

# Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,  
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



## IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE COMPRESORES ESTACIONARIOS A TORNILLO EN TOQUEPALA

**Tesis presentada por el Bachiller:**

Luna Turpo, Joel Paúl

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecatrónico

**Asesor:**

Ing. Cáceres Nuñez, Augusto

Arequipa – Perú

2019



*Universidad Católica de Santa María*

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ [ucsm@ucsm.edu.pe](mailto:ucsm@ucsm.edu.pe) 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**INFORME DICTAMINATORIO**

**VISTO**

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO  
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE  
COMPRESORES ESTACIONARIOS A TORNILLO  
EN TOQUEPALA”**

Presentado por el Bachiller:

LUNA TURPO JOEL PAUL

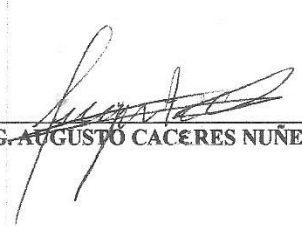
Nuestro **DICTAMEN** es:

*Procede*

OBSERVACIONES:

*Podrán realizarse observaciones de ser  
caso durante la sustentación.*

Arequipa, *24* de Setiembre de 2019

  
ING. AUGUSTO CACERES NUÑEZ

  
ING. MARCELO QUISPE CCACHUCO

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios por pues en el encontré la fortaleza para perseverar y cumplir mis metas, también se la dedico a mis padres Agustín y Victoria porque gracias a su apoyo incondicional, motivación y amor que me dieron, a pesar de la distancia siempre estuvieron junto a mí en toda la etapa de formación profesional. Finalmente dedico esta tesis a Diana y Liam quienes son el motor de mi vida.

***Joel Luna***

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios porque con su misericordia me dio el baluarte de perseverar para cumplir mis metas.

A mis hermanas Katy y Mirella que aun estando lejos de mí siempre motivaron el seguir adelante, además de mi sobrina Amaya. A mi madre que siempre me apoyó para que pueda ser un buen profesional. A Dianita que estuvo a mi lado apoyándome en todo momento de manera incondicional para que esta tesis se realice pese a muchos inconvenientes.

A mis docentes del Programa Profesional, por sus consejos y enseñanzas que gracias a ellos hoy puedo desenvolverme profesionalmente en el campo laboral.

***Joel Luna***

## RESUMEN

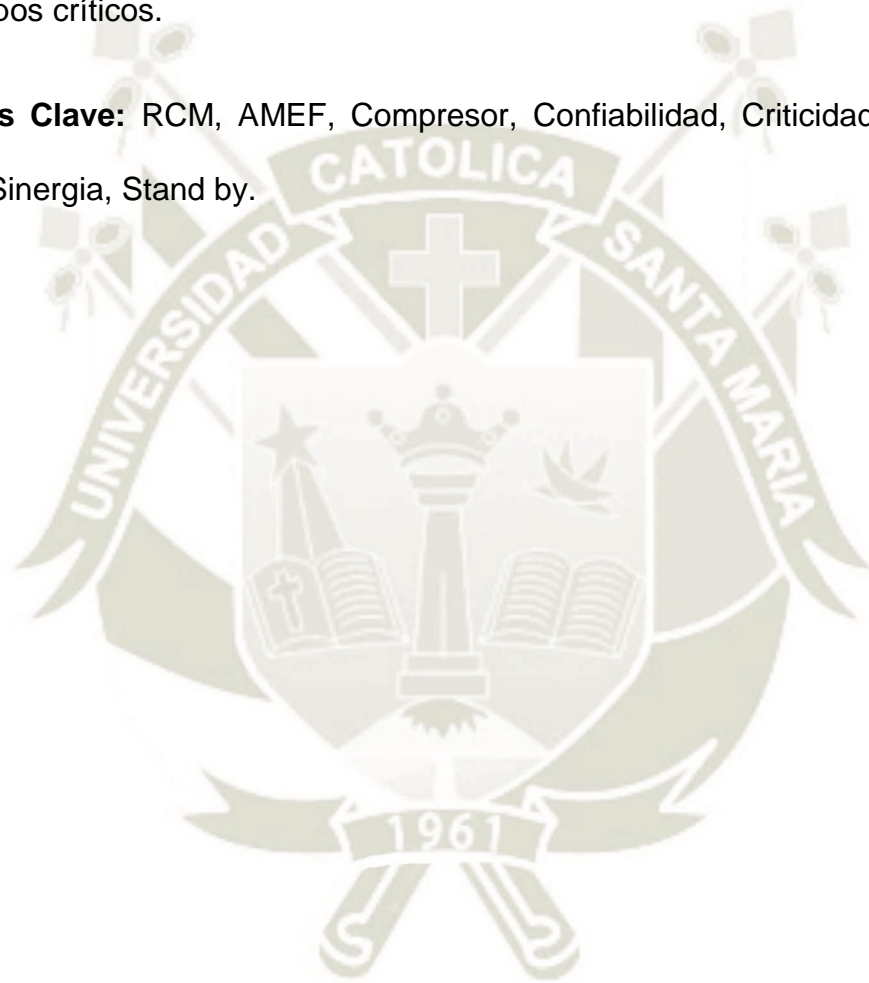
El presente proyecto de tesis consiste en la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de compresores a tornillo en Toquepala. Para llevar a cabo la implementación se realizó análisis de criticidad basada en el riesgo del grupo de compresores estacionarios que se tiene asignada en el área de concentradora, se determinó que los compresores de Chancadora Depósitos Lixiviables y alta presión de Filtros Larox son los más críticos pese a tener una disponibilidad aceptable pero por su función no debería parar de manera inesperada porque se detendrían los procesos ya que no cuentan con equipos en Stand by.

