 0      | 9  |           |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0                            | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        | 0      | 0  |           |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0                            | 0         | 3         | 0        | 2        | 2        | 0        | 0        | 0        | 3        | 0        | 0          | 3        | 0      | 13 |           |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0                            | 0         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0          | 0        | 0      | 4  |           |
|   | <b>0</b>                     | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>3</b> | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>2</b>   | <b>7</b> |        |    |           |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17. Costo parcial y total por el número de fallas - propuesta

| SUBSISTEMAS                               | octubre     | noviembre       | diciembre       | enero           | febrero         | marzo           | abril       | mayo        | junio           | julio           | agosto          | septiembre      | TOTAL            | FALLAS    |
|---|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
|   | GRT5        |                 |                 |                 |                 |                 |             |             |                 |                 |                 |                 |                  |           |
| 1. S. principal de distribución eléctrica | \$ -        | \$ -            | \$ 2,031        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ 1,354        | \$ -            | \$ 3,385         |           |
| 2. S. de control de traslación de puente  | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ 1,354        | \$ -            | \$ -            | \$ -        | \$ -        | \$ 2,031        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ 3,385         |           |
| 3. S. de control de carro cabina          | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ 2,031        | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ 2,031         |           |
| 4. S. traslación del puente               | \$ -        | \$ 3,385        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ 2,708        | \$ -            | \$ -            | \$ 6,094         |           |
| 5. S. de traslación carro cabina          | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -             | \$ 26,406 |
| 6. S. de ganchos principales de 50 TM     | \$ -        | \$ -            | \$ 2,031        | \$ -            | \$ 1,354        | \$ 1,354        | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ 2,031        | \$ -            | \$ 2,031        | \$ 8,802         |           |
| 7. S. de gancho auxiliar de 5 TM.         | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ -        | \$ -        | \$ -            | \$ -            | \$ -            | \$ 2,708        | \$ 2,708         |           |
| <b>COSTO MENSUAL (\$)</b>                 | <b>\$ -</b> | <b>\$ 3,385</b> | <b>\$ 4,063</b> | <b>\$ 1,354</b> | <b>\$ 1,354</b> | <b>\$ 3,385</b> | <b>\$ -</b> | <b>\$ -</b> | <b>\$ 2,031</b> | <b>\$ 4,740</b> | <b>\$ 1,354</b> | <b>\$ 4,740</b> | <b>\$ 26,406</b> |           |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.18.** Tiempo promedio para reparar – propuesta.

| TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR - MTTR (HORAS)       |             |           |           |          |          |           |          |          |          |           |          |            |       |              |
|---|-------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------|-------|--------------|
| SUBSISTEMAS                                       | octubre     | noviembre | diciembre | enero    | febrero  | marzo     | abril    | mayo     | junio    | julio     | agosto   | septiembre | TOTAL | TIEMPO (HRS) |
|   | <b>GRT5</b> |           |           |          |          |           |          |          |          |           |          |            |       | <b>86</b>    |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0           | 0         | 9         | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0         | 6        | 0          | 15    |              |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0           | 0         | 0         | 5        | 0        | 0         | 0        | 0        | 7        | 0         | 0        | 0          | 12    |              |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0           | 0         | 0         | 0        | 0        | 3         | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 3     |              |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 0           | 3         | 0         | 0        | 0        | 5         | 0        | 0        | 0        | 6         | 0        | 0          | 14    |              |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0           | 0         | 0         | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 0          | 0     |              |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0           | 0         | 5         | 0        | 5        | 5         | 0        | 6        | 0        | 9         | 0        | 7          | 37    |              |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0           | 0         | 0         | 0        | 0        | 0         | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        | 5          | 5     |              |
|   | <b>0</b>    | <b>3</b>  | <b>14</b> | <b>5</b> | <b>5</b> | <b>13</b> | <b>0</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>15</b> | <b>6</b> | <b>12</b>  |       |              |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.19.** Costo parcial y total del tiempo promedio de equipo parado – propuesta.

