



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

“Mejora en la implementación del RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR**

Dennis Eyvind Chávez Ramírez.

**ASESOR**

Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Sistemas y Planes de Mantenimiento.

**TRUJILLO – PERÚ**

**2019**

## **PAGINAS PRELIMINARES**

“Mejoramiento del plan RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional”

---

Dennis Eyvind Chávez Ramírez

Autor

**Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.**

---

Dr. Jorge Adrian Salas Ruiz

Presidente

---

Dr. Felipe de la Rosa Bocanegra

Secretario

---

Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez

Vocal

## DEDICATORIA

*A Dios por haberme permitido Llegar  
A culminar mis estudios y aquellas personas  
Que fueron mi soporte durante mi periodo  
universitario.*

*Dedico a mis padres, Isabel Ramírez  
Chumbe, Augusto Chávez Gonzales por su  
Apoyo incondicional que me permitieron  
alcanzar mis metas.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Debo agradecer de manera especial y sincera al Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez. Por su dirección en este trabajo de tesis. Su apoyo para guiar mis ideas en el desarrollo de esta tesis, y en la formación como Ingeniero Mecánico Eléctricista.*

*A la UCV por su excelente plana Docente. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.*

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Yo: Dennis Eyvind Chávez Ramírez, con DNI N° 70454508, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre del 2017.

---

Dennis Eyvind Chávez Ramírez

## ÍNDICE

<b>PAGINAS PRELIMINARES</b> .....	<b>1</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>DECLARACION DE AUTENTICIDAD</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática: .....	10
1.2. Trabajos Previos: .....	11
1.3. Teorías Relacionadas al Tema: .....	12
1.3.1. Mantenimiento Centrado en la confiabilidad RCM: .....	12
1.3.2. Mantenimiento Correctivo:.....	16
1.3.3. Mantenimiento Preventivo: .....	16
1.3.4. Mantenimiento Predictivo: .....	17
1.3.5. Indicadores globales del mantenimiento:.....	17
1.3.6. Análisis de criticidad de equipos: .....	19
1.4. Formulación del problema .....	23
1.5. Justificación del estudio .....	23
1.6. Hipótesis.....	24
1.7. Objetivos: .....	24
<b>II. MÉTODO</b> .....	<b>25</b>
2.1. Diseño de investigación.....	26
2.2. Variables, Operacionalización .....	27
2.3. Población y muestra.....	29
2.3.1. Población:.....	29
2.3.2. Muestra:.....	29
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	29
2.5. Métodos de análisis de datos:.....	29
<b>III. RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
3.1. DIAGNÓSTICO INICIAL DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS Y MOTORES ELÉCTRICOS:.....	32
3.1.2. Tasa de Mantenimiento: .....	37

3.2. INDICADORES ACTUALES DEL MANTENIMIENTO: .....	39
3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS ELEMENTOS EN FALLA: .....	41
3.3.1. Valores críticos de las fallas según los elemento .....	41
3.3.2. Clasificación según el nivel de criticidad. ....	44
3.4. Evaluación de cada una de las fallas, a través del desarrollo de la hoja de información del AMEF: .....	49
3.5. Determinación de las fallas Inaceptables de las máquinas críticas: .....	52
3.5.1. Evaluación del número de prioridad de riesgo (NPR) .....	52
3.5.2. Evaluación Causa Raíz (Diagrama Ishikawa):.....	54
3.6. Desarrollo de las hojas de decisiones para la elaboración del plan de mantenimiento basado en el ACR:.....	58
3.6.1. Desarrollo de la hoja de decisiones para cada falla inaceptables.....	58
3.6.2. Elaboración del plan de mantenimiento RCM a través de un programa de actividades a los elementos críticos:.....	64
3.7. Estimación de los Indicadores de Gestión de mantenimiento.....	68
3.7.1. Estimación de los Indicadores de Gestión de Mantenimiento: .....	68
3.7.2. Análisis Comparativo:.....	69
<b>I. DISCUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>II. CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>III. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>IV. REFERENCIAS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
A.1. Ficha de registro de los Motores Eléctricos Trifásicos Jaula Ardilla. ....	87
A.2. Cuestionario de recopilación de datos técnicos de los Motores Eléctricos Jaula Ardilla. ....	90
A.3. Resultados del cuestionario de recopilación de datos técnicos de los Motores Eléctricos Jaula Ardilla. ....	94
A.4. Ficha llenada de registro de los Motores Eléctricos Trifásicos Jaula Ardilla.....	103

## RESUMEN

En el presente estudio, se analiza el mejoramiento del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, con la finalidad de aumentar la disponibilidad operacional de sus activos físicos. Para evaluar las condiciones actuales del mantenimiento se basó en el estudio del historial de mantenimiento de los motores eléctricos y grupos electrógenos del año 2016 con tiempos para reparar de 3.91 horas hasta 43.18 horas por cada falla; con una disponibilidad mecánica general de 86%, confiabilidad 83.6% y mantenibilidad 8.8%. El análisis de criticidad realizado a los motores eléctricos y generadores eléctricos arrojó 25 fallas críticas, 13 fallas medio críticos y 6 no críticas. Se realizó una evaluación a cada una de las fallas críticas de los elementos críticos, a través del desarrollo de las hojas de información fundamentadas en las tres primeras preguntas del AMEF, tales como función que desempeña, modo de fallo funcional y causas potenciales de la falla. Se evaluaron las 25 fallas críticas a través del número de prioridad de riesgos, encontrando 19 fallas inaceptables, 2 fallas reducibles deseables y 4 fallas aceptables, para a través de diagramas de Ishikawa determinar la causa raíz de los elementos críticos. El análisis comparativo de los parámetros de mantenimiento e indicadores de mantenimiento obteniendo un incremento de la disponibilidad de 9%, incremento en la confiabilidad de 8.4% e incremento de la mantenibilidad de 4%. Lo cual origina una reducción de 25 fallas, 387 intervenciones, 531.04 horas de reparación y logrando un aumento en el tiempo promedio entre fallas de 13.93 horas útiles.

**Palabras claves:** mejora, indicadores, incremento, mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad.

## ABSTRACT

In the present study, there analyzes the improvement of the plan of maintenance centred on the reliability of the generating groups and motive three-phase of induction of the lot V of the Company Graña and Hunter S. A. A, for the purpose of increasing the operational availability of its physical assets. To evaluate the current conditions of the maintenance it was based on the study of the record of maintenance of the electrical engines and generating groups of the year 2016 with times to repair from 3. 91 hours until 43. 18 hours for every flaw; with a general mechanical availability of 86 %, reliability 83.6 % and ease of maintenance 8.8 %. The analysis of critical nature realized to the electrical engines and electrical generators threw 25 critical flaws, 13 flaws semi critical and 6 not criticism. An evaluation was realized to each of the critical flaws of the critical elements, across the development of the sheets of information based on the first three questions of the AMEF, such as function that it redeems, way of functional mistake and potential causes of the flaw. 25 critical flaws were evaluated across the number of priority of risks, finding 19 unacceptable flaws, 2 desirable reducible flaws and 4 acceptable flaws, for across Ishikawa diagrams to determine the cause root of the critical elements. The comparative analysis of the parameters of maintenance and indicators of maintenance obtaining an increase of the availability of 9 %, I increase in the reliability of 8.4 % and with increasea of the maintenance of 4 %. Which causes a reduction of 25 flaws, 387 interventions, 531. 04 hours of repair and achieving an increase in the average time between flaws of 13. 93 useful hours.

Keywords: improvement, indicators, increase, maintenance, availability, reliability, maintainability.

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad problemática:**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad en la actualidad es uno de los agentes claves para la buena operación de un equipo o máquina. Este puede definirse como el conjunto de actividades utilizadas para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe llevando a cabo su función, en el contexto operacional presente, que permitan la maximización de la disponibilidad de estos para la producción (Campos, 2017).

Graña y Montero S.A.A, realiza operaciones propias de exploración y producción de petróleo en pozos de alta producción en el lote V, el cual cuenta con 3 grupos electrógenos, modelo C32 ACERT Caterpillar y 117 motores trifásicos de inducción jaula ardilla, marca Delcrosa, los cuales transmiten movimiento a los equipos Recoil Captador de Gas para la extracción de petróleo crudo, donde actualmente cada unidad extrae 1720 barriles/día (73452600 barriles/año) (G&M, 2016).

Los grupos electrógenos tienen una capacidad nominal total de 2040 KW (680KW/cada uno) con un consumo de 963600 gal/año de Diésel, los cuales alimentan motores eléctricos de 15 HP (30), 20 HP (51) y 35 HP (36), en el cual cada motor eléctrico acciona un equipo RCG (G&M, 2016).

En el periodo 21 enero de 2016 – 05 diciembre 2016, se obtuvo una pérdida de producción total de 590353.92 barriles/año, al costo del petróleo del mercado mundial en ese periodo US\$ 86.23/barril significó una pérdida de US\$ 50906218.52 por costo de pérdida de producción, esto se debe a la pérdida de 8199.36 horas totales por fallas en el sistema eléctrico y mecánico de los grupos electrógenos y motores eléctricos (Departamento de Logística G&M, 2016).

La empresa Graña y Montero, cuenta con un departamento de mantenimiento, el cual ejecuta el mantenimiento RCM para el grupo electrógeno y motores eléctricos, pero de manera ineficiente con una confiabilidad del 82.2% y una disponibilidad del 84.7% (Departamento de Mantenimiento G&M, 2016).

Debido a los bajos indicadores de gestión de mantenimiento, se plantea mejorar el plan de mantenimiento RCM basándonos en el estudio de la criticidad de los

elementos de los grupos electrógenos y motores eléctricos, para minimizar las fallas eléctricas y mecánicas que actualmente bien afectando la producción de extracción de petróleo crudo.

## **1.2. Trabajos Previos:**

Lugo (2002), en su tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico Electricista. Realizada en la Universidad Veracruzana – México, titulada “Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, para incrementar la producción”, se pretende contar con un programa de mantenimiento preventivo cuyos costos sean menores comparados con los correspondientes a los mantenimientos correctivos que se han venido utilizando hasta la fecha. La aplicación de este proyecto beneficia sin duda a petróleos mexicanos, al mejorar la eficiencia de los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla de las unidades de bombeo mecánico, permitiendo reducir el número de paros por fallas de dicho motor, concluyendo incrementar la producción de los pozos petroleros en un 90%.

Da Costa (2010), en su tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Pontificia Universidad Católica del Perú – Perú, titulada “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, realizo el estudio de motores a gas de dos tiempos para la extracción y producción de hidrocarburos por medio de bombeo mecánico, siendo una herramienta importante dentro de la operación en lotes petroleros que no poseen alimentación eléctrica, o que por su geografía ésta se dificulta. Concluyendo que mediante el incremento del tiempo medio entre fallas (MTBF) nos permitió aumentar la disponibilidad de los motores de 85% a 98%.

Vásquez (2008), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Austral De Chile (Valdivia - Chile), titulada: “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”. Explica que los motores se dividieron en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de la función, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla.

Concluyendo, que el análisis RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos para alcanzar los óptimos valores de confiabilidad del 96%.

Martínez (2009), en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad de Oriente (Barcelona– Venezuela), titulada: “Propuesta para el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos, basado en un análisis causa raíz”. Se obtuvieron una serie de conclusiones, entre las más resaltantes se pueden mencionar; Los equipos pertenecientes a dicho sistema carecen de controles estadísticos que permitan realizar estudios previos para establecer prioridades de mantenimiento; el mayor porcentaje de las fallas en el sistema de agua de calderas son debidas a corrosión, fatiga, falla de cojinetes, fallas de los filtros de succión y fallas de los sellos mecánicos. Se recomienda la aplicación de las actividades propuestas para los equipos críticos, ya que se estima que reducirá la ocurrencia de las fallas y por lo tanto se incrementará la confiabilidad del sistema.

Vega (2008), en sus tesis para obtener el título profesional de ingeniero de petróleos. Realizada en la universidad Industrial de Santander Bucaramanga – Colombia, titulada “Análisis de falla en los sistemas de bombeo mecánico del campo Cantagallo”. Realizó el estudio a 60 pozos que trabajan con sistema mecánico en el campo cantagallo, estos equipos no tuvieron un control estricto que permitan realizar estudios previos para proponer un plan de mantenimiento, carecen de datos estadísticos. Por lo tanto, mediante el análisis causa raíz se propone mejorar la producción de petróleo.

### **1.3. Teorías Relacionadas al Tema:**

#### **1.3.1. Mantenimiento Centrado en la confiabilidad RCM:**

El Mantenimiento Centrado en la confiabilidad o RCM en una planta es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción y reducir los costes de mantenimiento (Martínez, 2009).

Desde este punto de vista, el RCM, es una herramienta de gestión del mantenimiento, que permitirá optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los

activos en su contexto operacional, a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento (Martínez, 2009).

- **Análisis de modos y efectos de falla (AMEF):**

Este análisis trata de evitar fallas acaecidas en nuestros procesos de mantenimiento, revisando de forma metodológica y sistemática. Es un medio esencial para lograr bucles de calidad, tanto a nivel de ingeniería de mantenimiento como de la propia ejecución o producción de mantenimiento, aprendido de fallas anteriores tras el análisis constructivo de los mismos, sin ánimo de búsqueda de culpables sino de causas de fallas, definiendo medidas correctas y preventivas para que no se repitan (Gonzales, 2005).

Modo de falla: Son las diferentes formas de modos y maneras en las que pueden fallar un equipo o componente de un equipo capaz de generar una pérdida parcial o total de su función (Gonzales, 2005).

Efectos de falla: Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido, e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla, y donde es recomendable establecer las consecuencias de la misma, esto incluye impacto de la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla (Gonzales, 2005).

- **Árbol lógico de decisiones:**

Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. A partir del árbol lógico de decisiones se obtienen las respuestas para las preguntas 6 y 7. Construcción del árbol de decisiones Moubray (2004):

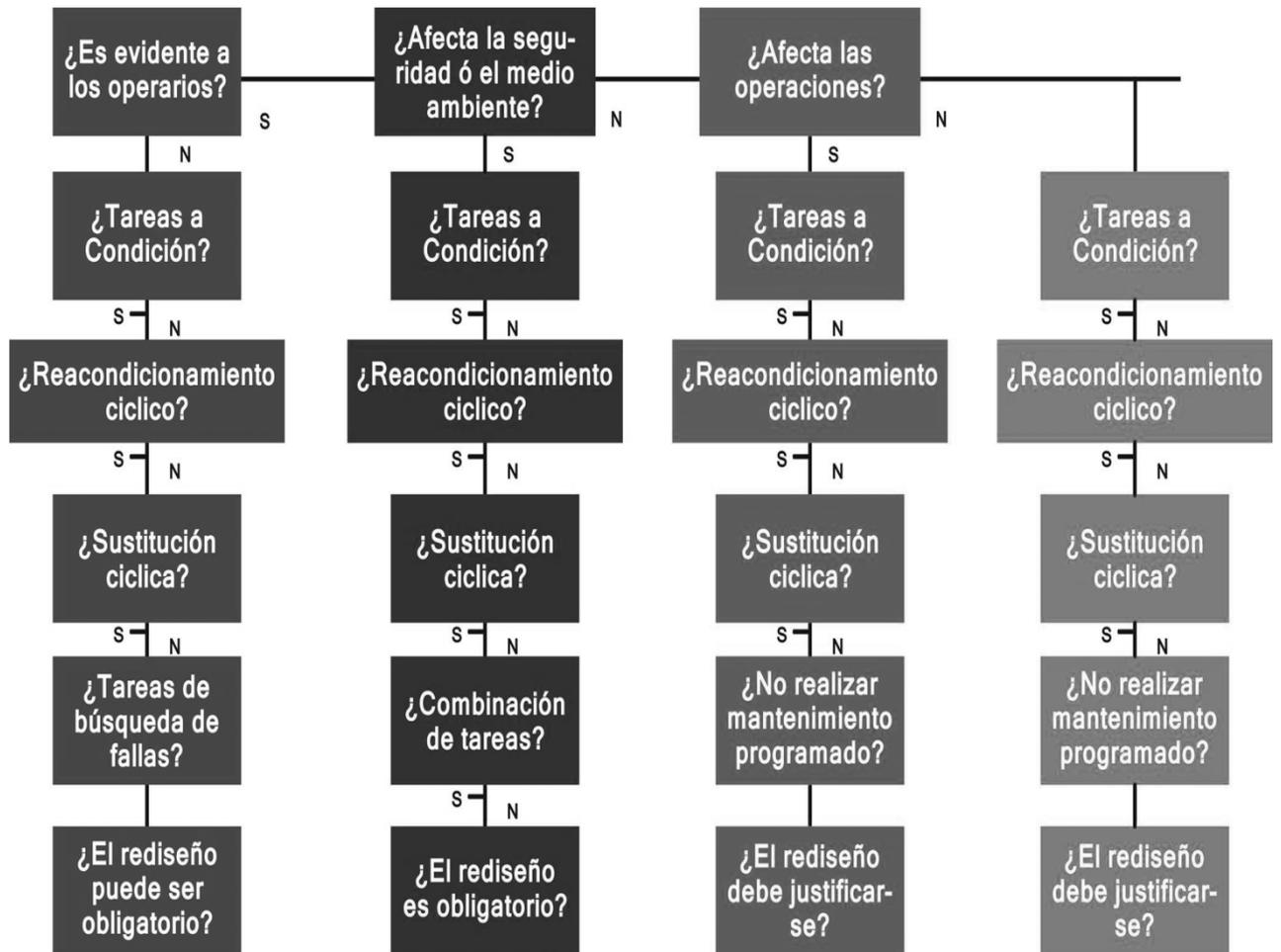


Figura 01: Árbol lógico de decisiones

Fuente: Moubray (2004).

- **Las 7 preguntas del mantenimiento centrado en la confiabilidad:**

En la figura 02, se detallan las 7 preguntas del RCM en resumen al árbol lógico de decisiones.