Se pudo apreciar que sistemas son críticos y que necesitan ser atacados de manera primordial considerando que el 32.1% de fallas eran por temas eléctricos para los cuales antes de la implementación no se tenía ninguna tarea proactiva. Así mismo se pudo identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos de falla (AMEF) conociendo así a profundidad el funcionamiento de los compresores a tornillo.

Se logró la implementación de planes de mantenimiento basados en el RCM mediante la evaluación de prioridad de fallas, tareas críticas, frecuencias de mantenimiento por medio de herramientas de confiabilidad de parada inesperada mínima de los equipos críticos estimando que la disponibilidad de los equipos GR200 y GA160 suban a 99.70% y 99.65% respectivamente, pero lo más importantes que no se tienen paradas inesperadas entre intervenciones preventivas, cabe indicar que con dichos planes se puede realizar una sinergia para la implementación del RCM en otros compresores de la flota.

Finalmente se determinó también los repuestos críticos que deben ser catalogados o permanecer en stock para maximizar la confiabilidad y minimizar los tiempos de parada inesperada por reparación considerando la comparación de costos de repuestos que también podrían ser utilizados en 5 equipos similares de toda la flota, adicional a eso evaluando las consecuencias de paradas inesperadas que traerían los equipos críticos.

**Palabras Clave:** RCM, AMEF, Compresor, Confiabilidad, Criticidad basada en el riesgo, Sinergia, Stand by.



## ABSTRACT

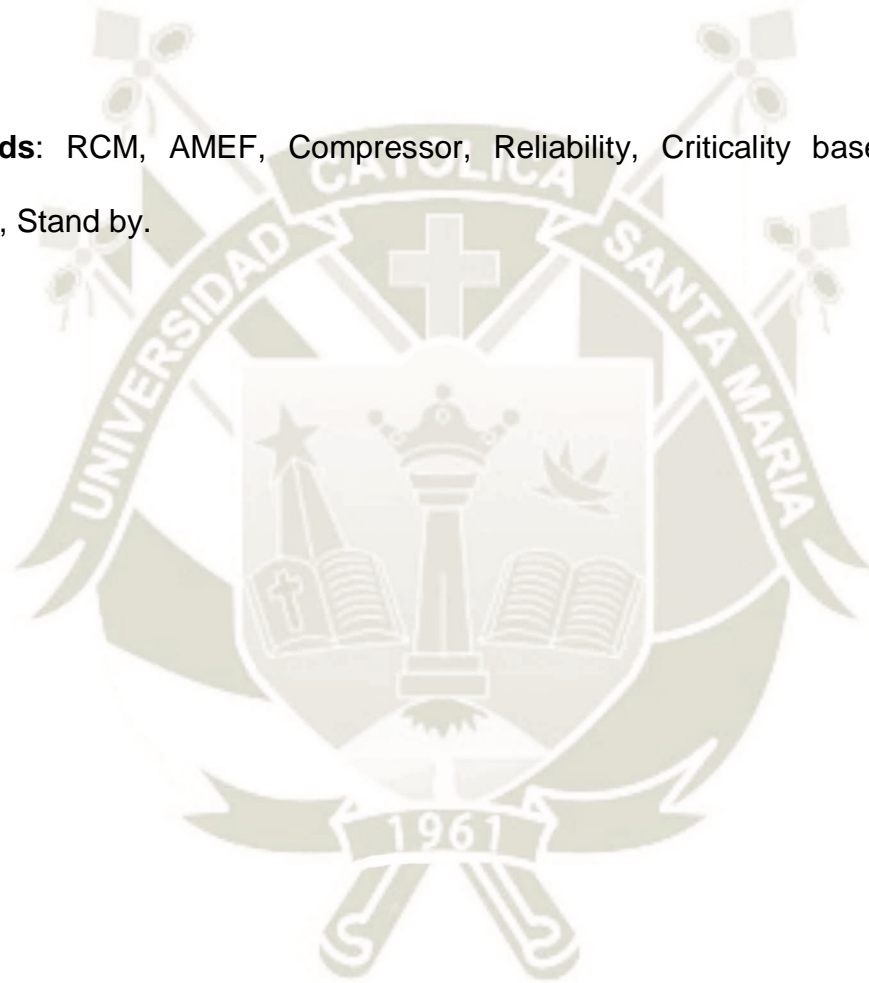
This thesis project consists in the implementation of maintenance focused on the reliability of screw compressors in Toquepala. To carry out the implementation, a critical analysis was carried out based on the risk of the group of stationary compressors assigned in the concentrator area, it was determined that the compressors of Crusher Lixiviable Deposits and high pressure of Larox Filters are the most critical despite have an acceptable availability but due to its function it should not stop unexpectedly because processes that do not have stand-by equipment are detected.