| SUBSISTEMAS                               | COSTO DE MANTENIMIENTO x EL NUMERO DE HORAS PARADA (dólares americanos) |           |           |          |          |          |       |          |          |           |          |            | TOTAL    | FALLAS    |           |
|---|---|-----------|-----------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|-----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|
|   | octubre   | noviembre | diciembre | enero    | febrero  | marzo    | abril | mayo     | junio    | julio     | agosto   | septiembre |          |           |           |
| <b>GRT5</b>                               |   |           |           |          |          |          |       |          |          |           |          |            |          |           |           |
| 1. S. principal de distribución eléctrica | \$ -  | \$ -      | \$ 6,094  | \$ -     | \$ -     | \$ -     | \$ -  | \$ -     | \$ -     | \$ -      | \$ 4,063 | \$ -       | \$ -     | \$ 10,156 |           |
| 2. S. de control de traslación de puente  | \$ -  | \$ -      | \$ -      | \$ 3,385 | \$ -     | \$ -     | \$ -  | \$ -     | \$ 4,740 | \$ -      | \$ -     | \$ -       | \$ -     | \$ 8,125  |           |
| 3. S. de control de carro cabina          | \$ -  | \$ -      | \$ -      | \$ -     | \$ -     | \$ 2,031 | \$ -  | \$ -     | \$ -     | \$ -      | \$ -     | \$ -       | \$ -     | \$ 2,031  |           |
| 4. S. traslación del puente               | \$ -  | \$ 2,031  | \$ -      | \$ -     | \$ -     | \$ 3,385 | \$ -  | \$ -     | \$ -     | \$ 4,063  | \$ -     | \$ -       | \$ -     | \$ 9,479  | \$ 58,229 |
| 5. S. de traslación carro cabina          | \$ -  | \$ -      | \$ -      | \$ -     | \$ -     | \$ -     | \$ -  | \$ -     | \$ -     | \$ -      | \$ -     | \$ -       | \$ -     | \$ -      |           |
| 6. S. de ganchos principales de 50 TM     | \$ -  | \$ -      | \$ 3,385  | \$ -     | \$ 3,385 | \$ 3,385 | \$ -  | \$ 4,063 | \$ -     | \$ 6,094  | \$ -     | \$ 4,740   | \$ -     | \$ 25,052 |           |
| 7. S. de gancho auxiliar de 5 TM.         | \$ -  | \$ -      | \$ -      | \$ -     | \$ -     | \$ -     | \$ -  | \$ -     | \$ -     | \$ -      | \$ -     | \$ 3,385   | \$ -     | \$ 3,385  |           |
| <b>COSTO MENSUAL</b>                      | \$ -  | \$ 2,031  | \$ 9,479  | \$ 3,385 | \$ 3,385 | \$ 8,802 | \$ -  | \$ 4,063 | \$ 4,740 | \$ 10,156 | \$ 4,063 | \$ 8,125   | \$ 3,385 |           |           |

Fuente: Elaboración Propia

4.7. CUADROS COMPARATIVOS DEL SISTEMA ACTUAL VS EL PROPUESTO:

Tabla 4.20. Cuadro resumen de indicadores

| SUBSISTEMAS                                       | NUMERO DE FALLAS (número de veces) |           | MTTR ( horas) |           | MTBF (horas) |           | DISPONIBILIDAD (%) |           |
|---|------------------------------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|--------------------|-----------|
|   | ACTUAL                             | PROPUESTA | ACTUAL        | PROPUESTA | ACTUAL       | PROPUESTA | ACTUAL             | PROPUESTA |
| 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 6                                  | 5         | 17            | 15        | 555          | 700       | 97.03%             | 97.90%    |
| 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4                                  | 5         | 15            | 12        | 586          | 700       | 97.51%             | 98.31%    |
| 3. Subsistema de control de carro cabina          | 2                                  | 3         | 5             | 3         | 661          | 700       | 99.25%             | 99.57%    |
| 4. Subsistema traslación del puente               | 7                                  | 9         | 11            | 14        | 636          | 700       | 98.30%             | 98.04%    |
| 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 1                                  | 0         | 1             | 0         | 648          | 700       | 99.85%             | 100.00%   |
| 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 24                                 | 13        | 42            | 37        | 468          | 700       | 91.83%             | 94.98%    |
| 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 10                                 | 4         | 18            | 5         | 685          | 700       | 97.44%             | 99.29%    |
| Subtotal  | 54                                 | 39        | 109           | 86        |              |           |                    |           |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8. ANALISIS ECONOMICO PARA EVALUAR LA PROPUESTA:

**Tabla 4.21.** Flujo de caja – Costo por el número de veces que falló el equipo – ACTUAL.

| <b>PLAN ACTUAL- MANTENIMIENTO FRECUENCIA FALLAS</b> |                |               |                 |              |
|---|----------------|---------------|-----------------|--------------|
|   | <b>Periodo</b> | <b>COSTOS</b> | <b>INGRESOS</b> | <b>FLUJO</b> |
| Inversión   | 0              |               |                 | \$ -4,600.00 |
| Octubre   | 1              | \$ 3,385.42   | \$ 14,000.00    | \$ 10,614.58 |
| Noviembre   | 2              | \$ 4,062.50   | \$ 14,000.00    | \$ 9,937.50  |
| Diciembre   | 3              | \$ 5,416.67   | \$ 14,000.00    | \$ 8,583.33  |
| Enero   | 4              | \$ 6,770.83   | \$ 20,000.00    | \$ 13,229.17 |
| Febrero   | 5              | \$ 1,354.17   | \$ 18,000.00    | \$ 16,645.83 |
| Marzo   | 6              | \$ 4,739.58   | \$ 18,000.00    | \$ 13,260.42 |
| Abril   | 7              | \$ 1,354.17   | \$ 16,000.00    | \$ 14,645.83 |
| Mayo  | 8              | \$ 1,354.17   | \$ 15,000.00    | \$ 13,645.83 |
| Junio   | 9              | \$ 2,708.33   | \$ 15,000.00    | \$ 12,291.67 |
| Julio   | 10             | \$ 1,354.17   | \$ 15,000.00    | \$ 13,645.83 |
| Agosto  | 11             | \$ 2,708.33   | \$ 15,000.00    | \$ 12,291.67 |
| Septiembre  | 12             | \$ 1,354.17   | \$ 15,000.00    | \$ 13,645.83 |

|              |             |
|--------------|-------------|
| <b>VAN =</b> | \$20,331.76 |
| <b>TIR =</b> | 35%         |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.22. Flujo de caja – Costo por el número de veces que falló el  
equipo – PROPUESTA.

| <b>PLAN PROPUESTO - MANTENIMIENTO POR NUMERO DE<br/>VECES DE FALLA</b> |                |               |                 |              |
|--|----------------|---------------|-----------------|--------------|
|  | <b>Periodo</b> | <b>COSTOS</b> | <b>INGRESOS</b> | <b>FLUJO</b> |
| Inversión  | 0              |               |                 | \$ -4,600.00 |
| Octubre  | 1              | \$ -          | \$ 13,500.00    | \$ 13,500.00 |
| Noviembre  | 2              | \$ 3,385.42   | \$ 14,600.00    | \$ 11,214.58 |
| Diciembre  | 3              | \$ 4,062.50   | \$ 14,600.00    | \$ 10,537.50 |
| Enero  | 4              | \$ 1,354.17   | \$ 23,000.00    | \$ 21,645.83 |
| Febrero  | 5              | \$ 1,354.17   | \$ 20,500.00    | \$ 19,145.83 |
| Marzo  | 6              | \$ 3,385.42   | \$ 20,500.00    | \$ 17,114.58 |
| Abril  | 7              | \$ -          | \$ 20,000.00    | \$ 20,000.00 |
| Mayo   | 8              | \$ -          | \$ 17,000.00    | \$ 17,000.00 |
| Junio  | 9              | \$ 2,031.25   | \$ 16,000.00    | \$ 13,968.75 |
| Julio  | 10             | \$ 4,739.58   | \$ 20,000.00    | \$ 15,260.42 |
| Agosto   | 11             | \$ 1,354.17   | \$ 13,000.00    | \$ 11,645.83 |
| Septiembre   | 12             | \$ 1,354.17   | \$ 13,000.00    | \$ 11,645.83 |