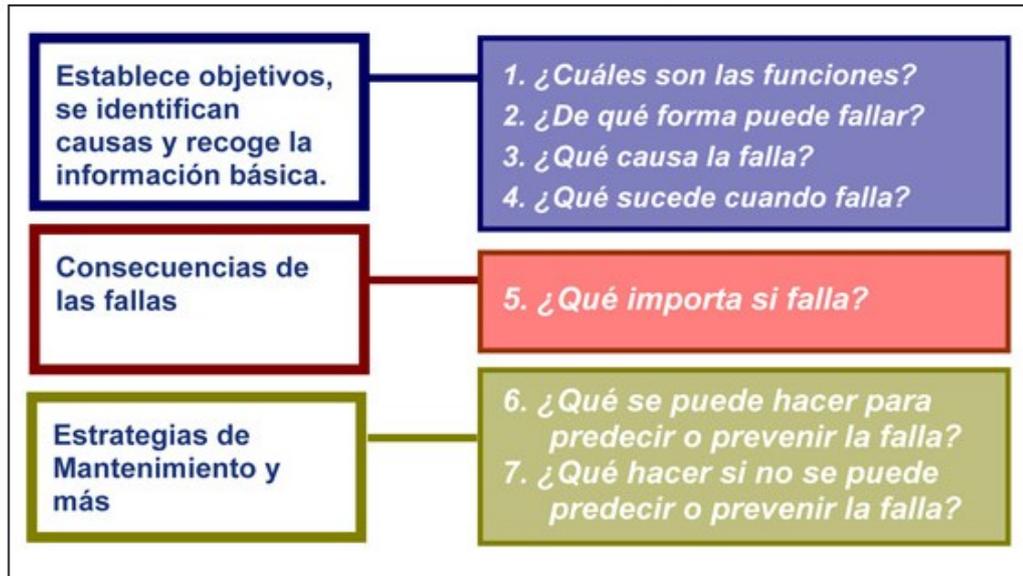


Figura 02: Las 7 formulaciones del RCM, (Moubray, 2004).

- **Hojas de información y las hojas de decisiones del AMEF:**

Metodología basada en responder las 7 preguntas del RCM, descrito en el árbol lógico, ordenadamente.

Tabla 01. Hoja de decisión de los activos

										Equipo:	Realizado Por:	Fecha:	Hoja N°		
										Sistema:	Revisado Por:	Fecha:	De:		
Información Referencia			Consecuencia Evaluación				H1	H2	H3	Tareas a Falta de			Actividades	Frecuencia	A Realizar Por:
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							E1	E2	E3						

Fuente: Moubray (2004).



### 1.3.4. Mantenimiento Predictivo:

Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados. Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina está funcionando y solo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir (Moubray, 2004).

### 1.3.5. Indicadores globales del mantenimiento:

Para proyectar, implantar, elaborar y controlar cualquier plan de mantenimiento es necesario la utilización de los indicadores globales de mantenimiento como la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, ya que son los únicos métodos fundamentados científicamente para la valoración integral del mantenimiento (Mora, 2007).

#### 1.3.1.1. Disponibilidad operacional:

Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado (Smith, 2001).

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \dots \dots \dots (01)$$

- TPEF: Tiempo promedio entre fallas.

$$TPEF = \frac{\sum TEF}{N} \dots \dots \dots (02)$$

- TPPR: Tiempo promedio para reparar.

$$TPPR = \frac{\sum TPR}{N} \dots \dots \dots (03)$$

- N: Numero de fallas.

**1.3.1.2. Confiabilidad:**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado (Smith, 2001).

$$C = e^{\frac{-\lambda*t}{100}} \dots \dots \dots (04)$$

- $\lambda$  = Tasa entre fallas.

$$\lambda = \frac{1}{TPEF} \dots \dots \dots (05)$$

- t = tiempo

**1.3.1.3. Mantenibilidad:**

Puede ser definida como la característica de un equipo de permitir un mayor o menor grado de facilidad en la ejecución de los servicios de mantenimiento (Mora, 2011).

$$M = 1 - e^{\frac{-\mu*t}{100}} \dots \dots \dots (06)$$

- $\mu$  : tasa de reparaciones.

$$\mu = \frac{1}{TPPR} \dots \dots \dots (07)$$

Tabla 03. Tiempos transcurridos desde la falla de un equipo y su puesta en marcha.

	Instante en que se verifica la falla
1	Tiempo para localización de la falla
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje (acceso)
4	Tiempo para remoción de la pieza
5	Tiempo de espera por repuestos (logísticos)
6	Tiempo para la sustitución de la pieza
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas
	Instante de retorno del equipo a la operación

Fuente: Smith (2001).

### 1.3.6. Análisis de criticidad de equipos:

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones, orientando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar, basado en la realidad actual.

Tiene como objetivo ofrecer una herramienta de ayuda, en la determinación de la jerarquía de sistemas y equipos de una planta, que permita manejarla de manera controlada y en orden de prioridades (PDVSA, 2002).

Fuente:

$$\text{Critico} = \text{Consecuencia} * \text{frecuencia de fallos} \quad \dots \dots \dots (08)$$

$$\text{Consecuencia} = \text{I.O} * \text{F.O} * \text{CM} * \text{SAH} \quad \dots \dots \dots (09)$$

Donde:

IO: Impacto operacional.

FO: Flexibilidad operacional.

SAH: Seguridad Ambiental y Humana.

CM: Costo de mantenimiento.

Tabla 04. Criterios, criticidad y cuantificación

<b>Criterio para determinar criticidad</b>	<b>Puntaje</b>
<b>Frecuencia de falla</b>	
Mayor a 40 fallas/año	4
20-40 fallas/año	3
10-20 fallas/año	2
Mínimo de 10 falla/año	1
<b>Impacto Operacional</b>	
Parada inmediata de toda empresa	10
Parada de una línea de producción de la empresa	6
Impacto a niveles de producción o calidad	4
Repercute a costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	2
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	1
<b>Flexibilidad operacional</b>	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	4
Hay opción de equipo compartido	2
Función de repuesto disponible	1
<b>Costo del mantenimiento</b>	
Mayor o igual a S./ 27432.00	2
Menor o inferior a S./ 27432.00	1
<b>Impacto en la Seguridad Ambiental y Humana</b>	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas	1

Fuente: Moubray (2004)

- **Matriz de criticidad:**

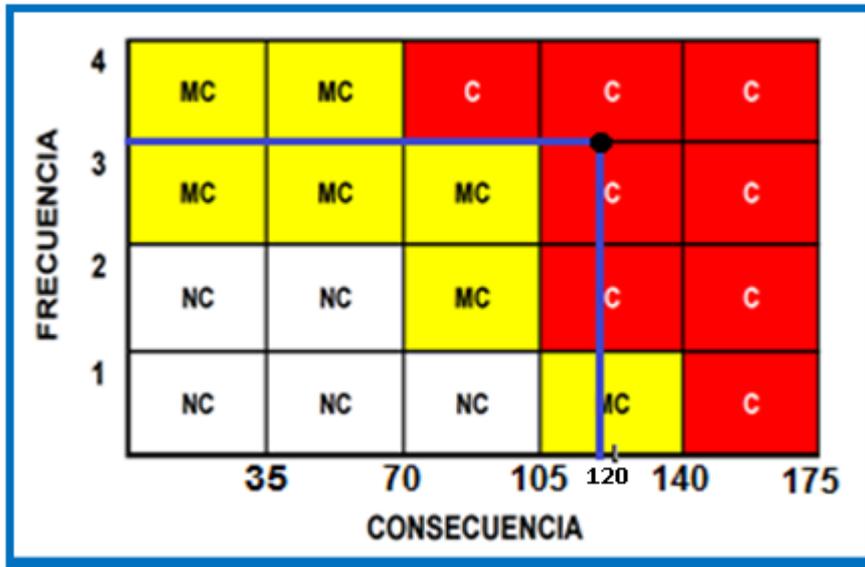


Figura 03: Matriz de criticidad de equipos

Fuente: Mora (2011)

Donde:

C : áreas de sistemas Críticos.

MC : áreas de sistemas Media Criticidad.

NC : áreas de sistemas No Críticos.

- **Número de prioridad de riesgo o índice de riesgo:**

Es el resultado de la multiplicación de los índices de Severidad, Ocurrencia y Detección (Amendola, 2002)

$$NPR = O * D * G \quad \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

G: Gravedad.

D: Detección.

O: Ocurrencia.

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

NPR > 200 Fallas Intolerables (I).

125 < NPR ≤ 200 Fallas reducibles deseables (R).

NPR ≤ 125 Fallas Aceptables (A).

Tabla 05. Ocurrencia:

1	Muy escasas probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado.
2-3	Escasas probabilidades de ocurrencia. Pocos fallos en circunstancias pasadas similares.
4-5	Escasas probabilidades de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente.
6-7	Frecuente probabilidad de ocurrencia. Fallo de cierta frecuencia en el pasado.
8-9	Elevada probabilidad de ocurrencia. Fallo bastante frecuente en el pasado.
10	Muy elevada probabilidad de fallo. El fallo se produce frecuentemente.

Fuente: Amendola (2002)

Tabla 06. Gravedad.

1	Ínfima. El efecto sería imperceptible para el usuario.
2-3	Escasa. El cliente puede notar el fallo, pero solo provoca una ligera molestia.
4-5	Baja. El cliente nota el fallo y le producen cierto enojo.
6-7	Moderada. El fallo produce disgusto e insatisfacción en el cliente.
8-9	Elevada. El fallo es crítico, provocando alto grado de insatisfacción en cliente.
10	Muy elevada. El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor.

Fuente: Amendola (2002)

Tabla 07. Detección.

1	Muy escasa. El efecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado.
2-3	Escasa. El defecto podría pasar algún control primario, pero sería detectado.
4-5	Moderada. El defecto es una característica de fácil detección.
6-7	Frecuente. Defectos de difícil detección que son relativa frecuencia llegan al cliente.
8-9	Elevada. El defecto es de difícil detección mediante los sistemas convencionales de control.
10	Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegara al cliente.

Fuente: Amendola (2002)

#### **1.4. Formulación del problema**

¿En qué medida el mejoramiento del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, aumentará la disponibilidad operacional de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero SAA?

#### **1.5. Justificación del estudio**

Para la justificación de la investigación se ha tomado como referencia cuatro relevancias, las cuales se detallan a continuación.

- **Relevancia económica:**

El mejoramiento del RCM, traerá consigo un beneficio económico para la empresa Graña y Montero, debido al aumento de la producción de barriles de petróleo crudo diarios.

- **Relevancia tecnológica:**

El estudio de ciencias aplicadas en el mantenimiento industrial como el RCM, reducir las fallas críticas de los grupos electrógenos y motores de inducción, logrando una mayor disponibilidad de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción.

- **Relevancia institucional:**

El presente estudio, conllevará a mejorar la competitividad de la empresa G&M frente a otras Empresas. Esto implica a que el alumno de la Universidad Cesar Vallejo extienda y aplique sus conocimientos al campo práctico laboral.

- **Relevancia socio-ambiental:**

El mejoramiento del RCM, permitirá que los repuestos de los equipos tengan una mayor durabilidad, minimizando la masa de metal al medio ambiente.

## **1.6. Hipótesis**

El Mejoramiento del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, si aumentará la disponibilidad operacional de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A.

## **1.7. Objetivos:**

### **Objetivo general:**

Mejorar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional.

### **Objetivos específicos:**

- a) Realizar un diagnóstico inicial de los parámetros de operación del mantenimiento de los grupos electrógenos y motores trifásicos.
- b) Evaluar la situación actual de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción, a través del análisis de los indicadores de mantenimiento disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.
- c) Realizar un análisis de criticidad a todos sistemas en falla de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción, logrando clasificarlos en críticos, medio crítico y no críticos.
- d) Evaluar cada una de las fallas de los sistemas críticos, para luego determinar el índice de riesgo permitiendo clasificar las fallas en aceptables, reducibles a deseables y aceptables. Desarrollando los AMEF (Hojas de información y decisiones) de las fallas críticas.
- e) Elaborar un programa de actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad para cada falla critica, logrando estimar los indicadores de mantenimiento y compararlos con los actuales.

## **II. MÉTODO**

## 2.1. Diseño de investigación: Cuasi-experimental

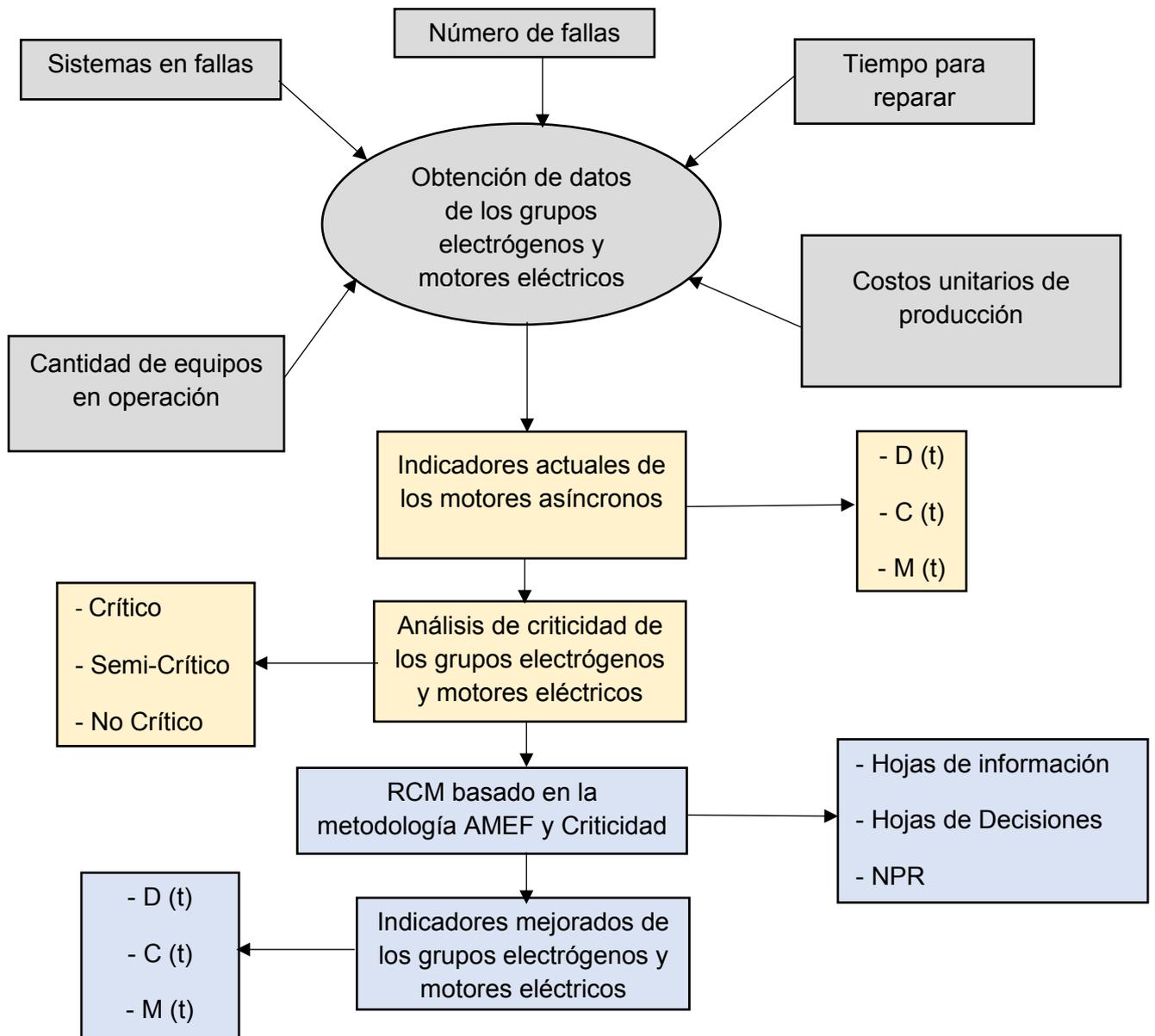


Figura 03. Metodología para el diseño de investigación

## **2.2. Variables, Operacionalización**

### **VARIABLES INDEPENDIENTES:**

- **Mantenimiento centrado en la confiabilidad**
  - ✓ AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)
    - Número de equipos
    - Tipos de fallas
    - Tiempo para reparar (Horas/año)
    - Tiempo de trabajo de cada equipo (Horas/año)

### **VARIABLES DEPENDIENTES:**

- **Aumento de la disponibilidad operacional**
  - ✓ Confiabilidad (%)
  - ✓ Disponibilidad (%)
  - ✓ Mantenibilidad (%)

**Operacionalización:**

Tabla 08: Operacionalización de variables independientes y dependientes

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición de Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Escala de medición</b>
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	AMEF	Metodología que contribuye a la solución de problemas, relacionando un efecto con las posibles causas que lo provoquen; evitando así la recurrencia de un problema o defecto a través del funcionamiento de un activo.	Criticidad de equipos AMEF (hojas de información y hojas de decisiones).	Ordinal
Incremento de la disponibilidad operacional	Confiabilidad	Es la probabilidad de que un equipo cumpla un trabajo específico bajo condiciones determinadas en un tiempo establecido.		Razón (%)
	Mantenibilidad	Es la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un tiempo específico.		Razón (%)
	Disponibilidad	Evalúa el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible.		Razón (%)

## 2.3. Población y muestra

### 2.3.1. Población:

Equipos de extracción de petróleo crudo del lote V de la empresa Graña y Montero.

### 2.3.2. Muestra:

03 Grupos electrógenos diésel modelo C32 ACERT Caterpillar y 117 motores trifásicos de inducción jaula ardilla marca Delcrosa, del lote V de la empresa Graña y Montero.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

- **Técnicas:** Los procedimientos concretos que se utilizó para lograr la información en la presente tesis son:

Tabla 09: Técnicas e instrumentos del proyecto

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Análisis documental	Ficha de registro de fallas
Encuesta	Cuestionario

## 2.5. Métodos de análisis de datos:

Con las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se extraerán datos de entrada como el número de grupos electrógenos y motores eléctricos, sistemas en fallas, numero de falas o intervenciones, costos unitarios de producción, obteniendo el tiempo promedio entre fallas que es el cociente de la sumatoria de los tiempos entre falla y numero de fallas, tiempo promedio para reparar, que es el cociente de la sumatoria de los tiempos para reparar y el número de falla, tasa de fallas que es el valor inverso del tiempo promedio entre fallas y tasa de reparaciones que es el valor inverso del tiempo promedio para reparar.