It could be seen that systems are critical and that they need to be attacked primarily considering that 32.1% of failures were due to electrical issues for which there was no proactive task before implementation. Likewise, it was possible to identify functions, functional failures, failure modes and their fault effects (AMEF), thus knowing in depth the operation of screw compressors.

The implementation of maintenance plans based on the RCM was achieved through the evaluation of the priority of faults, critical tasks, maintenance frequencies through tools of minimum unexpected stop reliability of the critical equipment estimating that the availability of the GR200 and GA160 equipment go up to 99.70% and 99.65% respectively, but most importantly, there are no unexpected stops between preventive interventions, it should be noted that with these plans a synergy can be made for the implementation of the RCM in other fleet compressors.

Finally, it was also determined the critical spare parts that must be cataloged or remain in stock to maximize reliability and minimize unexpected downtime due to repair considering the comparison of spare costs that could also be used in 5 similar equipment of the entire fleet, additional to that evaluating the consequences of unexpected stops that the critical equipment would bring.

**Keywords:** RCM, AMEF, Compressor, Reliability, Criticality based on hazard, Synergy, Stand by.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. Marco Metodológico .....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Identificación del problema .....	4
1.4.1. Descripción del problema.....	4
1.5. Antecedentes .....	6
1.5.1. Antecedentes Locales.....	6
1.5.2. Antecedentes Nacionales .....	7
1.5.3. Antecedentes Internacionales.....	7
1.6. Alcances y limitaciones.....	9
1.6.1. Alcances .....	9
1.6.2. Limitaciones.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2. Marco Teórico.....	10