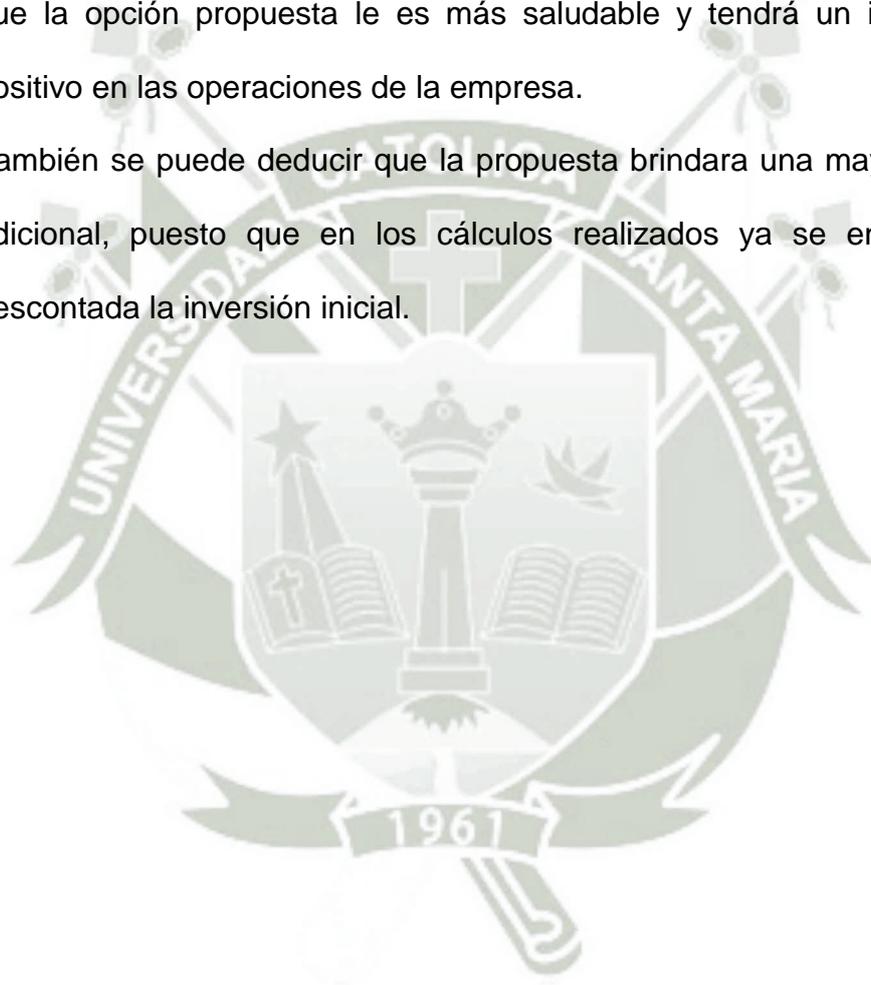
|              |             |
|--------------|-------------|
| <b>VAN =</b> | \$26,579.38 |
| <b>TIR =</b> | 35%         |

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de la tabla 4.20 y la tabla 4.21, se puede observar tanto el VAN actual como el propuesto son positivos y por lo tanto mayores a 0. Estos indicadores como ya se dijo se encontraron del flujo de efectivo obtenido de la diferencia de los ingresos y egresos.

Podemos decir también que en ambos casos la empresa genera beneficio, sin embargo al ser el VAN propuesto mayor que el VAN actual se entiende que la opción propuesta le es más saludable y tendrá un impacto más positivo en las operaciones de la empresa.

También se puede deducir que la propuesta brindara una mayor ganancia adicional, puesto que en los cálculos realizados ya se encuentra por descontada la inversión inicial.