En segundo lugar, se determinarán los indicadores de mantenimiento como son: disponibilidad la cual es el cociente entre el tiempo medio entre fallas y la suma del

tiempo medio para reparar y el tiempo medio entre fallas, confiabilidad que es la constante de Napier, elevado al negativo de la tasa de falla por el tiempo total para producir dividido entre cien y la mantenibilidad que es el valor unitario menos la constante de Napier, elevada al negativo de la tasa de reparaciones por el tiempo total para producir dividido entre cien en estado actual. Para luego a través de un análisis de criticidad que es la multiplicación de la frecuencia de fallas y la consecuencia, para determinar que grupos electrógenos o motores eléctricos son críticos, Semicritico y no críticos.

En tercer lugar, se desarrollaron las hojas de información y se determinó el número de prioridad de riesgo (NPR) que es la multiplicación de los tres índices: Gravedad, ocurrencia, detección para obtener las fallas indeseables y analizarlas en las hojas de decisiones y poder establecer un plan de mantenimiento.

En cuarto lugar, se realizará un programa Excel de simulación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en estado de mejora, demostrando el aumento de la disponibilidad y confiabilidad y la reducción de la mantenibilidad.

# **III. RESULTADOS**

### 3.1. DIAGNÓSTICO INICIAL DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS Y MOTORES ELÉCTRICOS:

#### 3.1.1. Tiempos del Mantenimiento:

a) Tiempo para reparar (TPR):  $TPR_i = 894.20$  Horas

$$TPR_i = \sum_{i=1}^n TPR_i = TPR_1 + TPR_2 + TPR_3 \dots + TPR_{44}$$

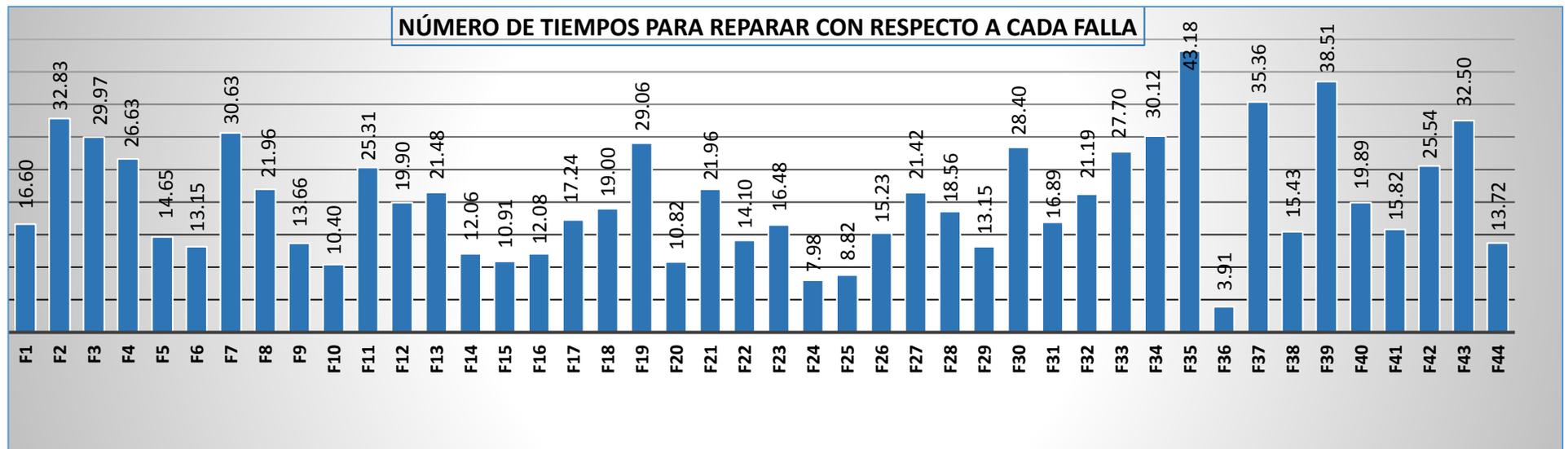


Figura 04: Tiempos de reparación con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 04 nos indica en la parte superior de las barras los tiempos para reparar (TPR), sumando nos da un TPR de 894.20 horas.

**b) Tiempo entre fallas (TEF):**

Los Motores Eléctricos Jaula Ardilla, trabajan a plena carga con un tiempo de operación o tiempo programado de 6570 h/año.

$$TEF_i = T_{p_i} - TPR_i$$

$$TEF_1 = 6570 - 16.60 = 6553.40 \text{ h} \quad TEF_2 = 6537.17 \text{ h} \quad TEF_3 = 6540.03 \text{ h} \quad \dots \quad TEF_{44} = 6570 - 13.72 = 6556.28 \text{ h}$$

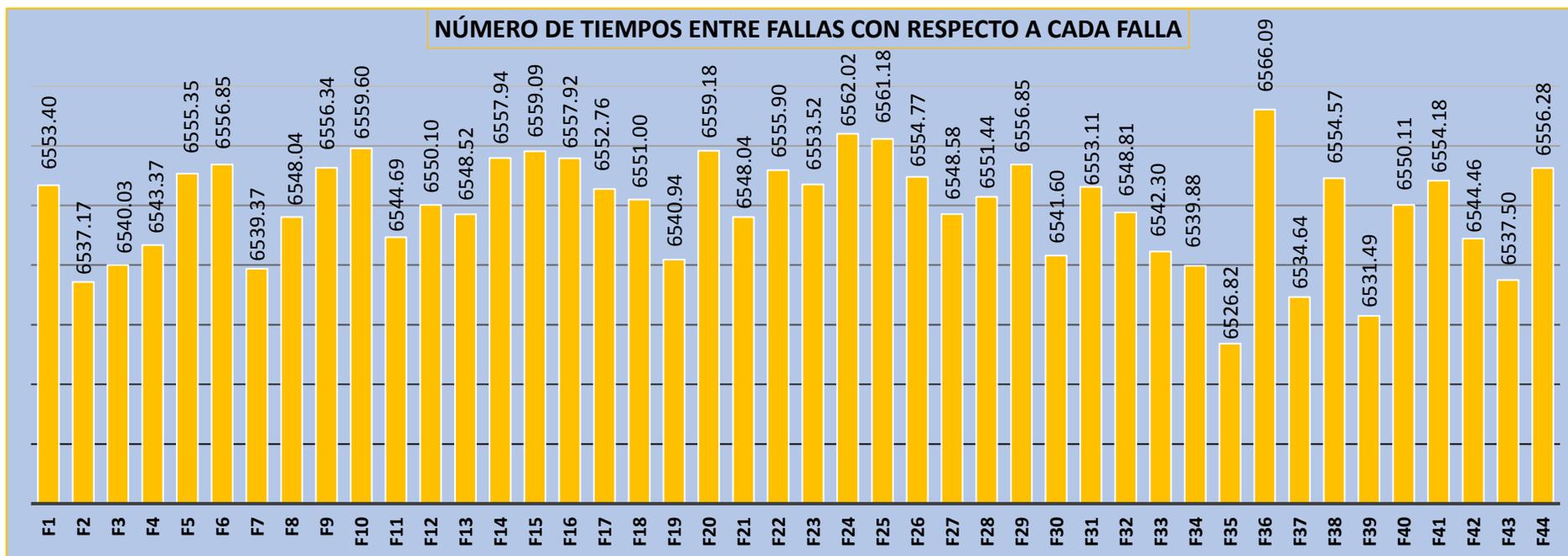


Figura 05: Tiempos entre fallas con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 05 nos muestra en la parte superior de las barras los números de tiempos entre fallas (TEF), se determina con la resta del tiempo de operación ( $T_{p_i}$ ) menos el tiempo para reparar (TPR).

### C) Número de Intervenciones por Falla:

$$i = 9 + 29 + 20 + \dots + 9 = 663$$



Figura 06: Número de Intervenciones con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 06 indica las intervenciones que se hicieron en todas las fallas, sumado nos da un total de 663. En la parte superior de cada falla muestra la cantidad de intervenciones.

Tiempo medio para reparar:

$$TMPR_i = \frac{TPR}{i} \quad TMPR_2 = 1.13 \frac{h}{falla} \quad TMPR_3 = 1.50 \frac{h}{falla} \quad \dots \quad TMPR_{44} = 1.52 \frac{h}{falla}$$

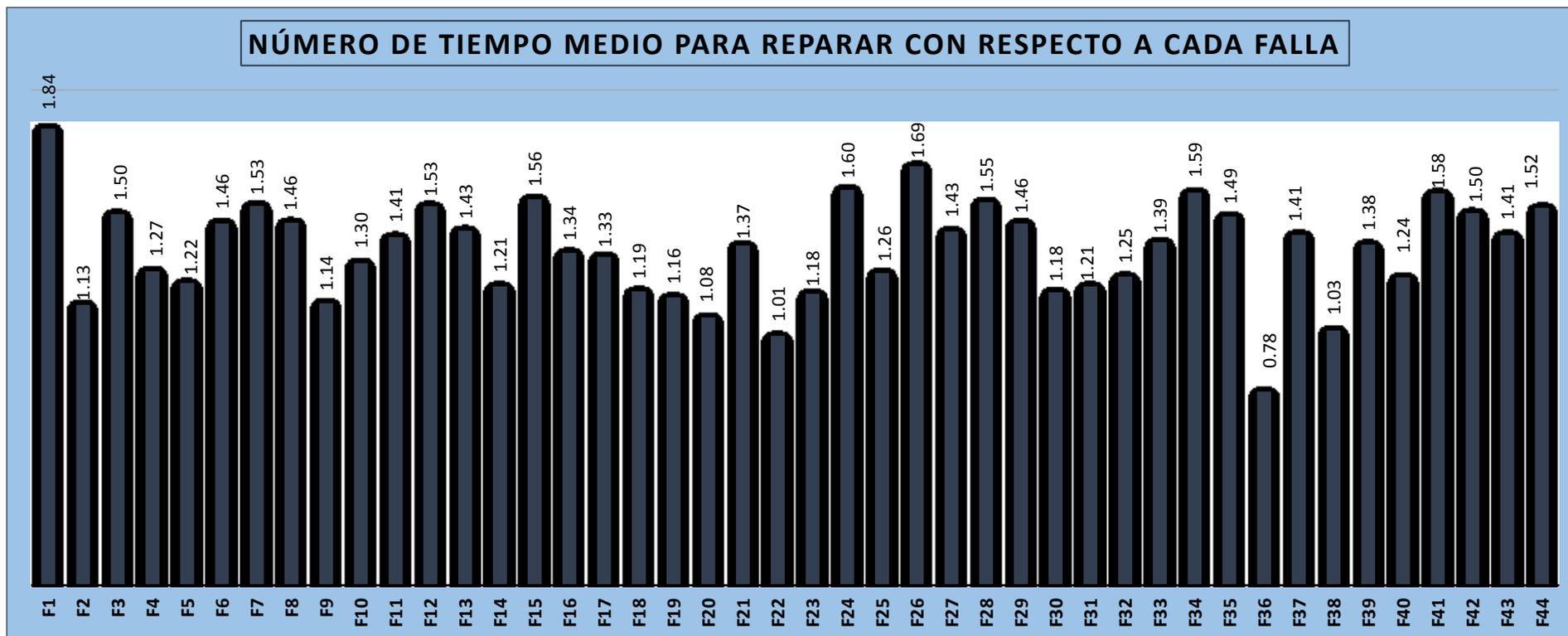


Figura 07: Número de tiempo medio para reparar con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 07 observamos el tiempo medio para reparar de cada falla que están en la parte superior de cada barra, se determina con el tiempo para reparar (TPR) entre las intervenciones (i).

c) Tiempo medio entre fallas (TMEF):

$$\text{TMEF}_i = \frac{\text{TEF}_i}{i_i}$$

d)  $\text{TMEF}_1 = \frac{6553.40}{9} = 728.16 \frac{\text{h}}{\text{falla}}$      $\text{TMEF}_2 = 225.42 \frac{\text{h}}{\text{falla}}$      $\text{TMEF}_3 = 327 \frac{\text{h}}{\text{falla}}$  ...  $\text{TMEF}_{44} = 728.4 \frac{\text{h}}{\text{falla}}$

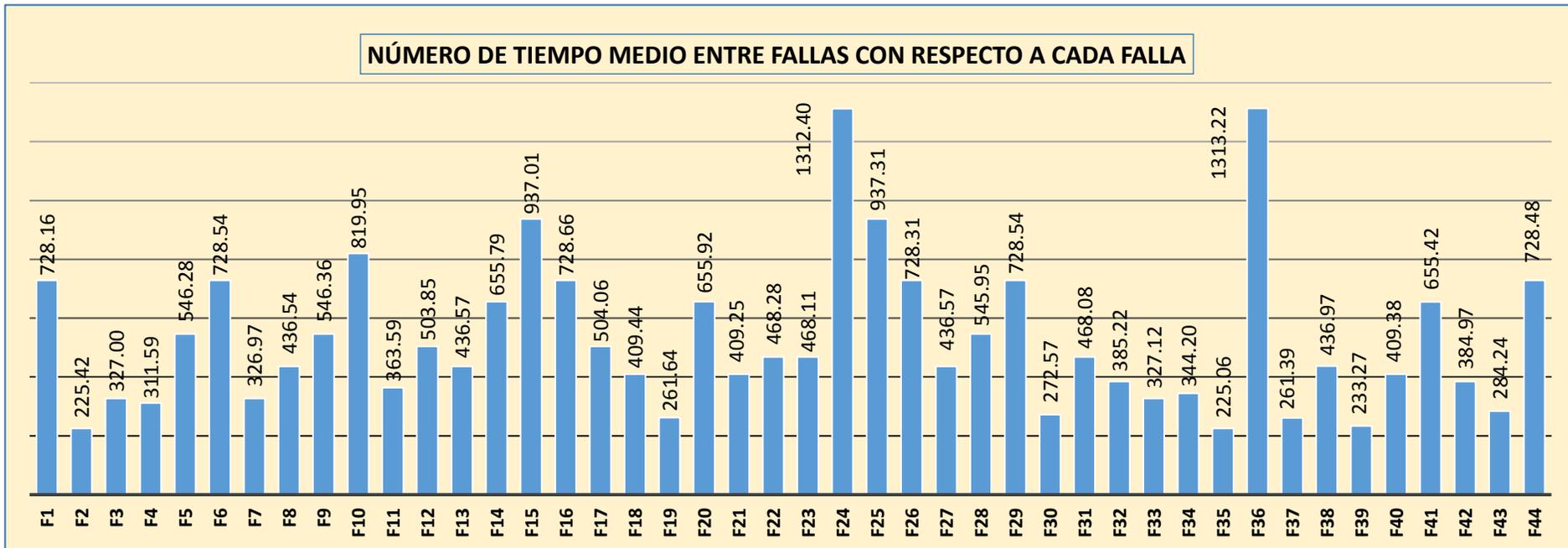


Figura 08: Número de tiempo medio entre fallas con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 08 nos indica el número del tiempo medio entre fallas que están en la parte superior de cada barra, se determina con el tiempo entre fallas (TEF) entre las intervenciones (i).

### 3.1.2. Tasa de Mantenimiento:

#### a) Tasa de Fallas ( $\lambda$ ):

$$\lambda_i = \frac{1}{\text{TMEF}_i}$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{728.16} = 0.00137 \quad \lambda_2 = 0.00444 \quad \lambda_3 = 0.00306 \quad \dots \quad \lambda_{44} = 0.00321$$

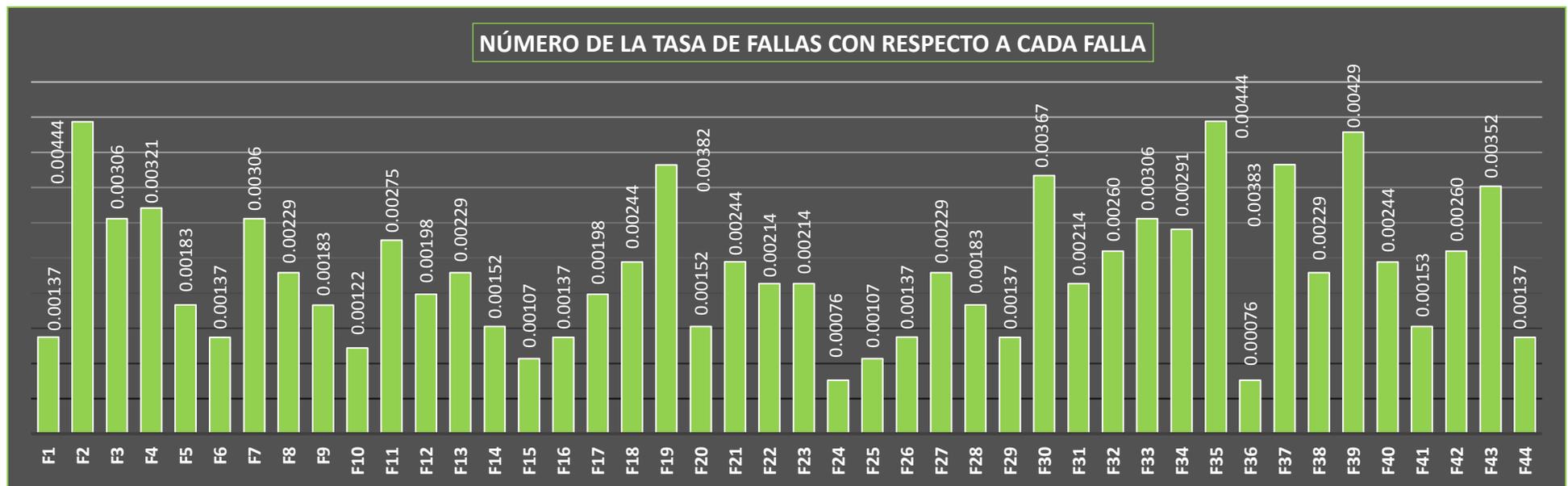


Figura 09: Número de la tasa de fallas con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 09 nos indica el número de tasa de fallas con respecto a cada falla, los valores se pueden apreciar en la parte superior de cada barra. se determina dividiendo 1 entre el tiempo medio entre fallas (TMEF).

b) Tasa de Reparaciones ( $\mu$ ):

$$\mu_i = \frac{1}{\text{TMPR}_i}$$

$$\mu_1 = \frac{1}{1.84} = 0.542 \quad \mu_2 = 0.883 \quad \mu_3 = 0.667 \quad \dots \quad \mu_{44} = 0.56$$

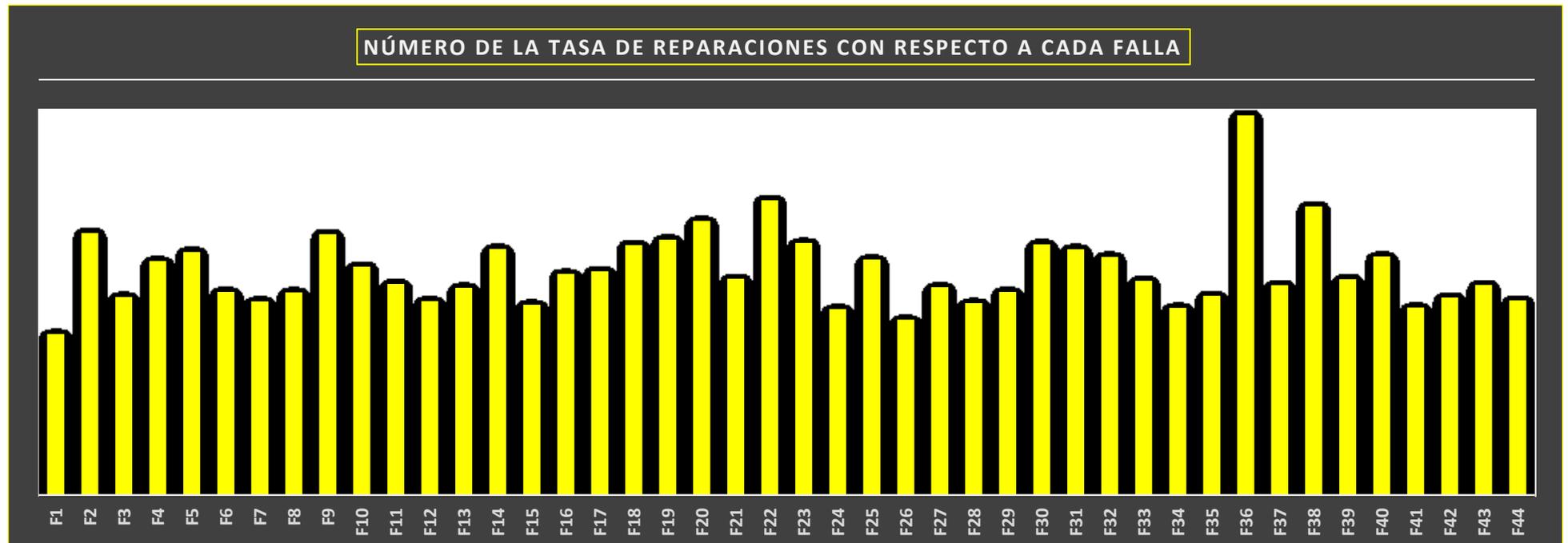


Figura 10: Número de la tasa de reparaciones con relación a cada falla, periodo 2016

La figura 10 nos indica el número de tasa de reparaciones con respecto a cada falla, los valores se pueden apreciar en la parte superior de cada barra, se determina dividiendo 1 entre el tiempo medio para reparar (TMPR).

### 3.2. INDICADORES ACTUALES DEL MANTENIMIENTO:

#### a) Disponibilidad:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$$

#### Datos:

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TPR = 894.20 \text{ h}$$

$$i = 663$$

$$TMEF = \frac{\sum TEF}{i} = \frac{T_p - TPR}{i} = \frac{6570 - 894.20}{663} = 8.56 \text{ h}$$

$$TMPR = \frac{\sum TPR}{i} = \frac{894.20}{663} = 1.35 \text{ h}$$

$$D(t) = \frac{8.56}{8.56 + 1.35} * 100\%$$

$$D(t) = 86\%$$

#### Confiabilidad:

$$C(t) = e^{\frac{-\lambda t}{100*44}} * 100\%$$

#### Datos:

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TMEF = 8.56 \text{ h}$$

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} = \frac{1}{8.56} = 0.12$$

$$C(t) = e^{\frac{-0.12*6570}{100*44}} * 100\%$$

$$C(t) = 83.60\%$$

**Mantenibilidad:**

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu t}{100 \cdot 44 \cdot 12}} \right) * 100\%$$

Datos:

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TMPR = 1.35 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{TMPR} = \frac{1}{1.35} = 0.74$$

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-0.74 \cdot 6570}{100 \cdot 44 \cdot 12}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 8.80\%$$

### 3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS ELEMENTOS EN FALLA:

#### 3.3.1. Valores críticos de las fallas según los elementos:

Tabla 10: Valores críticos de las fallas según los elementos, periodo 2016

N° Fallas	Fallas en operación	Elemento en Falla	Intervenciones	Frecuencia de Fallas	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos del Mantenimiento	Impacto de Seguridad y Medio Ambiente	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
									IOxFOxCMxISMA	FxC
F1	Aceite incorrecto, o nivel de aceite muy alto o muy bajo.	Cojinete	9	2	4	1	1	2	8	16
F2	Baja / Sobre tensión.	Estator	29	4	5	4	2	2	80	320
F3	Bobina cortocircuitada.	Rotor	20	3	10	3	2	2	120	360
F4	Bobina de retención del contactor magnético defectuosa.	Rotor	21	3	7	3	2	2	84	252
F5	Bobinas abiertas en el estator.	Estator	12	2	10	4	2	2	160	320
F6	Chumaceras del eje desgastado o eje curvado.	Cojinete	9	2	10	1	1	2	20	40
F7	Circuito abierto en el tablero de control.	Ventilador	20	3	10	4	2	2	160	480
F8	Circuito abierto en las líneas del motor.	Rotor	15	3	10	3	2	2	120	360
F9	Circuito de control abierto.	Rotor	12	2	7	3	2	2	84	168
F10	Conexiones equivocadas.	Estator	8	2	10	4	2	2	160	320
F11	Conexiones incorrectas en el motor.	Estator	18	3	7	4	2	2	112	336
F12	Conexiones sueltas en el circuito de control	Estator	13	2	5	4	2	2	80	160

F13	Cortocircuito con las chapas, dentro de la ranura.	Estator	15	3	10	4	2	2	160	<b>480</b>
F14	Cortocircuito con las chapas en la salida de la ranura.	Estator	10	2	10	4	2	2	160	<b>320</b>
F15	Cortocircuito en las "colillas" de conexión.	Rotor	7	1	10	4	2	2	160	<b>160</b>
F16	Cortocircuito entre dos fases.	Estator	9	2	10	4	2	2	160	<b>320</b>
F17	Cortocircuito entre espiras.	Rotor	13	2	10	3	2	2	120	<b>240</b>
F18	Desalineamiento.	Eje de Motor	16	3	7	3	1	2	42	<b>126</b>
F19	Desalineamiento del eje del motor.	Eje de Motor	25	3	10	4	2	2	160	<b>480</b>
F20	Desbalanceo de tensión.	Ventilador	10	2	10	4	2	2	160	<b>320</b>
F21	El contactor magnético no hace buen contacto.	Eje de Motor	16	3	10	3	1	2	60	<b>180</b>
F22	Empuje axial excesivo.	Cojinete	14	2	4	1	1	2	8	<b>16</b>
F23	Frecuencia natural del sistema (resonancia).	Eje de Motor	14	2	7	3	1	2	42	<b>84</b>
F24	Fuente de alimentación defectuosa.	Ventilador	5	1	10	4	2	2	160	<b>160</b>
F25	Fusibles primarios defectuosos o quemados.	Estator	7	1	10	4	2	2	160	<b>160</b>
F26	Fusibles secundarios defectuosos o quemados.	Estator	9	2	10	4	2	2	160	<b>320</b>
F27	La entrada del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	Ventilador	15	3	10	4	2	2	160	<b>480</b>

F28	La salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	Ventilador	12	2	10	4	2	2	160	<b>320</b>
F29	Motor sobrecargado.	Eje de Motor	9	2	7	3	1	2	42	<b>84</b>
F30	No cierra el contactor magnético.	Estator	24	3	10	4	2	2	160	<b>480</b>
F31	Protectores de sobrecarga abiertos.	Estator	14	2	5	4	2	2	80	<b>160</b>
F32	Rodamiento sobreengrasado.	Cojinete	17	3	4	1	1	2	8	<b>24</b>
F33	Rodamiento de empuje desgastado.	Cojinete	20	3	4	1	1	2	8	<b>24</b>
F34	Rotor trabado.	Rotor	19	3	10	3	2	2	120	<b>360</b>
F35	Ruido eléctrico.	Eje de Motor	29	4	9	4	1	2	72	<b>288</b>
F36	Se aplicó sellador insuficiente a las roscas del tapón de drenaje.	Cojinete	5	1	4	1	1	2	8	<b>8</b>
F37	Sobrecarga - hidráulica.	Cojinete	25	3	4	1	1	2	8	<b>24</b>
F38	Sobrecarga - mecánica.	Cojinete	15	3	4	1	1	2	8	<b>24</b>
F39	Sobrecarga.	Cojinete	28	3	4	1	1	2	8	<b>24</b>
F40	Tensión baja o incorrecta.	Estator	16	3	7	4	2	2	112	<b>336</b>
F41	Tensión descompensada.	Estator	10	2	5	4	2	2	80	<b>160</b>
F42	Terminales mal conectadas.	Estator	17	3	10	4	2	2	160	<b>480</b>
F43	Tierra.	Rotor	23	3	10	3	2	2	120	<b>360</b>
F44	Vibración ambiental.	Eje de Motor	9	2	7	3	1	2	42	<b>84</b>

### 3.3.2. Clasificación según el nivel de criticidad.

**Primero:** Establecemos la tabla de ponderación para la frecuencia de falla:

Tabla 11: Ponderación para la frecuencia de falla.

<b>Ponderación</b>	<b>Frecuencia de falla (Pre-establecido)</b>	<b>Frecuencia de falla (Matemáticamente)</b>	<b>Frecuencia de fallas (De acuerdo a los datos, según las intervenciones)</b> Valor máx. de ponderación = Valor máx. de Intervenciones $4X = 29$ $X = 7$
4	Elevado mayor a 40 fallas/año	Mayor a 4X	Elevado mayor a 28 fallas/año
3	Promedio 20-40 fallas/año	De 2X a 4X	Promedio 14 - 28 fallas/año
2	Buena 10-20 fallas/año	De X a 2X	Buena 7 - 14 fallas/año
1	Excelente menos de 10 fallas/año	Hasta X	Excelente menos de 7 fallas/año

**Elegimos un tipo de falla de cómo encontrar el nivel de criticidad de cada falla:**

N° de Falla : F3  
Elemento : Rotor  
Falla : Bobina cortocircuitada  
Consecuencia : 120  
Frecuencia de falla ponderada : 3

En la siguiente figura 11, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento: Rotor.

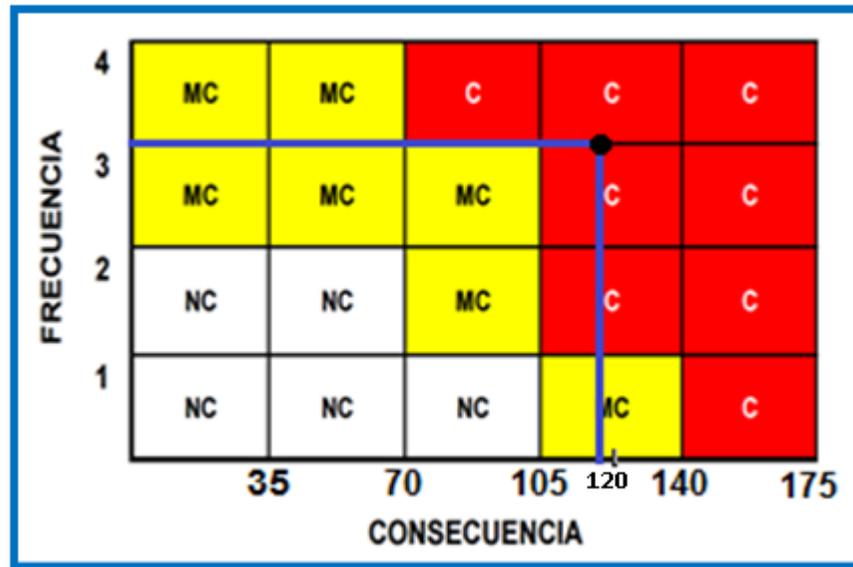


Figura 11: Intersección de la falla N°3 según la frecuencia y la consecuencia.  
Fuente: Carlos Parra & Adolfo Márquez (2012)

Tabla 12: Clasificación según el nivel de criticidad, periodo 2016

N° Fallas	Características de Falla de los Motores Eléctricos Jaula Ardilla	Elemento en Falla	Intervenciones	Frecuencia de Fallas	I.O	F.O	C.M	I. S.y MA	CONSECUENCIA	NIVEL DE CRITICIDAD
									IOxFOxCMxISMA	
F1	Aceite incorrecto, o nivel de aceite muy alto o muy bajo.	Cojinete	9	2	4	1	1	2	8	NC
F2	Baja / Sobre tensión.	Estator	29	4	5	4	2	2	80	C
F3	Bobina cortocircuitada.	Rotor	20	3	10	3	2	2	120	C
F4	Bobina de retención del contactor magnético defectuosa.	Rotor	21	3	7	3	2	2	84	MC
F5	Bobinas abiertas en el estator.	Estator	12	2	10	4	2	2	160	C
F6	Chumaceras del eje desgastado o eje curvado.	Cojinete	9	2	10	1	1	2	20	NC
F7	Circuito abierto en el tablero de control.	Ventilador	20	3	10	4	2	2	160	C
F8	Circuito abierto en las líneas del motor.	Rotor	15	3	10	3	2	2	120	C
F9	Circuito de control abierto.	Rotor	12	2	7	3	2	2	84	MC
F10	Conexiones equivocadas.	Estator	8	2	10	4	2	2	160	C
F11	Conexiones incorrectas en el motor.	Estator	18	3	7	4	2	2	112	C
F12	Conexiones sueltas o mal apretadas en el circuito de control.	Estator	13	2	5	4	2	2	80	MC
F13	Cortocircuito con las chapas, dentro de la ranura.	Estator	15	3	10	4	2	2	160	C
F14	Cortocircuito con las chapas en la salida de la ranura.	Estator	10	2	10	4	2	2	160	C
F15	Cortocircuito en las "colillas" de conexión.	Rotor	7	1	10	4	2	2	160	C

F16	Cortocircuito entre dos fases.	Estator	9	2	10	4	2	2	160	C
F17	Cortocircuito entre espiras.	Rotor	13	2	10	3	2	2	120	C
F18	Desalineamiento.	Eje de Motor	16	3	7	3	1	2	42	MC
F19	Desalineamiento del eje del motor.	Eje de Motor	25	3	10	4	2	2	160	C
F20	Desbalanceo de tensión.	Ventilador	10	2	10	4	2	2	160	C
F21	El contactor magnético no hace buen contacto.	Eje de Motor	16	3	10	3	1	2	60	MC
F22	Empuje axial excesivo.	Cojinete	14	3	4	1	1	2	8	MC
F23	Frecuencia natural del sistema (resonancia).	Eje de Motor	14	3	7	3	1	2	42	MC
F24	Fuente de alimentación defectuosa.	Ventilador	5	1	10	4	2	2	160	C
F25	Fusibles primarios defectuosos o quemados.	Estator	7	1	10	4	2	2	160	C
F26	Fusibles secundarios defectuosos o quemados.	Estator	9	2	10	4	2	2	160	C
F27	La entrada del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	Ventilador	15	3	10	4	2	2	160	C
F28	La salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	Ventilador	12	2	10	4	2	2	160	C
F29	Motor sobrecargado.	Eje de Motor	9	2	7	3	1	2	42	NC
F30	No cierra el contactor magnético.	Estator	24	3	10	4	2	2	160	C
F31	Protectores de sobrecarga abiertos.	Estator	14	3	5	4	2	2	80	MC
F32	Rodamiento sobreengrasado.	Cojinete	17	3	4	1	1	2	8	MC

F33	Rodamiento de empuje desgastado.	Cojinete	20	3	4	1	1	2	8	MC
F34	Rotor trabado.	Rotor	19	3	10	3	2	2	120	C
F35	Ruido eléctrico.	Eje de Motor	29	4	9	4	1	2	72	C
F36	Se aplicó sellador insuficiente a las roscas del tapón de drenaje.	Cojinete	5	1	4	1	1	2	8	NC
F37	Sobrecarga - hidráulica.	Cojinete	25	3	4	1	1	2	8	MC
F38	Sobrecarga - mecánica.	Cojinete	15	3	4	1	1	2	8	MC
F39	Sobrecarga.	Cojinete	28	3	4	1	1	2	8	NC
F40	Tensión baja o incorrecta.	Estator	16	3	7	4	2	2	112	C
F41	Tensión descompensada.	Estator	10	2	5	4	2	2	80	MC
F42	Terminales mal conectadas.	Estator	17	3	10	4	2	2	160	C
F43	Tierra.	Rotor	23	3	10	3	2	2	120	C
F44	Vibración ambiental.	Eje de Motor	9	2	7	3	1	2	42	NC

Nivel de Criticidad	Cantidad
<b>Críticos</b>	<b>25</b>
<b>Medio Crítico</b>	<b>13</b>
<b>No Crítico</b>	<b>6</b>
	<b>44</b>

### 3.4. Evaluación de cada una de las fallas, a través del desarrollo de la hoja de información del AMEF:

Tabla 13: Hoja de información del Equipo Rotor, periodo 2016

<b>Nombre del Equipo: Rotor</b>		<b>Realizado Por:</b> Dennis Eyvind Chávez Ramírez			
<b>Sistema: Eléctrico</b>					
<b>Pieza</b>	<b>Función que desempeña (F)</b>	<b>Modo de Fallo funcional (FF)</b>		<b>Causas Potenciales de Fallo (FM)</b>	
Rotor	1. Inducir corriente eléctrica, a través del movimiento relativo entre el campo y la rotación del rotor, dando un resultado de fuerza de torsión para dar vuelta el eje del motor.	A	F3: Bobina cortocircuitada.	1	Elevadas RPM, superior a la de diseño.
				2	Incremento de voltaje superior a la tensión absorbida.
		B	F8: Circuito abierto en las líneas del motor.	1	Incremento de la corriente en las líneas trifásicas.
		C	F15: Cortocircuito en las "colillas" de conexión.	1	Área de conductores mal dimensionada.
		D	F17: Cortocircuito entre espiras.	1	Elevada corriente eléctrica, amperaje superior al amperaje nominal.
		E	F34: Rotor trabado.	1	Desalineamiento del eje principal por exceso de temperatura a 50°C.
		F	F43: Tierra.	1	Mala resistencia de la superficie.
2	Mala selección de conductores.				