**Tabla 4.23.** Flujo de caja – Costo por el número de horas de equipo parado – ACTUAL.

| <b>PLAN ACTUAL - MANTENIMIENTO POR HORAS DE EQUIPO PARADO</b> |                |               |                 |              |
|---|----------------|---------------|-----------------|--------------|
|   | <b>Periodo</b> | <b>COSTOS</b> | <b>INGRESOS</b> | <b>FLUJO</b> |
| Inversión   | 0              |               |                 | \$ -7,200.00 |
| Octubre   | 1              | \$ 8,463.54   | \$ 14,000.00    | \$ 5,536.46  |
| Noviembre   | 2              | \$10,833.33   | \$ 14,000.00    | \$ 3,166.67  |
| Diciembre   | 3              | \$12,526.04   | \$ 14,000.00    | \$ 1,473.96  |
| Enero   | 4              | \$ 7,335.07   | \$ 20,000.00    | \$ 12,664.93 |
| Febrero   | 5              | \$ 3,723.96   | \$ 18,000.00    | \$ 14,276.04 |
| Marzo   | 6              | \$ 5,190.97   | \$ 18,000.00    | \$ 12,809.03 |
| Abril   | 7              | \$ 3,385.42   | \$ 16,000.00    | \$ 12,614.58 |
| Mayo  | 8              | \$ 4,062.50   | \$ 15,000.00    | \$ 10,937.50 |
| Junio   | 9              | \$ 5,190.97   | \$ 15,000.00    | \$ 9,809.03  |
| Julio   | 10             | \$ 3,385.42   | \$ 15,000.00    | \$ 11,614.58 |
| Agosto  | 11             | \$ 5,416.67   | \$ 15,000.00    | \$ 9,583.33  |
| Septiembre  | 12             | \$ 4,062.50   | \$ 15,000.00    | \$ 10,937.50 |

|              |             |
|--------------|-------------|
| <b>VAN =</b> | \$ 9,461.66 |
| <b>TIR =</b> | 35%         |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.24.** Flujo de caja – Costo por el número de horas de equipo parado – PROPUESTA.

| <b>PLAN PROPUESTO - MANTENIMIENTO POR HORAS DE EQUIPO PARADO</b> |                |               |                 |              |
|--|----------------|---------------|-----------------|--------------|
|  | <b>Periodo</b> | <b>COSTOS</b> | <b>INGRESOS</b> | <b>FLUJO</b> |
| Inversión  | 0              |               |                 | \$ -7,200.00 |
| Octubre  | 1              | \$ -          | \$ 13,500.00    | \$ 13,500.00 |
| Noviembre  | 2              | \$ 2,031.25   | \$ 14,600.00    | \$ 12,568.75 |
| Diciembre  | 3              | \$ 9,479.17   | \$ 14,600.00    | \$ 5,120.83  |
| Enero  | 4              | \$ 3,385.42   | \$ 23,000.00    | \$ 19,614.58 |
| Febrero  | 5              | \$ 3,385.42   | \$ 20,500.00    | \$ 17,114.58 |
| Marzo  | 6              | \$ 8,802.08   | \$ 20,500.00    | \$ 11,697.92 |
| Abril  | 7              | \$ -          | \$ 20,000.00    | \$ 20,000.00 |
| Mayo   | 8              | \$ 4,062.50   | \$ 17,000.00    | \$ 12,937.50 |
| Junio  | 9              | \$ 4,739.58   | \$ 16,000.00    | \$ 11,260.42 |
| Julio  | 10             | \$10,156.25   | \$ 20,000.00    | \$ 9,843.75  |
| Agosto   | 11             | \$ 4,062.50   | \$ 13,000.00    | \$ 8,937.50  |
| Septiembre   | 12             | \$ 8,125.00   | \$ 13,000.00    | \$ 4,875.00  |