Tabla 14: Hoja de información del Equipo Estator, periodo 2016

Nombre del Equipo: Estator		Realizado Por: Dennis Eyvind Chávez Ramírez			
Sistema: Eléctrico					
Pieza	Función que desempeña (F)	Modo de Fallo funcional (FF)		Causas Potenciales de Fallo (FM)	
Estator	1. Es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente.	A	F2: Baja / Sobre tensión.	1	Sobredimensionamiento de los conductores eléctricos de absorción.
				2	Voltaje superior al admisible.
		B	F5: Bobinas abiertas en el estator.	1	Desalineamiento entre líneas de cojinetes.
				2	Reducción de las RPM al inicio del arranque.
		C	F10: Conexiones equivocadas.	1	Mal aislamiento de los conductores.
		D	F11: Conexiones incorrectas en el motor.	1	Incorrectos cambios de fase.
		E	F13: Cortocircuito con las chapas, dentro de la ranura.	1	Fisuras (aparición de grietas internas).
		F	F14: Cortocircuito con las chapas en la salida de la ranura.	1	Fisuras (aparición de grietas externas).
		G	F16: Cortocircuito entre dos fases.	1	Inestabilidad de las RPM del motor.
		H	F25: Fusibles primarios defectuosos o quemados.	1	Elevado voltaje de consumo en el motor.
				2	Elevada corriente en el motor.
		I	F26: Fusibles secundarios defectuosos o quemados.	1	Elevado voltaje de consumo en el tablero.
				2	Elevada corriente en el tablero.
J	F30: No cierra el contactor magnético.	1	Corriente de diseño del motor superior a corriente de diseño del contactor o interruptor magnético.		
K	F40: Tensión baja o incorrecta.	1	Fluctuación en la corriente de operación o de trabajo.		
L	F42: Terminales mal conectadas.	1	Desajuste de bornes eléctricos.		

Tabla 15: Hoja de información del Equipo Ventilador, periodo 2016

<b>Nombre del Equipo: Ventilador</b>		<b>Realizado Por: Dennis Eyvind Chávez Ramírez</b>		
<b>Sistema: Refrigeración</b>				
<b>Pieza</b>	<b>Función que desempeña (F)</b>	<b>Modo de Fallo funcional (FF)</b>		<b>Causas Potenciales de Fallo (FM)</b>
Ventilador	1. Absorber el aire del ambiente y hacerlo circular por las ranuras de ventilación de la carcasa. Facilita el intercambio de temperatura entre el aire interior del motor y el aire del medio ambiente, permitiendo así la refrigeración de la máquina.	A	F7: Circuito abierto en el tablero de control.	1 Fluctuación de las RPM de giro de las aspas del ventilador.
		B	F20: Desbalanceo de tensión.	1 Ineficiencia del flujo volumétrico del aire.
		C	F24: Fuente de alimentación defectuosa.	1 Corriente de arranque del motor inferior a la corriente necesaria para mover el ventilador.
		D	F27: La entrada del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	1 Exceso de acumulación de polvo.
		E	F28: La salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	1 Exceso de acumulación de polvo.

Tabla 16: Hoja de información del Equipo Eje de Motor, periodo 2016

<b>Nombre del Equipo: Eje de Motor</b>		<b>Realizado Por: Dennis Eyvind Chávez Ramírez</b>		
<b>Sistema: Transmisión de Potencia</b>				
<b>Pieza</b>	<b>Función que desempeña (F)</b>	<b>Modo de Fallo funcional (FF)</b>		<b>Causas Potenciales de Fallo (FM)</b>
Eje de Motor	1. Elemento que permita el libre giro del rotor soportado sobre chumaceras	A	F19: Desalineamiento del eje del motor.	1 Por desalineamiento entre las líneas horizontal, vertical de las chumaceras.
				2 Por desalineamiento de la superficie sobre la cual está ubicada el motor.
				3 Problemas en la lubricación de los cojinetes.
		B	F35: Ruido eléctrico.	1 Variación de las RPM del eje.
				2 Por vibración ambiental.

### 3.5. Determinación de las fallas Inaceptables de las máquinas críticas:

#### 3.5.1. Evaluación del número de prioridad de riesgo (NPR):

Tabla 17: Número de prioridad de riesgo de cada falla crítica, periodo 2016

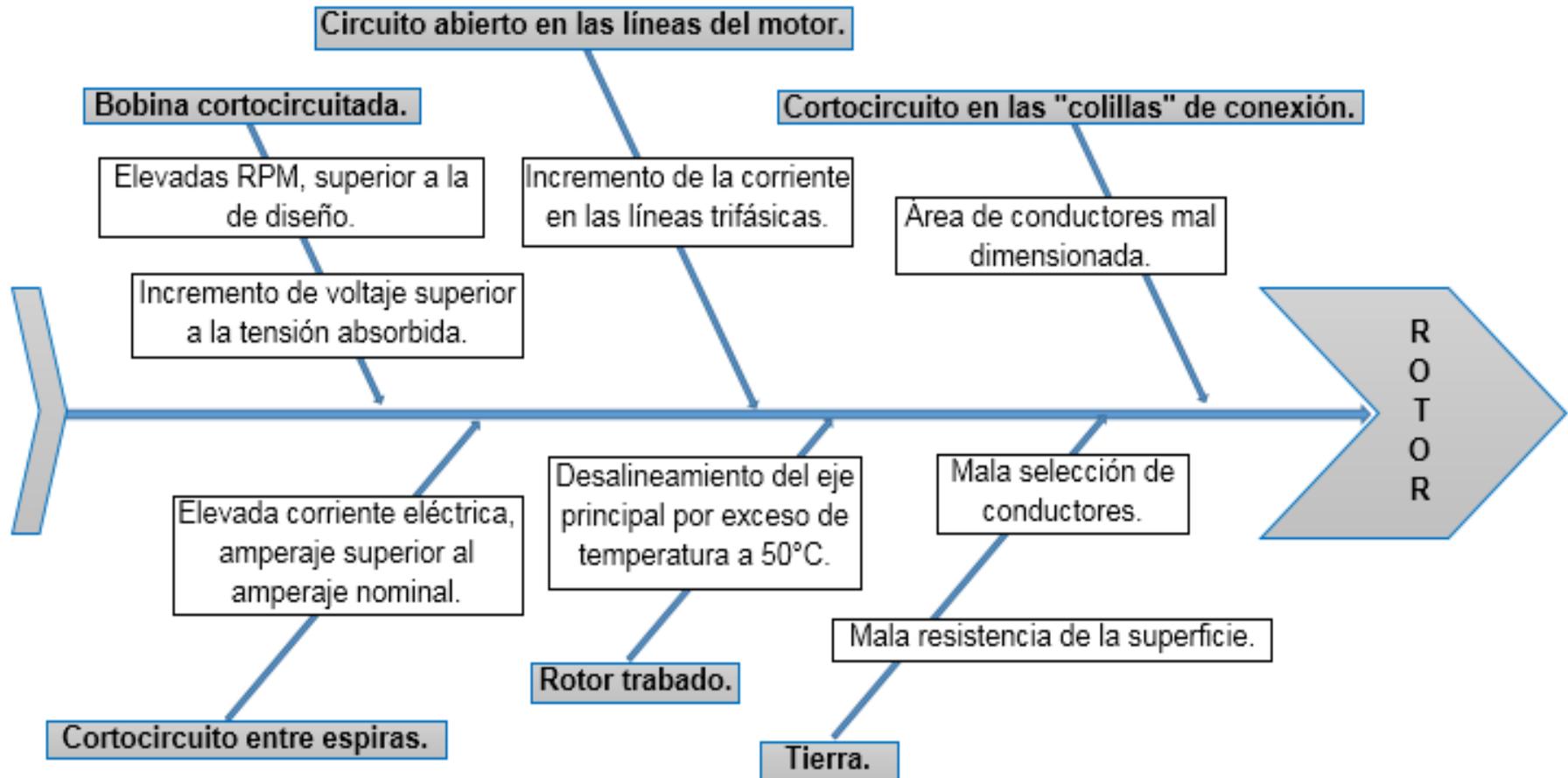
N°	Falla de los Motores Eléctricos Jaula Ardilla	Elemento en Falla	ÍNDICES			NPR	CLASIFICACIÓN DE LA FALLA
			Gravedad	Ocurrencia	Detección	G*O*D	
1	Bobina cortocircuitada.	Rotor	8	10	8	640	Inaceptable
2	Circuito abierto en las líneas del motor.		9	8	7	504	Inaceptable
3	Cortocircuito en las "colillas" de conexión.		9	5	7	315	Inaceptable
4	Cortocircuito entre espiras.		9	8	7	504	Inaceptable
5	Rotor trabado.		8	9	8	576	Inaceptable
6	Tierra.		9	10	9	810	Inaceptable
7	Baja / Sobre tensión.	Estator	7	10	8	560	Inaceptable
8	Bobinas abiertas en el estator.		8	8	8	512	Inaceptable
9	Conexiones equivocadas.		9	5	5	225	Inaceptable
10	Conexiones incorrectas en el motor.		4	6	5	120	Aceptable
11	Cortocircuito con las chapas, dentro de la ranura.		9	8	6	432	Inaceptable
12	Cortocircuito con las chapas en la salida de la ranura.		9	6	6	324	Inaceptable
13	Cortocircuito entre dos fases.		9	6	6	324	Inaceptable
14	Fusibles primarios defectuosos o quemados.		7	6	4	168	Reducibles

15	Fusibles secundarios defectuosos o quemados.		7	6	4	168	Reducibles deseables
16	No cierra el contactor magnético.		10	10	5	500	Inaceptable
17	Tensión baja o incorrecta.		7	8	8	448	Inaceptable
18	Terminales mal conectadas.		5	7	3	105	Aceptables
19	Circuito abierto en el tablero de control.	Ventilador	9	10	6	540	Inaceptable
20	Desbalanceo de tensión.		7	6	7	294	Inaceptable
21	Fuente de alimentación defectuosa.		8	6	6	288	Inaceptable
22	La entrada del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.		5	7	3	105	Aceptables
23	La salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.		5	7	3	105	Aceptables
24	Desalineamiento del eje del motor.	Eje de Motor	7	10	8	560	Inaceptable
25	Ruido eléctrico.		7	10	9	630	Inaceptable

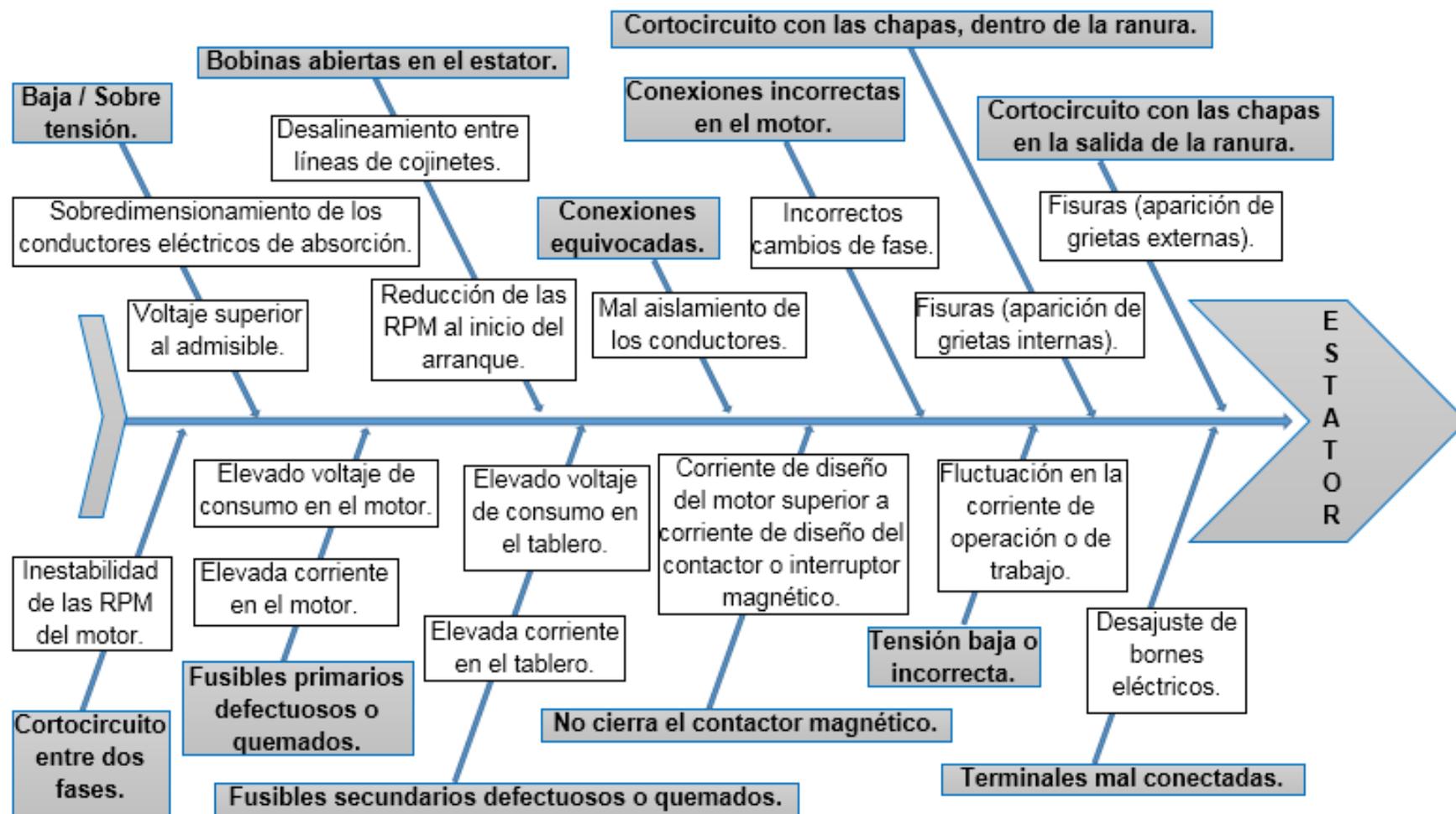
Escala			FALLA	Cantidad de Fallas
200 <	NPR		Inaceptable	19
125 <	NPR	≤ 200	Reducibles deseables	2
	NPR	≤ 125	Aceptables	4

### 3.5.2. Evaluación Causa Raíz (Diagrama Ishikawa):

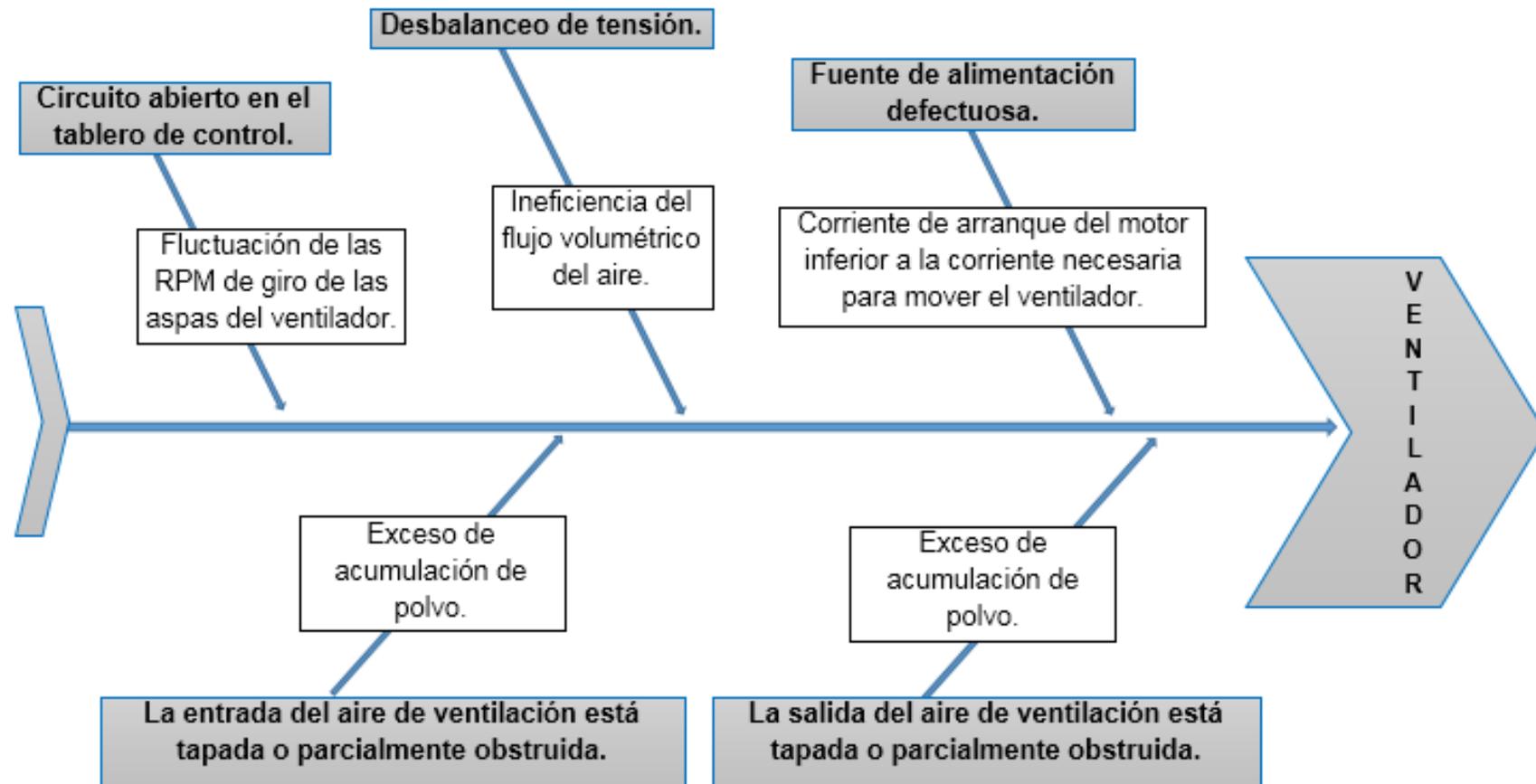
a) Rotor:



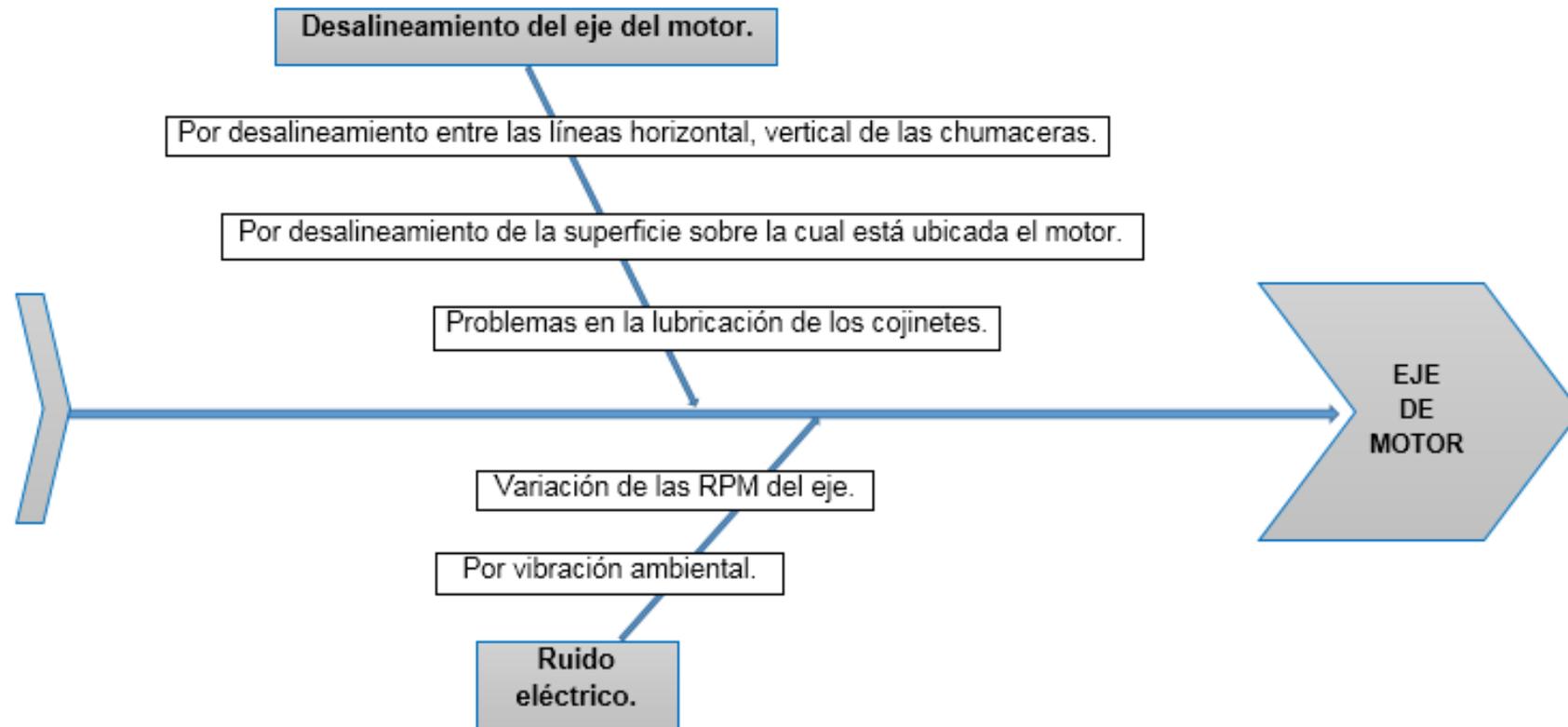
**b) Estator:**



c) Ventilador:



**d) Eje de Motor:**



### 3.6. Desarrollo de las hojas de decisiones para la elaboración del plan de mantenimiento basado en el ACR:

#### 3.6.1. Desarrollo de la hoja de decisiones para cada falla inaceptables.

Tabla 18: Hoja de decisiones del Equipo Rotor, periodo 2016

HOJA DE DECISIONES			Nombre de la pieza: Rotor						Facilitador: Dennis Eyvind Chávez Ramírez					Fecha: 01/07/2016	Hoja N° 1	
			Sistema: Eléctrico						Auditor: Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez					Fecha: 10/07/2016	de: 1/1	
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3							
1	A	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar e inspeccionar la velocidad de rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	1d	Técnico Mecánico/Electricista	
1	A	2	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar el tablero general de consumo de voltaje en las líneas de absorción en los motores eléctricos.	1d	Técnico Mecánico/Electricista	
1	B	1	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar las líneas trifásicas de ingreso al motor.	1s	Técnico Mecánico/Electricista	
1	C	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar a la superficie vertical el estado de conductores y correcto diámetro de ellos.	1m	Técnico Mecánico/Electricista	

1	D	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de corriente del motor eléctrico y máquina.	1d	Técnico Mecánico/Electricista
1	E	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Realizar cambio de lubricación periódicos cada 250 horas. Para mantener la temperatura por debajo de los 90°C.	8d	Técnico Mecánico/Electricista
1	F	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar resistencia de terrenos sobre el cual están instalados los motores, para obtener una resistencia normal de 25 ohmios.	1a	Técnico Mecánico/Electricista
1	F	2	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	1m	Técnico Mecánico/Electricista

Tabla 19: Hoja de decisiones del Equipo Estator, periodo 2016

<b>HOJA DE DECISIONES</b>			<b>Nombre de la pieza: Estator</b>					<b>Facilitador: Dennis Eyvind Chávez Ramírez</b>					<b>Fecha: 01/07/2016</b>		<b>Hoja N° 1</b>				
			<b>Sistema: Eléctrico</b>					<b>Auditor: Ing. Jorge Antonio Inciso Vasquez</b>					<b>Fecha: 10/07/2016</b>		<b>de: 1/1</b>				
<b>Referencia de información</b>			<b>Evaluación de consecuencias</b>				<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>Acción de falla de</b>				<b>Tarea Propuesta</b>		<b>Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)</b>		<b>A realizarse por</b>	
							<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>										
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>FM</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>							
<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>																	
1	A	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	1m	Técnico Mecánico/Electricista				

1	A	2	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar la caída de voltaje que no sea superior al 3.5% - 6% del voltaje máximo.	1d	Técnico Mecánico/Electricista
2	B	1	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	1m	Técnico Mecánico/Electricista
2	B	2	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar e inspeccionar la velocidad de rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	1d	Técnico Mecánico/Electricista
1	C	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de conductores R-S-T y calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	1d	Técnico Mecánico/Electricista
1	E	1	N	N	S	S	N	S	N	N	N	N	Verificar e inspeccionar a través de pruebas de tintes penetrantes fisuras internas en chapas.	6m	Técnico Mecánico/Electricista
1	F	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar e inspeccionar a través de pruebas de tintes penetrantes fisuras externas en chapas.	6m	Técnico Mecánico/Electricista
1	G	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Someter a pruebas de velocidad máxima y mínimas al rotor.	1a	Técnico Mecánico/Electricista
1	J	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar que la corriente del interruptor magnético sea de 2 a 1 a la corriente del motor.	1s	Técnico Mecánico/Electricista

1	K	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar las líneas trifásicas de ingreso al motor.	1s	Técnico Mecánico/Electricista
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------------------------------

Tabla 20: Hoja de decisiones del Equipo Ventilador, periodo 2016

HOJA DE DECISIONES			Nombre del Equipo: Ventilador				Facilitador: Dennis Eyvind Chávez Ramírez						Fecha: 01/07/2016	Hoja N° 1		
			Sistema: Refrigeración				Auditor: Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez						Fecha: 10/07/2016	de: 1/1		
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de					Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	Tarea Propuesta			
							N1	N2	N3							
1	A	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Ajustar barras de tensión del tablero y verificar que la caída de tensión no supere el 6% de voltaje nominal.	1m	Técnico Mecánico/Electricista	
1	B	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Ajustar barras de tensión del tablero y verificar que la caída de tensión no supere el 6% de voltaje nominal.	1m	Técnico Mecánico/Electricista	

1	C	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar la corriente de arranque del motor a velocidades de rotación máxima.	1s	Técnico Mecánico/Electricista
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------------------------------

Tabla 21: Hoja de decisiones del Equipo Eje de Motor, periodo 2016

HOJA DE DECISIONES			Nombre del Equipo: Eje de Motor										Facilitador: Dennis Eyvind Chávez Ramírez	Fecha: 01/07/2016	Hoja N° 1	
			Sistema: Transmisión de Potencia										Auditor: Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez	Fecha: 10/07/2016	de: 1/1	
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							
1	A	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar alineamiento entre chumaceras del eje central del motor, no exceder 0.05°.	1m	Técnico Mecánico/Electricista	
1	A	2	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Realizar alineamiento de superficie con la base del motor y la superficie de la tierra, teniendo en cuenta el nivel de ajuste de pernos.	1m	Técnico Mecánico/Electricista	
1	A	3	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Realizar cambio de lubricación periódicos cada 250 horas.	8d	Técnico Mecánico/Electricista	

1	B	1	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar e inspeccionar la velocidad de rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	1d	Técnico Mecánico/Electricista
1	B	2	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Inspeccionar existencias de vibraciones ambientales provocadas por otra máquina. Ajustar pernos.	1s	Técnico Mecánico/Electricista

**3.6.2. Elaboración del plan de mantenimiento RCM a través de un programa de actividades a los elementos críticos:**

Tabla 22: Actividades a realizar en el plan de mantenimiento RCM para los elementos críticos.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO RCM (ANUAL - 2016)			
P	Mantenimiento preventivo	C	NÚMERO DE MANTENIMIENTOS NO REALIZADOS
R	Mantenimiento realizado		
X	Mantenimiento reprogramado		
C	Mantenimiento correctivo		
			<i>Inicio de ejecución 01-01-2018</i>
			<i>Final de la ejecución 31-12-2018</i>
Fecha :	<b>01/01/2018 (Se actualiza)</b>	EQUIPOS	<b>MOTORES ELÉCTRICOS Y GRUPO ELECTRÓGENO</b>

<b>TIEMPO DE INTERVECCIÓN</b>	<b>SISTEMA/EQUIPO</b>	<b>CRITICIDAD</b>
<b>ELEMENTO</b>	<b>ROTOR JAULA ARDILLA</b>	<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>
1 SEMANA	1. Verificar e inspeccionar la velocidad de Rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	120
1 SEMANA	2. Verificar el tablero general de consumo de voltaje en las líneas de absorción en los motores eléctricos.	120
1 SEMANA	3. Inspeccionar las líneas trifásicas de ingreso al motor.	120
4 SEMANAS	4. Verificar a la superficie vertical del estado de conductores y correcto diámetro de ellos.	160
1 SEMANA	5. Verificar estado de corriente del motor eléctrico y máquina.	120
1 SEMANA	6. Realizar cambio de lubricación periódicos cada 250 horas.	120
1 SEMANA	7. Verificar resistencia de terrenos sobre el cual están instalados los motores, para obtener una resistencia normal de 25 ohmios.	120

4 SEMANAS	8. Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	120
-----------	--	-----

<b>ELEMENTO</b>	<b>ESTATOR JAULA ARDILLA</b>	<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>
1 SEMANA	1. Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	80
1 SEMANA	2. Verificar la caída de voltaje que no sea superior al 3.5% - 6% del voltaje máximo.	80
4 SEMANAS	3. Calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	160
1 SEMANA	4. Verificar e inspeccionar la velocidad de rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	160
1 SEMANA	5. Verificar estado de conductores R-S-T y calibrar sección de conductores utilizando calibres americanos AWG.	160
24 SEMANAS	6. Verificar e inspeccionar a través de pruebas de tintes penetrantes fisuras internas en chapas.	160
24 SEMANAS	7. Verificar e inspeccionar a través de pruebas de tintes penetrantes fisuras externas en chapas.	160
1 SEMANA	8. Someter a pruebas de velocidad máxima y mínimas al rotor.	160
1 SEMANA	9. Verificar que la corriente del interruptor magnético sea de 2 a 1 a la corriente del motor.	160

1 SEMANA	10. Inspeccionar las líneas trifásicas de ingreso al motor.	112
4 SEMANAS	11. Limpieza de bornes eléctricos.	160
<b>ELEMENTO</b>	<b>VENTILADOR JAULA ARDILLA</b>	<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>
4 SEMANAS	1. Ajustar barras de tensión del tablero y verificar que la caída de tensión no supere el 6% de voltaje nominal.	160
4 SEMANAS	2. Ajustar barras de tensión del tablero y verificar que la caída de tensión no supere el 6% de voltaje nominal.	160
1 SEMANA	3. Inspeccionar la corriente de arranque del motor a velocidades de rotación máxima.	160
<b>ELEMENTO</b>	<b>EJE DE MOTOR JAULA ARDILLA</b>	<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>
4 SEMANAS	1. Verificar alineamiento entre chumaceras del eje central del motor, no exceder 0.05°.	160
4 SEMANAS	2. Realizar alineamiento de superficie con la base del motor y la superficie de la tierra, teniendo en cuenta el nivel de ajuste de pernos.	160
1 SEMANA	3. Realizar cambio de lubricación periódicos cada 250 horas.	72
1 SEMANA	4. Verificar e inspeccionar la velocidad de rotación de trabajo de la máquina que acciona el motor eléctrico.	72
1 SEMANA	5. Inspeccionar existencias de vibraciones ambientales provocadas por otra máquina. Ajustar pernos.	72

### 3.7. Estimación de los Indicadores de Gestión de mantenimiento

#### 3.7.1. Estimación de los Indicadores de Gestión de Mantenimiento:

En la tabla 27, se muestra los parámetros en mejora

Tabla 26: Resumen del Cálculo de los datos para los parámetros en Mejora, periodo 2016

Intervenciones		Nivel de Criticidad		Fallas		TPR
387	387	Críticos	25	25	531.04	531.04
276	207	Medio Críticos	13	19	264.12	363.16
	69	No Críticos	6		99.04	
663	663	Total	44	44	894.20	894.20

Tabla 27: Parámetros en Mejora, periodo 2016

N° Fallas	Intervenciones (i)	Tiempo Programado (TP)	Tiempo para reparar (TPR)	Tiempo entre fallas $TEF = TP - TPR$	Tiempo medio entre fallas $TMEF = TEF / i$	Tiempo medio para reparar $TMPR = TPR / i$	Tasa de fallas $\lambda = 1 / TMEF$	Tasa de reparaciones $\mu = 1 / TMPR$
19	276	6570	363.16	6206.84	22.49	1.32	0.04	0.76

### 3.7.2. Análisis Comparativo:

#### a) Análisis comparativo de Parámetros de Mantenimiento:

Tabla 28: Parámetros en Mejora, periodo 2016

PARÁMETROS DEL MANTENIMIENTO						
Condición	N° Fallas	N° Intervenciones (i)	TPR [Horas de reparaciones/año]	TEF [Horas de operación/año]	TMEF [Horas de operación/falla]	TMPR [Horas de reparación/falla]
<b>Actual</b>	44	663	894.20	5675.80	8.56	1.35
<b>Mejora</b>	19	276	363.16	6206.84	22.49	1.32
<b>Comentario</b>	El análisis de criticidad encontró como resultado de 44 fallas en total, 25 Críticas no considerando las fallas Medias Críticas y No Críticas, teniendo 13 y 6 respectivamente, con un total de 19.	El Diseño del plan de mantenimiento MCC basado en el AMEF, soluciona las fallas críticas, no considerando las Intervenciones Medias Críticas y No Críticas las cuales tienen una cantidad de Intervenciones de 207 y 69 respectivamente lo cual entrega un total de 276.	El Diseño del plan de mantenimiento MCC basado en el AMEF, reducirá 531.04 horas de reparación al año en los Motores Eléctricos Jaula Ardilla.	Los Motores Eléctricos Jaula Ardilla con el nuevo plan de mantenimiento, aumentará 531.04 horas de operación al año.	Con la solución de las fallas críticas el tiempo para que ocurra una determinada falla incremento a 13.93 horas.	Con la solución de las fallas críticas el tiempo para reparar una determinada falla se redujo moderadamente de 1.35 horas a 1.32 horas con una diferencia ganada de 0.03 horas (1.8 minutos).

En la Figura 12, se muestra la comparación de los parámetros Actuales y los de Mejora:

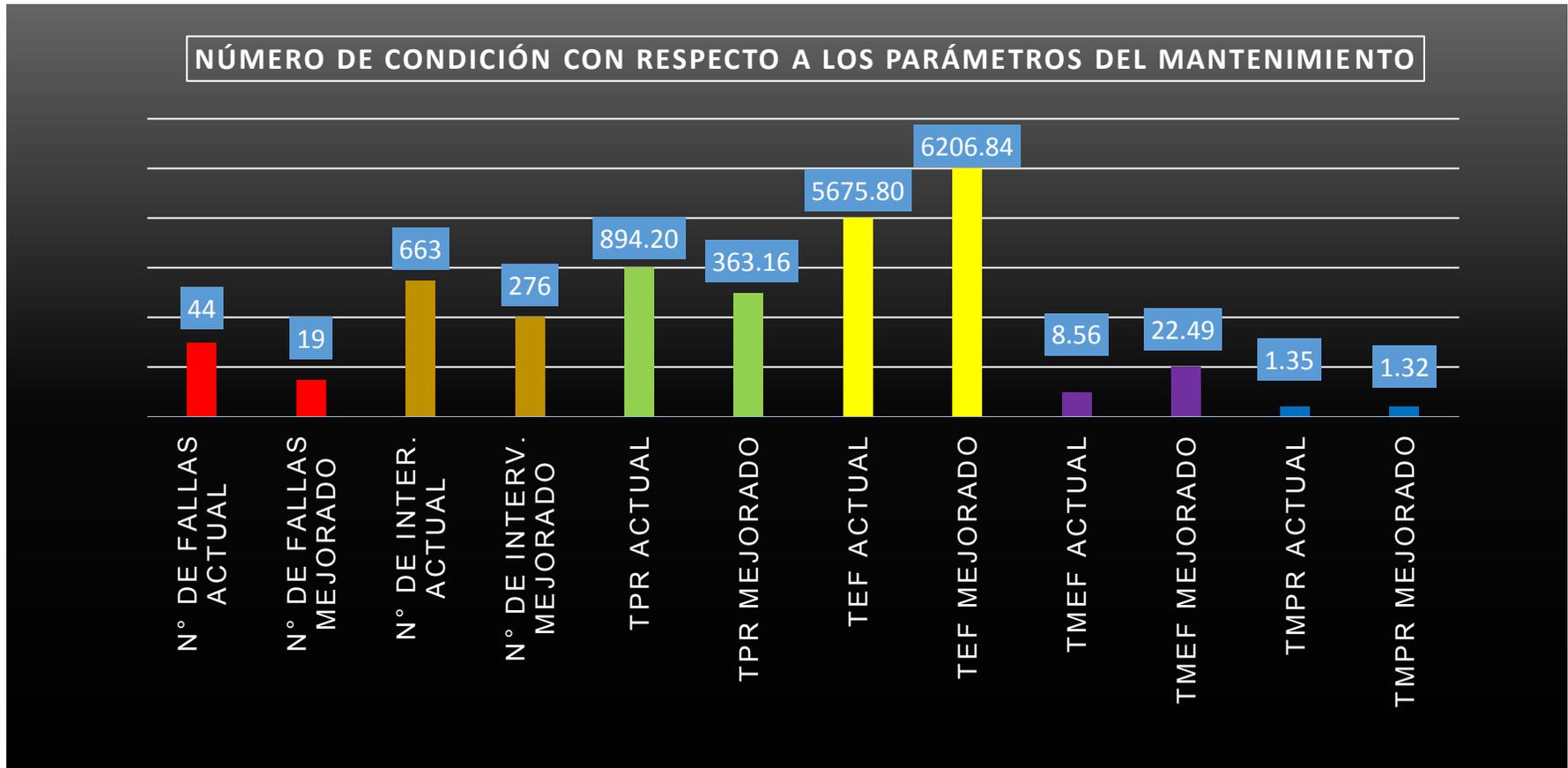


Figura 12: Número de condición con relación a los parámetros de mantenimiento.