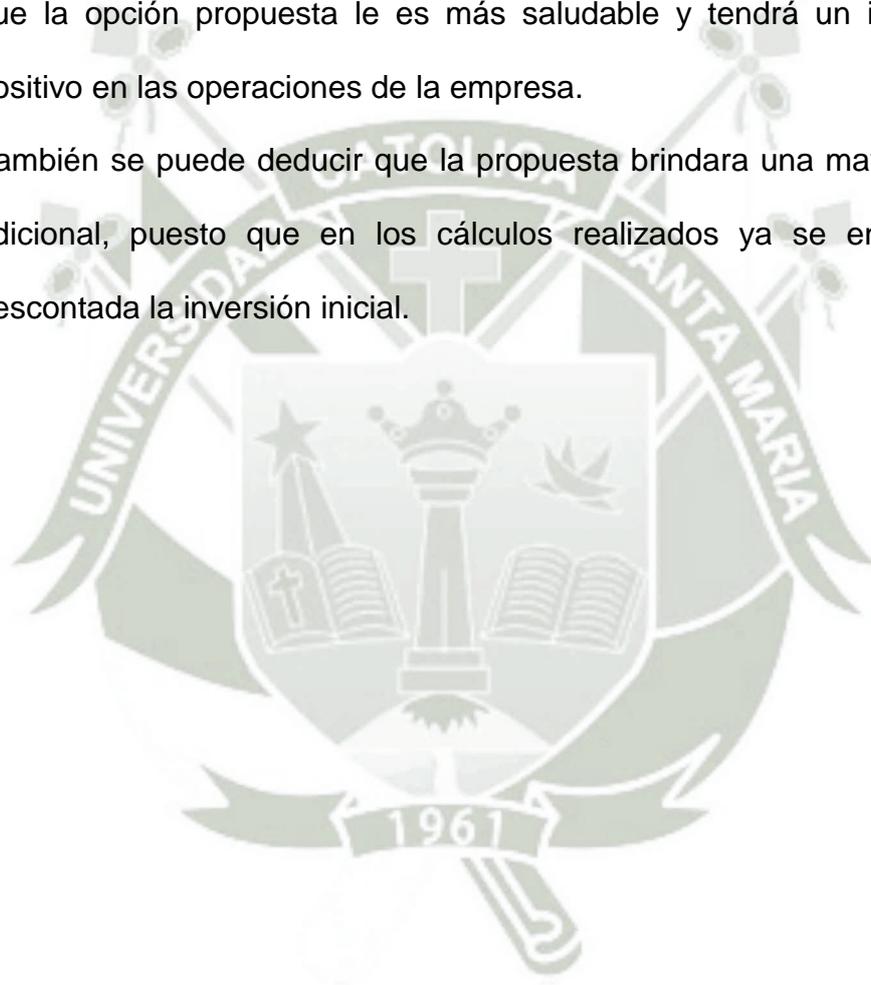
|              |             |
|--------------|-------------|
| <b>VAN =</b> | \$21,303.89 |
| <b>TIR =</b> | 35%         |

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de la tabla 4.22 y la tabla 4.23, se puede observar tanto el VAN actual como el propuesto son positivos y por lo tanto mayores a 0. Estos indicadores como ya se dijo se encontraron del flujo de efectivo obtenido de la diferencia de los ingresos y egresos.

Podemos decir también que en ambos casos la empresa genera beneficio, sin embargo al ser el VAN propuesto mayor que el VAN actual se entiende que la opción propuesta le es más saludable y tendrá un impacto más positivo en las operaciones de la empresa.

También se puede deducir que la propuesta brindara una mayor ganancia adicional, puesto que en los cálculos realizados ya se encuentra por descontada la inversión inicial.



## CONCLUSIONES

- 1) Se demostró con esta propuesta de plan de mantenimiento, que la disponibilidad mejoró de 91 a 94%, siendo este aumento solo en 3% puesto que existen tiempos muertos por paradas de máquina.
- 2) Se identificó el equipo que presenta mayor número de fallas mediante el cuadro de registro de incidencias, obteniendo que la GRT5 posee 54 fallas/año representando el 38.57%, la GRT6 posee 34 fallas/año representando el 24.29%, la GRT7 posee 20 fallas/año representando el 14.29%, la GRT8 posee 24 fallas/año representando el 17.14% y la GRT24 posee 8 fallas/año representando el 5.71%.
- 3) El subsistema más crítico según el análisis de criticidad, fue el subsistema principal de ganchos de 50 TM, resultando un índice de 490 representando el 54.34%.
- 4) Para el sistema propuesto, se realiza el diagrama Gantt para la GRT5, para un mantenimiento con una duración de 10.75 horas, a comparación del sistema actual que obtuvo un total de 11.86 horas. Se adjunta Project.  
Al optimizar el plan de mantenimiento anual, se obtiene 15 tareas semanales (S), 01 tarea cada 3 semanas (3S), 08 tareas mensuales (M), 05 tareas trimestrales (3M).  
En el sistema anterior se tenía 14 tareas, dentro de las cuales 12 eran de frecuencia semanal (S) y 2 de frecuencia mensual (M).