**b) Análisis Comparativo de los Indicadores de Gestión de Mantenimiento:**

**Estimación de la disponibilidad:**

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + Tmpr} * 100\%$$

**Datos:**

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TPR = 363.16 \text{ h}$$

$$i = 276$$

$$TMEF = \frac{\sum TEF}{i} = \frac{T_p - TPR}{i} = \frac{6570 - 363.16}{276} = 22.49 \text{ h}$$

$$Tmpr = \frac{\sum TPR}{i} = \frac{363.16}{276} = 1.32 \text{ h}$$

$$D(t) = \frac{22.49}{22.49 + 1.32} * 100\%$$

$$D(t) = 95\%$$

**Estimación de la Confiabilidad:**

$$C(t) = e^{\frac{-\lambda t}{100*32}} * 100\%$$

Datos:

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TMEF = 22.49 \text{ h}$$

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} = \frac{1}{22.49} = 0.04$$

$$C(t) = e^{\frac{-0.04*6570}{100*32}} * 100\%$$

$$C(t) = 92\%$$

**Estimación de la Mantenibilidad:**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-\mu t}{100 \cdot 32 \cdot 12}}\right) * 100\%$$

Datos:

$$T_p = 6570 \text{ h/año}$$

$$TMPR = 1.32 \text{ h}$$

$$\mu = \frac{1}{TMPR} = \frac{1}{1.32} = 0.76$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.76 \cdot 6570}{100 \cdot 32 \cdot 12}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = 12\%$$

En la Figura 13, se compara los Indicadores del Mantenimiento en estado Actual y Mejora:

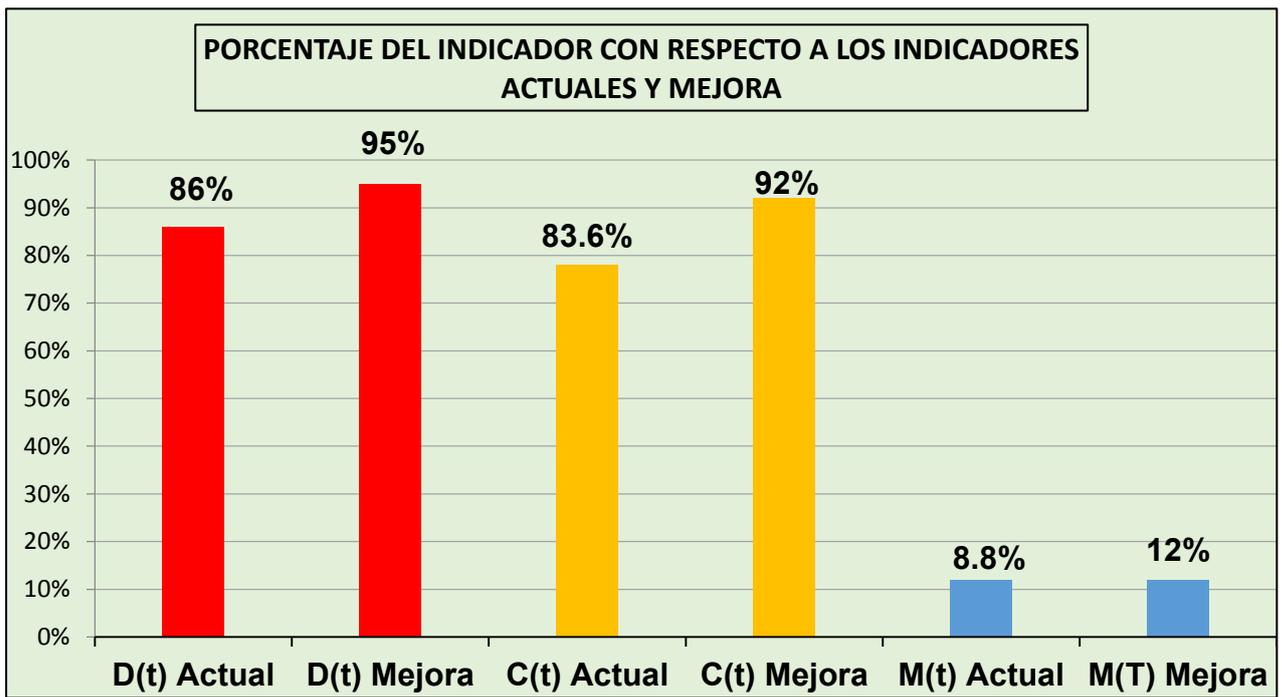


Figura 13: Porcentaje del Indicador con relación a los indicadores actuales y de mejora.

# **I. DISCUSIONES**

- 1.1.** En el estudio de tesis de Martínez (2009), titulado “Propuesta para el incremento de la confiabilidad de los equipos críticos, basado en un análisis causa raíz”. Propuso mejoras para incrementar la confiabilidad de los equipos mediante la metodología causa raíz encontrando una confiabilidad en estado actual de 77.45% logrando aumentarla a un máximo de 86.11%, es decir con una variación positiva de 8.66%, en comparación con el presente estudio se obtuvo una confiabilidad en estado actual para los motores eléctricos jaula ardilla de 78%, logrando aumentarla en 92%, es decir con una variación positiva de 14%.
- 1.2.** En el estudio de tesis de Lugo (2012), titulado “Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico distrito Poza Rica, para incrementar la producción”. Implementó una adecuada planificación de mantenimiento preventivo cuyo costo sea menor comparado con los correspondientes a los mantenimientos correctivos que han venido utilizando hasta la fecha. La aplicación sin duda alguna beneficia a petróleos mexicanos. Este beneficio mejora la eficiencia de los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla en las unidades de bombeo mecánico, concluyendo incrementar la producción de los pozos petroleros un 10%, es decir, la producción era un 80% y se logró incrementar a 90%.
- 1.3.** En el estudio de tesis de Da Costa (2010), titulado “Aplicación del Manteamiento Centrado en la Confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”. Implemento un plan RCM basado en hojas de información y hojas de decisiones a 124 modos de falla, además de clasificar las fallas a través del número de prioridad de riegos obteniendo 26 fallas inaceptables (21%), 43 fallas reducibles deseables (43.7%) y 55 fallas aceptables (44.3%), bajo la misma metodología del RCM se evaluaron los 32 motores eléctricos jaula ardilla con un total de 25 modos de falla, obteniendo 19 fallas inaceptables (76%), 2 fallas reducibles deseables (8%) y 4 fallas aceptables (16%).

- 1.4. En el estudio de tesis de Vásquez (2008), titulado “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”, basado en la metodología del análisis causa raíz propuso mejoras para aumentar la confiabilidad de los equipos, concluyendo que el análisis se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos para mejorar los valores de confiabilidad del 96%.
- 1.5. En el estudio de tesis de Vega (2008), titulado “Análisis de falla en los sistemas de bombeo mecánico del campo cantagallo”. Realizó el estudio a 60 pozos que trabajan con sistema mecánico en el campo cantagallo, mediante el análisis causa raíz mejoro la producción de petróleo un 8%. Se encontró que la bomba es el componente que más falla y la causa principal en los sistemas de bombeo mecánico del campo cantagallo es el arenamiento.
- 1.6. A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis general que establece que existe un aumento de la disponibilidad operacional de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A.
- 1.7. Existe una relación de Vásquez (2008), Vega (2008), Lugo (2012), Martínez (2009) y Da costa (2010), en lo que se refiere al objetivo general, todos buscan mejorar los parámetros de operación mantenimiento, con ello aumentan la productividad de los equipos, por consiguiente, disminuyen los costos de mantenimiento y mejoran los tiempos de operación.
- 1.8. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen los autores: Martínez (2009) y Da Costa (2010), que para aumentar los parámetros de gestión de mantenimiento utilizaron el análisis de criticidad y causa raíz. Por ello es acorde con lo que en este estudio se halló.
- 1.9. En lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es en el estudio de Lugo (2012), el análisis realizado en el estudio es similar pero este se enfoca más en mejorar los costos, con ello genera un beneficio para los petróleos mexicanos.

- 1.10.** En el diagnóstico inicial existe una relación con los autores: Martínez (2009) y Da Costa (2010), ya que inicialmente tomaron en cuenta los parámetros de operación de gestión de mantenimiento para encontrar las fallas, cada uno en sus respectivas tesis.
- 1.11.** Para la evaluación de la situación actual de los indicadores de gestión de mantenimiento el presente estudio concuerda con los autores: Martínez (2009) y Da Costa (2010), ya que inicialmente se calcularon los indicadores en la situación actual, mientras que los estudios de Vega (2008) y Lugo (2012) la evaluación fue diferente, estos se basaron en el historial de sus respectivos estudios.
- 1.12.** En el análisis de criticidad si concuerdan la mayoría, Martínez (2009), Da Costa (2010) y Vásquez (2008), cada uno en sus respectivos estudios logran clasificar sus fallas en críticos, medio críticos y no críticos. En el presente estudio las fallas se hizo con el mismo análisis de criticidad.
- 1.13.** Chávez (2017) determinó el índice de riesgo logrando clasificarlos en aceptables, reducibles a deseables y aceptables, luego desarrollar los AMEF (hojas de información y decisiones), de la misma manera lo hicieron Lugo (2002). Martínez (2009), Vásquez (2008) y Da Costa (2010).
- 1.14.** En lo que respecta la elaboración del programa de actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad para cada falla crítica si concuerdan todos los autores mencionados anteriormente, ya que en el programa de actividades es donde se hacen las propuestas para mejorar el plan de mantenimiento RCM.
- 1.15.** En los estudios de Martínez (2009) y Da Costa (2010), se estimaron los indicadores de mantenimiento para que puedan compararlos con la mejora que se hizo. De la misma manera se hizo en la presente tesis, para ello se hizo un previo cálculo de los indicadores para luego poder comparar las mejoras mediante gráficos de barras.
- 1.16.** Con respecto al estudio de Lugo (2002) y Vega (2008), los procedimientos para analizar las fallas son similares, pero estos utilizan sus resultados para hacer sus cálculos financieros, mientras que en el

presente estudio solo quedo en comparar los indicadores de mantenimiento para luego realizar un programa de actividades, es decir propuestas para mejorar el plan de mantenimiento, ya que la presente tesis no está enfocada a los costos.

- 1.17.** los autores mencionados junto con el presente estudio no describen los costos ya que para las investigaciones previas que se hicieron no contaron con un historial de costos, solo se vio de manera general el costo de mantenimiento. Si en caso se quisiera hacer un análisis profundo de costos se debería llevar un estricto control en el historial de costos.
- 1.18.** Los estudios realizados en esta tesis y de los autores mencionados anteriormente, concuerda que este método no cumplen al 100 % con referente a los indicadores de gestión de mantenimiento, ya que en todo sistema no se cumple del todo, este método se utiliza para mejorar la productividad dentro de un sistema, dentro de las cuales se encuentran las máquinas eléctricas y motores de combustión interna. El método utilizado también se utiliza para mejorar los costos, ya que las empresas siempre buscan beneficio en lo que se refiere a costos.

## **II. CONCLUSIONES**

- 1.19.** Para la evaluación de las condiciones actuales del mantenimiento se basó en el estudio del historial de mantenimiento de los motores eléctricos jaula ardilla del año 2016 con tiempos para reparar de 3.91 horas hasta 43.18 horas por cada falla; con tiempos útiles o entre fallas de 6526.82 horas a 6566.09 horas, para lo cual se obtuvo un número de intervenciones en el rango de 5 a 29, estableciendo que el tiempo promedio para reparar varía entre 0.78 a 1.84 horas de reparación por falla, el tiempo promedio entre falla entre 225.06 hasta 1313.22 horas útiles/falla; originando una tasa de fallas mínima de 0.00076 y un máximo de 0.00429 fallas/por horas útiles y una tasa de relaciones con un mínimos de 0.542 y máximo 1.279 fallas/horas de reparación. Concluyendo con una disponibilidad mecánica general de los motores eléctricos jaula ardilla de 86%, confiabilidad 83.6% y mantenibilidad 8.8%.
- 1.20.** Se realizó un análisis de criticidad a los motores eléctricos jaula ardilla y grupos electrógenos agrupando las 44 fallas en sus elementos principales como: rotor, estator, cojinete, ventilador y eje del motor, para su evaluación según 5 criterios tales como: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto de seguridad y medio ambiente, obteniendo como elementos críticos: rotor, estator, ventilador y eje de motor los cuales representan un total de 25 fallas críticas. Además 13 fallas media críticas y 6 no críticas.
- 1.21.** Se realizó una evaluación a cada uno de las fallas críticas de los elementos críticos, a través del desarrollo de las hojas de información fundamentadas en las tres primeras preguntas del AMEF, tales como función que desempeña, modo de fallo funcional y causas potenciales de la falla.
- 1.22.** Se evaluaron las 25 fallas críticas a través del número de prioridad de riesgos, encontrando 19 fallas inaceptables, 2 fallas reducibles

deseables y 4 fallas aceptables, para a través de diagramas de Ishikawa determinar la causa raíz de los elementos críticos.

**1.23.** Para la elaboración del plan de mantenimiento basado en el análisis causa raíz se fundamentó en el desarrollo de hojas de decisiones resolviendo las 4 últimas preguntas del AMEF y del árbol lógico de decisiones, proponiendo tareas de mantenimiento e intervalos de ejecución.

**1.24.** Se realizó los cálculos para estimar los parámetros de mantenimiento e indicadores de mantenimiento obteniendo un incremento de la disponibilidad de 9%, incremento en la confiabilidad de 14% y con una mantenibilidad constante del 12%. Lo cual origina una reducción de 25 fallas, 387 intervenciones, 531.04 horas de reparación y logrando un aumento en el tiempo promedio entre fallas de 13.93 horas útiles. El cálculo de la estimación de los parámetros de mantenimiento están en las páginas 71 y 72.

En la siguiente figura se muestran los porcentajes de los indicadores de mantenimiento en estado actual y mejora:

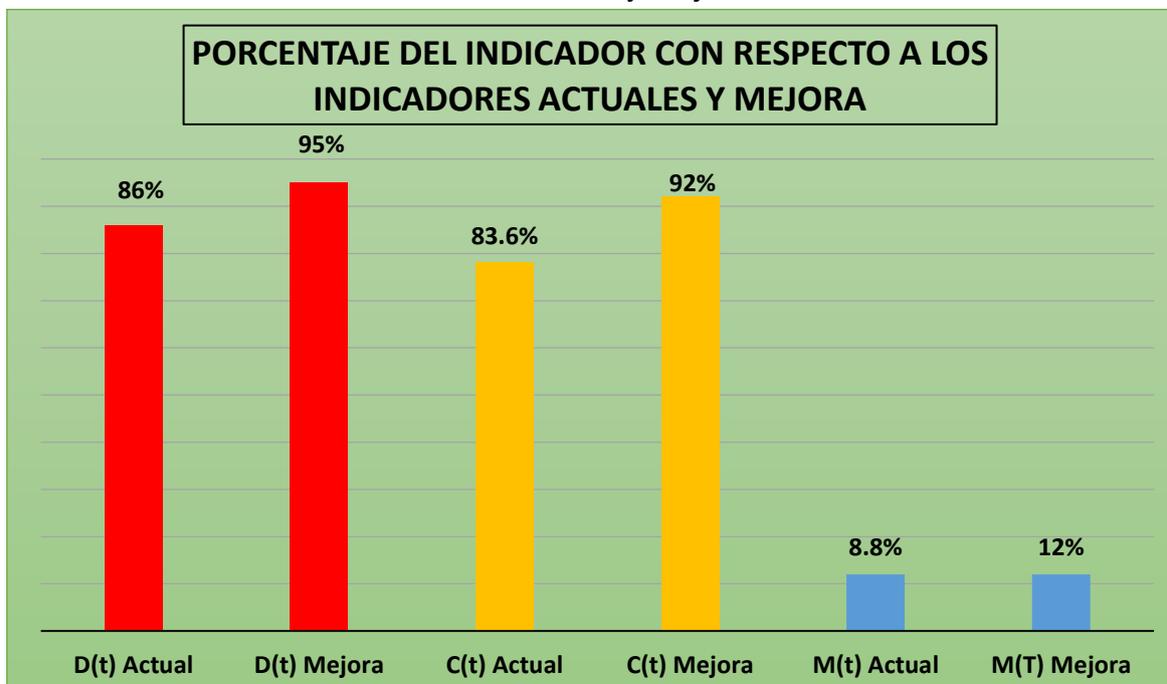


Figura 14: Porcentaje del Indicador con relación a los indicadores actuales y de mejora, periodo 2016