- 5) En el análisis económico, el VAN propuesto es mayor que el VAN actual, el cual nos indica la viabilidad de la decisión de aplicar el plan de mantenimiento propuesto.
  
- 6) Los indicadores de disponibilidad del equipo aumentan con respecto al sistema actual; pues el MTBF del sistema propuesto se propuso como meta 700 horas/falla.



## **RECOMENDACIONES**

1. El departamento de mantenimiento de Mill Site, debe asegurar que el programa y la frecuencia de mantenimiento se efectúe según los requerimientos de las grúas, en el plan de mantenimiento diseñado en este trabajo están establecidas frecuencias PREVENTIVAS propuestas luego de realizar un análisis de modo y efecto de fallas, a fin de lograr un mayor rendimiento en la vida útil de las grúas. Además se recomienda su inmediata aplicación para mantener el buen funcionamiento de las mismas.
2. Aunque los planes de mantenimiento elaborados, se enfocaron en el subsistema más crítico, es necesario aplicar de manera consecuente las acciones establecidas a los demás subsistemas para garantizar la confiabilidad total del sistema.
3. El plan de mantenimiento propuesto, debe ser ejecutado, actualizado y retroalimentado periódicamente, buscando la mejora continua de los procesos.
4. Llevar registro de confiabilidad de las grúas e incorporar éste índice a los indicadores de mantenimiento.
5. Mantener actualizado el inventario de repuestos a fin de tener control de los mismos ante un evento de reparación. Capacidad de respuesta.
6. Capacitar en forma continua al personal de charlas y cursos referidos al mantenimiento autónomo, mejora continua y operación de las grúas puente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DIAZ, Carlos, “Fallas recurrentes en el sistema de elevación del grúa puente principal, de MICA Corporation” trabajo de Ingeniería de Mantenimiento (2012).
2. AGUILAR GASCON, “optimización de los planes de mantenimiento preventivos y rutinarios de las grúas NKM de hornos de cocción de CVG VENALUM” Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2011).
3. CALDERON W; “estableció las tareas de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo Jusepin PDVSA mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)”. (2007)
4. SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, metodología puede determinar la criticidad de los equipos considerando el método de criterios ponderados. Universidad de Oriente. (2012).
5. TORRES E., Ronald, “Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión José” Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente. (2007).