# **III. RECOMENDACIONES**

- 1.25.** Se recomienda a los supervisores de mantenimiento realizar todas las actividades que contiene el plan de mantenimiento a todos los elementos críticos de los motores eléctricos jaula ardilla cumpliendo estrictamente lo estipulado en las hojas de decisiones del AMEF.
- 1.26.** Se recomienda preparar al personal técnico de mantenimiento para que se encargue de realizar un estricto control y jerarquía de los historiales de fallas, lo cual facilita a encontrar el problema de la falla que presenta cada elemento del motor eléctricos jaula ardilla y así poder aplicar los mantenimientos y realizar las reparaciones adecuadas.
- 1.27.** Se recomienda a los técnicos hacer inspecciones diarias a los elementos más críticos que forman parte de los motores eléctricos, de manera que se pueda tener control de las tareas que se efectúan durante el mantenimiento.
- 1.28.** Es recomendable supervisar los procedimientos de mantenimiento, así como analizar las características de inspección de los motores eléctricos jaula ardilla, para evitar las fallas que provoquen un estado de desgaste de la vida útil de dichos motores, aplicar un procedimiento de control de mejora de procesos de mantenimiento basado en un control estadístico.
- 1.29.** Para estudios posteriores se recomienda implementar los nuevos planes de mantenimiento preventivo, y predictivo que estén basados en la metodología del análisis causa raíz obtenidos en el presente plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

# **IV. REFERENCIAS**

- Améndola, L. (2002). *Modelos mixtos de confiabilidad* (Tercera ed.). Valencia - España, España. Recuperado el 27 de Octubre de 2015
- Améndola, L. (2011). Retorno de la inversión en la gestipon de activos. Recuperado el 07 de Noviembre de 2015, de <[http://www.pmmlearning.com/images/stories/JORGE/retorno\\_inversion\\_gestion\\_activos.pdf](http://www.pmmlearning.com/images/stories/JORGE/retorno_inversion_gestion_activos.pdf)>
- Arias, F. (1996). *El proyecto investigativo* (Quinta ed.). Venezuela: Episteme. Recuperado el 28 de Octubre de 2015
- Burga, M. (2010). TESIS "APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN". Lima.
- Garrido, S. (2009). *Plan de mantenimiento basado en RCM*. (Empresa de ingeniería y de formación técnica RENOVETEC) Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de <<http://www.ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>>
- Gonzáles, D. (2012). *Parámetros del mantenimiento*. (Blog Presentación unidad II) Recuperado el 25 de Octubre de 2015, de <<https://denygonzalez.files.wordpress.com/2014/01/guia-parametros-del-mantenimiento3.pdf>>
- Gonzáles, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. España: Publicaciones FC. Recuperado el 26 de Octubre de 2015
- Guerrero, O., & Gómez, L. (2010). *Las principales fallas de motores eléctricos en Costa Rica*. Investigación, Tecnología en Marcha, Costa Rica.
- Jimeno, J. (2013). *Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar)*. (pdcahome) Recuperado el 7 de Octubre de 2015, de El círculo de Deming de mejora continua: <<http://www,pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/>>
- Machuca, A., & Eduardo, C. (2007). *Máquinas Eléctricas* (Tercera ed.). Ecuador: ESPOCH. Recuperado el 30 de Octubre de 2015
- Mecatech Machinery. (2013). *Mantenimiento mecánico en una fábrica de papel*. (A. Mecánica, Productor) Recuperado el 17 de Octubre de 2015, de <<https://areamecanica.wordpress.com/2013/02/21/area-mecanica-mantenimiento-basado-en-la-condicion/>>
- Orrego, J. (2008). *Análisis de criticidad*. (Director Mantenimiento en Latinoamérica, consultoría de estrategia y operaciones) Recuperado el 29 de Octubre de 2015, de <<http://es.slideshare.net/mantonline/anlisis-de-criticidad-presentation>>
- Ortega, E. (2008). *Montaje y mantenimiento mecánico* (Segunda ed.). Distribuidora Librosfp. Recuperado el 15 de Octubre de 2015

- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos* (Primera ed.). Digital Atres S.L.L. Recuperado el 25 de Octubre de 2015
- PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.). (2002). *El análisis de criticidad una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Venezuela. Recuperado el 27 de Octubre de 2015
- Reyes, L., & Ocampo, J. (1996). *Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas Resueltos*. Lima - Perú: Salvador Editores. Recuperado el 23 de Octubre de 2015
- Rodríguez, J. (2008). *Gestión del Mantenimiento*. Recuperado el 5 de Octubre de 2015, de <<http://www.peliculasrey.com/ver-un-gran-dinosaurio-2015-online/>>
- Sigüenza, G. (1967). *Industria Tijuana*. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de <<http://www.industrialtijuana.com/pdf/B-4.pdf>>

# **ANEXOS**







**A.2. Cuestionario de recopilación de datos técnicos de los Motores Eléctricos Jaula Ardilla.**

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**“Mejoramiento del plan RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional.”**

**Cuestionario dirigido**, a la supervisión de mantenimiento, técnicos mecánicos y técnicos eléctricos. Para la recopilación de datos técnicos de la empresa relativos al mantenimiento y reparación de los motores eléctricos.

**Instrucciones**, sírvase a responder cada una de las preguntas marcando con una “X” la respuesta correspondiente y llenando los espacios en blanco.

**I. Información general.**

Nombre de la empresa: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Actividad principal de la empresa: \_\_\_\_\_

**II. Información de población de los motores eléctricos jaula ardilla.**

1. ¿Cuál es la población total de motores eléctricos de la empresa?: \_\_\_\_\_
2. ¿Qué tipo de máquina acciona el motor eléctrico?: \_\_\_\_\_
3. ¿Cuál es la potencia nominal del motor eléctrico?: \_\_\_\_\_

**III. Información sobre el mantenimiento y reparación de los motores.**

1. ¿Existe en su empresa taller de mantenimiento de motores?  
 Sí                       No
2. ¿Cuáles son las fallas de los motores eléctricos jaula ardilla en el año 2015?

Abreviatura de las Fallas		Fallas	Intervenciones
F1	Aceite incorrecto, o nivel de aceite muy alto o muy bajo.		
F2	Baja / Sobre tensión.		
F3	Bobina cortocircuitada.		
F4	Bobina de retención del contactor magnético defectuosa.		
F5	Bobinas abiertas en el estator.		
F6	Chumaceras del eje desgastado o eje curvado.		
F7	Circuito abierto en el tablero de control.		
F8	Circuito abierto en las líneas del motor.		
F9	Circuito de control abierto.		
F10	Conexiones equivocadas.		
F11	Conexiones incorrectas en el motor.		

F12	Conexiones sueltas o mal apretadas en el circuito de control.		
F13	Cortocircuito con las chapas, dentro de la ranura.		
F14	Cortocircuito con las chapas en la salida de la ranura.		
F15	Cortocircuito en las "colillas" de conexión.		
F16	Cortocircuito entre dos fases.		
F17	Cortocircuito entre espiras.		
F18	Desalineamiento.		
F19	Desalineamiento del eje del motor.		
F20	Desbalanceo de tensión.		
F21	El contactor magnético no hace buen contacto.		
F22	Empuje axial excesivo.		
F23	Frecuencia natural del sistema (resonancia).		
F24	Fuente de alimentación defectuosa.		
F25	Fusibles primarios defectuosos o quemados.		
F26	Fusibles secundarios defectuosos o quemados.		
F27	La entrada del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.		
F28	La salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.		
F29	Motor sobrecargado.		
F30	No cierra el contactor magnético.		
F31	Protectores de sobrecarga abiertos.		
F32	Rodamiento sobreengrasado.		
F33	Rodamiento de empuje desgastado.		
F34	Rotor trabado.		
F35	Ruido eléctrico.		
F36	Se aplicó sellador insuficiente a las roscas del tapón de drenaje.		
F37	Sobrecarga - hidráulica.		
F38	Sobrecarga - mecánica.		
F39	Sobrecarga.		
F40	Tensión baja o incorrecta.		
F41	Tensión descompensada.		
F42	Terminales mal conectadas.		
F43	Tierra.		
F44	Vibración ambiental.		

2. ¿Cuál es el actual plan de mantenimiento aplicado al Motor Eléctrico y grupo electrógeno

a) Correctivo       b) Preventivo       c) Predictivo

3. ¿Cuál es el tipo de lubricación y lubricante utilizado en el Motor Eléctrico?

---

4. ¿Existe actualmente un stock de repuestos para el Motor Eléctrico?

Sí       No

5. ¿Cuáles son los equipos utilizados para el mantenimiento de los Motores Eléctricos?

- Medidor de aislamiento eléctrico \_\_\_\_\_
- Analizador de vibraciones \_\_\_\_\_
- Analizador de armónicas \_\_\_\_\_
- Equipo para alineamiento \_\_\_\_\_
- Analizador de flujo de potencia \_\_\_\_\_
- Cámara de termografía \_\_\_\_\_
- Multímetro (Tester) \_\_\_\_\_
- Termómetro digital \_\_\_\_\_
- Otro, indique: \_\_\_\_\_

6. ¿Cuenta su empresa con taller de rebobinado de motores?

- Sí  No

7. ¿Cuenta su empresa con los siguientes equipos e instrumentos para la reparación de motores?

- Equipo de prueba de núcleos. \_\_\_\_\_
- Equipo de comprobación de rotores. \_\_\_\_\_
- Manuales de conexiones. \_\_\_\_\_
- Manuales de fabricantes. \_\_\_\_\_

8. ¿Las reparaciones cumplen con procedimientos recomendados por EASA, IEEE, IEC?

Sí No

9. ¿Qué tipo de información de reparaciones de motores eléctricos mantiene registrada su empresa o departamento?

- Detallada  General  Poca  Ninguna

10. ¿El mantenimiento es contratado a una empresa especializada en reparación y mantenimiento de motores?

- Sí  No

11. Si su respuesta es Sí, anote las razones por las que reparan motores en un taller externo, puede marcar más de una opción.

- No cuentan con equipo, instalaciones o infraestructura especializados. \_\_\_\_\_
- No cuentan con la cantidad o el personal idóneo. \_\_\_\_\_
- No es política de la empresa. \_\_\_\_\_
- Otra: \_\_\_\_\_

12. ¿Considera usted que el personal es responsable del mantenimiento de los motores, posee los conocimientos y práctica necesarios para realizar las tareas que le corresponden, particularmente en el tema de motores eléctricos?

- Sí  No

13. Mencione los repuestos más utilizados del Motor Eléctrico:

---

14. ¿Cuál es el costo unitario promedio por hora perdido del motor Eléctrico en plena producción?

---









**Pregunta 03.** ¿Cuál es el actual plan de mantenimiento aplicado al Motor Eléctrico?

Tipo de Mantenimiento	Cantidad de Encuestados																															
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
Correctivo	x		x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	
Preventivo		x					x			x							x			x			x						x			
Predictivo																																
<b>RESULTADO FINAL: El 78% aplica mantenimiento correctivo, 22% aplica mantenimiento preventivo y un 0% Predictivo.</b>																																

**Pregunta 04.** ¿Cuál es el tipo de lubricación y lubricante utilizado en el Motor Eléctrico?

Tipo de Lubricante	Cantidad de Encuestados																															
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
Shell	x	x		x		x		x		x	x	x	x		x	x		x	x		x		x			x			x			x
Castrol			x		x				x					x						x		x		x	x			x	x			x
Mobil							x										x													x		
Chevron																																
<b>RESULTADO FINAL: El lubricante es única y el Lubricación Líquida y los que se utiliza son: Shell, Castrol y Mobil.</b>																																

**Pregunta 05.** ¿Existe actualmente un stock de repuestos para el Motor Eléctrico?

	Cantidad de Encuestados																															
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
SI	x		x		x		x		x				x		x		x		x	x		x	x			x	x			x		x
NO		x		x		x		x			x	x		x		x		x			x			x	x			x	x			x
<b>RESULTADO FINAL: El 51% de encuestados dice que SI y el 49% NO.</b>																																

**Pregunta 06.** ¿Cuáles son los equipos utilizados para el mantenimiento de los Motores Eléctricos?

Equipos	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
Medidor de aislamiento eléctrico																																	
Analizador de vibraciones																																	
Analizador de armónicas																																	
Equipo para alineamiento																																	
Analizador de flujo de potencia																																	
Cámara de termografía		x		x		x		x		x			x			x		x		x				x			x			x			
Multímetro (Tester)	x				x						x	x			x				x						x	x		x					x
Termómetro digital			x				x		x					x			x				x	x	x						x		x		
Otro, indique:																																	
<b>RESULTADO FINAL: Los equipos utilizados varían entre Cámara de termografía, Multímetros y Termómetro.</b>																																	

**Pregunta 07.** ¿Cuenta su empresa con taller de rebobinado de motores?

	Cantidad de Encuestados																																	
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32		
<b>SI</b>																																		
<b>NO</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<b>RESULTADO FINAL: En la empresa No existe un taller de Rebobinado.</b>																																		

**Pregunta 08.** ¿Cuenta su empresa con los siguientes equipos e instrumentos para la reparación de motores?

Equipos e Instrumentos	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
Equipo de prueba de núcleos																																	
Equipo de comprobación de rotores																																	
Manuales de conexiones	x	x		x		x	x	x			x		x	x	x	x		x		x	x	x	x		x	x	x			x		x	
Manuales de fabricantes			x		x				x	x		x					x		x					x					x	x		x	
<b>RESULTADO FINAL: Los equipos e instrumentos utilizados varían entre Manuales de conexiones y de fabricante.</b>																																	

**Pregunta 09.** ¿Las reparaciones cumplen con procedimientos recomendados por EASA, IEEE, IEC?

	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
<b>SI</b>				x						x					x																	x	
<b>NO</b>	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
<b>RESULTADO FINAL: El 90% No cumple con las recomendaciones de las normas, pero el 10% Si cumple.</b>																																	

**Pregunta 10.** ¿Qué tipo de información de reparaciones de motores eléctricos mantiene registrada su empresa o departamento?

Tipo de Información	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
Detallada																																	
General		x								x				x												x							
Poca	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
Ninguna																																	
<b>RESULTADO FINAL: El 90% no utiliza información, pero un 10% si en forma general.</b>																																	

**Pregunta 11.** ¿El mantenimiento es contratado a una empresa especializada en reparación y mantenimiento de motores?

	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
<b>SI</b>																																	
<b>NO</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<b>RESULTADO FINAL: En mantenimiento No es contratado a otra empresa especializada en reparación.</b>																																	

**Pregunta 12.** Si su respuesta es Sí, anote las razones por las que reparan motores en un taller externo, puede marcar más de una opción. **(NO APLICA)**

**Pregunta 13.** ¿Considera usted que el personal es responsable del mantenimiento de los motores, posee los conocimientos y práctica necesarios para realizar las tareas que le corresponden, particularmente en el tema de motores eléctricos?

	Cantidad de Encuestados																															
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
<b>SI</b>		x	x		x	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x		x	x		x
<b>NO</b>	x			x				x			x			x							x				x						x	
<b>RESULTADO FINAL: Un 70% tiene conocimientos y prácticas en mantenimiento de motores y el 30% desconoce.</b>																																

**Pregunta 14.** Mencione los repuestos más utilizados del Motor Eléctrico:

Repuestos	Cantidad de Encuestados																															
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32
Cojinete							x		x				x		x			x			x		x		x	x				x	x	x
Estator	x				x						x										x									x		
Rotor		x						x								x						x						x				
Ventilador				x						x				x						x									x			
Eje de Motor			x			x						x					x								x							
<b>RESULTADO FINAL: Los repuestos utilizados varían entre: Cojinetes, Estator, Rotor, Ventilador y Eje de Motor.</b>																																

**Pregunta 15.** ¿Cuál es el costo unitario promedio por hora perdido del motor Eléctrico en plena producción?

Costo (S/)	Cantidad de Encuestados																																
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	
1350																																	
1300																																	
1340																																	
1325																																	
1200																																	
1400																																	
1450																																	
1225																																	
1250																																	
1300																																	
1350																																	
1440																																	
1240																																	
1360																																	
1250																																	
1350																																	
1300																																	
1200																																	
1100																																	
1360																																	
1250																																	
1420																																	
1220																																	
1320																																	
1450																																	
1320																																	
1350																																	
1420																																	
1320																																	
1450																																	
1200																																	
1440																																	
<b>RESULTADO FINAL: El costo unitario promedio da como resultado 1320 Soles/hora.</b>																																	

#### A.4. Ficha llenada de registro de los Motores Eléctricos Trifásicos Jaula Ardilla.

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“Mejoramiento del plan RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional”**

**Ficha de registro**, para la recolección de fallas mecánicas/eléctricas e intervenciones en grupos electrógenos y motores eléctricos de la empresa Graña y Montero S.A.A, los cuales operan 6570 h/año.

*Tabla 02: Ficha de registro llenada de los motores eléctricos jaula ardilla, con un tiempo de operación de 6570 h/año*

N° DE FALLAS	FALLAS	CANTIDAD DE INTERVENCIONES	FECHAS DE INTERVENCIONES																											TPR	
			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°
F1	Aceite incorrecto, o nivel de aceite muy alto o muy bajo.	9	13.10pm/14.55pm	9.00pm/11.15pm	15.20pm/16.10pm	14.00pm/15.30pm	8.45pm/10.35am	14.20pm/16.00pm	11.00am/13.10pm	17.15pm/18.35pm	9.45am/11.10am																				16.60
			1.75	2.25	0.80	1.50	1.80	1.60	2.20	3.30	1.40																				































**A.5. Datos operacionales del mantenimiento de los Motores Eléctricos Trifásicos Jaula Ardilla y grupos electrógenos.**

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“Mejoramiento del plan RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional”**

**Ficha de registro**, para la recolección de los parámetros de mantenimiento de los grupos electrógenos y motores eléctricos trifásicos de la empresa Graña y Montero S.A.A.

*Tabla 03: Ficha de registro llenada de los motores eléctricos jaula ardilla y grupos electrógenos.*

<b>Total de horas programadas</b>	<b>6570 horas</b>
Número de equipos en evaluación	120 equipos
Tto: horas trabajadas o de marcha durante el periodo de evaluac	5400.54 horas
Tiempo medio entre fallas - MTBF	8.15 horas
TTR: Tiempo total para reparar	1169.6 horas
Tiempo medio de reparaciones MTTR	1.8 horas
Confiabilidad	82.20%
Disponibilidad	84.70%
Mantenibilidad	8%
Intervenciones	663
Pérdida de producción	590353.92 barriles/año
Costo de mantenimiento	S/. 27,432