Tabla de Datos Tiempo Promedio entre Fallas GRT5

|                  |      | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | #F | MTBF |       |
|------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|-------|
| 2012 - OCTUBRE   | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | F | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | F  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 2    | 370.6 |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 8 | 4 | 4 | F | 3 | 4 | 4 | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 1    | 657.4 |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 0    | -     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 0    | -     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 0    | -     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | F  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | F  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 2    | 359.8 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 4  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 8  | 0    | -     |
| 2012 - NOVIEMBRE | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | F  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 1    | 745.9 |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 0    | -     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | F  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 1    | 721.2 |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | F | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 1    | 674.7 |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 0    | -     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 4 | F | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | F  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2    | 354.3 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2  | 8  | 8  | 2  | 2  | 2  | 6  | 5  | 3  | 3  | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | F  | 1  | 9  | 2  | 2  | 2  | 1    | 749.4 |
| 2012 - DICIEMBRE | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | F | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | F  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | F  | 1    | 242.8 |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 6 | 5 | 3 | F | 6 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | F  | 1    | 372.1 |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 0    | -     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | F  | 1    | 738.8 |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | F  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | F  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | F  | 3    | 240.3 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 6 | F | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | F  | 2    | 365.8 |
| 2013 - ENERO     | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | F  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 1    | 724.0 |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 | F | 6 | 2 | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 1    | 647.3 |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 0    | -     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 2 | 6 | 7 | F | 5 | 5 | 6 | 2 | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | F  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 2    | 348.7 |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | F  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 1    | 647.9 |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 2 | 6 | 7 | F | 5 | 5 | 6 | 2 | 8  | 4  | F  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | 5  | 5  | F  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 3    | 247.6 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 2 | 6 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 3  | 5  | 5  | F  | 5  | 6  | 3  | 5  | 6  | 3  | 8  | 5  | 8  | 8  | 2    | 715.0 |
| 2013 - FEBRERO   | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | F  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | F  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 2    | 414.1 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 7  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 5  | 6  | 3  | 5  | 0    | -     |
| 2013 - MARZO     | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | F  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1    | 691.9 |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 0    | -     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 3 | 5 | 5 | F | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1    | 600.6 |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | F | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1    | 637.1 |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 0    | -     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 3 | 5 | 5 | F | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | F  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | 3  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | F  | 6  | 7  | 7  | 3    | 238.3 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6  | 7  | 5  | 5  | 6  | 2  | 8  | 4  | 2  | 6  | 7  | F  | 4  | 7  | 3  | 5  | 5  | 6  | 2  | 6  | 7  | 7  | 1    | 693.0 |

|                   |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |
|-------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| 2013 - ABRIL      | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 0 | -     |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | F | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 1 | 745.0 |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | F | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 1 | 771.6 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 0 | -     |
| 2013 - MAYO       | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 3 | F | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 816.1 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 6 | 2 | 8 | F | 2 | 6 | 7 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 794.1 |
| 2013 - JUNIO      | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 4 | 3 | 5 | F | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 1 | 668.9 |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 | -     |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | F | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | F | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 3 | 373.5 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 0 | -     |
| 2013 - JULIO      | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0 | -     |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0 | -     |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | F | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 1 | 781.3 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 1 | 9 | 2 | 2 | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | F | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 5 | 5 | 6 | 1 | 789.8 |
| 2013 - AGOSTO     | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | F | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 1 | 672.7 |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | F | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | F | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 2 | 315.6 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | F | 6 | 2 | 8 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 7 | 1 | 624.2 |
| 2013 - SEPTIEMBRE | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0 | -     |
|                   |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0 | -     |
|                   |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0 | -     |
|                   |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0 | -     |
|                   |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0 | -     |
|                   |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | F | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | 6 | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 709.4 |
|                   |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 5 | 3 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 3 | 5 | 5 | F | 2 | 8 | 4 | 8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 748.6 |

Tabla de Datos Tiempo Promedio para reparar

|                  |      | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | #F | MTRR |     |
|------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|-----|
| 2012 - OCTUBRE   | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 3    |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1    | 4   |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2    | 5.5 |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
| 2012 - NOVIEMBRE | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3    |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3    |     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3    |     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    | 0   |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 3    |     |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4    |     |
| 2012 - DICIEMBRE | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 7  |      |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 5  |      |     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  |      |     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 3  | 4    |     |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 2  | 1.5  |     |
| 2013 - ENERO     | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  |      |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2    |     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 2    |     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  |      |     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  | 2.33 |     |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 1.5  |     |
| 2013 - FEBRERO   | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |      |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5.5  |     |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
| 2013 - MARZO     | GRT5 | 1. Subsistema principal de distribución eléctrica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  |      |     |
|                  |      | 2. Subsistema de control de traslación de puente  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 3. Subsistema de control de carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2    |     |
|                  |      | 4. Subsistema traslación del puente               | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1    |     |
|                  |      | 5. Subsistema de traslación carro cabina          | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0    |     |
|                  |      | 6. Subsistema de ganchos principales de 50 TM     | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 3  | 1.66 |     |
|                  |      | 7. Subsistema de gancho auxiliar de 5 TM.         | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  |      |     |