2.1. Contexto Operacional .....	10
2.1.1. Proyecto Minero Toquepala .....	10
2.1.2. Distribución de compresores en Toquepala .....	11
2.1.3. Crubher S.R.L. ....	13
2.2. Filosofías de Mantenimiento y su evolución.....	13
2.2.1. El cambiante mundo del mantenimiento .....	13
2.2.2. Las Cinco generaciones del mantenimiento.....	14
2.3. El mantenimiento centrado en la confiabilidad .....	18
2.3.1. El RCM .....	18
2.3.2. El RCM II .....	20
2.3.3. Proceso de desarrollo del RCM o MCC .....	22
2.3.3.1. El contexto operacional .....	23
2.3.3.2. Funciones .....	24
2.3.3.3. Fallas Funcionales.....	24
2.3.3.4. Modos de Falla .....	25
2.3.3.5. Efectos de Falla.....	25
2.3.3.6. Categorías de Consecuencias de Falla .....	26
2.3.3.7. Niveles de análisis y la Hoja de Información del RCM .....	27
2.3.4. Proceso de decisión del RCM.....	29
2.4. Importancia de los planes de mantenimiento.....	32
2.5. Ciclo del Mantenimiento .....	32
2.6. Indicadores de Mantenimiento (Kpi's) y el Benchmarking .....	33
2.6.1. Mtb, Mttf, Mttr, y Mtbs .....	34
2.6.2. Disponibilidad .....	35
2.6.2.1. Disponibilidad Física:.....	35
2.6.2.2. Disponibilidad Mecánica: .....	36
2.6.3. Confiabilidad .....	37
2.6.4. Mantenibilidad.....	41
2.7. Análisis de criticidad basado en el riesgo .....	42
2.8. Criterios para priorizar los modos de fallas .....	46
2.8.1. Número Prioridad de Riesgo .....	46
2.8.1.1. Gravedad.....	46
2.8.1.2. Frecuencia.....	47

2.8.1.3. Detectabilidad.....	48
2.8.2. Diagrama de Pareto.....	50
2.9. Compresores de aire.....	51
2.9.1. Clasificación de compresores.....	52
2.9.1.1. Compresores de desplazamiento positivo.....	52
2.9.1.2. Compresores dinámicos.....	53
2.9.2. Compresores a tornillo.....	54
2.9.2.1. Compresores a tornillo lubricado Atlas Copco.....	57
2.10. Compresores y el aire comprimido en la minería.....	63
CAPÍTULO III.....	66
3. Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	66
3.1. Procedimiento.....	66
3.2. Equipo de Trabajo RCM.....	69
3.2.1. El facilitador.....	70
3.3. Lista de equipos a analizar.....	70
3.4. Análisis de criticidad.....	72
3.5. Activos críticos para aplicación RCM.....	73
3.5.1. Contexto operacional y fichas Técnicas de los activos críticos.....	74
3.5.1.1. Compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 200):.....	74
3.5.1.2. Compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200):.....	76
3.6. Implementación de RCM para Compresor CPT DLIX.....	78
3.6.1. Análisis AMEF – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160).....	78
3.6.2. AMEF para compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 160).....	81
3.6.3. Análisis de prioridad (NPR) para modos de falla – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160).....	85
3.6.4. Cálculo para definir periodo mínimo de intervención al compresor CPT DLIX.....	88
3.6.5. Hoja de decisión RCM – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160).....	91
3.6.6. Implementación del plan de mantenimiento basado en el RCM – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160).....	95
3.6.7. Lista de partes críticas del compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)	

3.7. Implementación de RCM para Compresor CPT 15.....	98
3.7.1. Determinar funciones compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200).....	98
3.7.2. AMEF a compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200).....	102
3.7.3. Análisis de prioridad (NPR) para modos de falla – CPT 15 (GR 200)	109
3.7.4. Cálculo para definir periodo mínimo de intervención antes que ocurra una falla al compresor CPT 15.....	113
3.7.5. Hoja de decisión RCM – CPT 15 (Atlas Copco GR 200).....	116
3.7.6. Implementación del plan de mantenimiento basado en el RCM – CPT 15 (Atlas Copco GR 200):.....	124
3.7.7. Lista de partes críticas del compresor CPT 15:.....	126
CAPITULO IV .....	128
4. Discusión de resultados.....	128
CAPÍTULO V .....	135
5. Conclusiones y recomendaciones .....	135
5.1. Conclusiones.....	135
5.2. Recomendaciones.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
ANEXOS.....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b>	Hoja de Información RCM .....	29
<b>Tabla 2.2.</b>	Hoja de decisión RCM .....	30
<b>Tabla 2.3.</b>	Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio.....	44
<b>Tabla 2.4.</b>	Matriz de criticidad .....	45
<b>Tabla 2.5.</b>	Criticidad definida según el rango .....	46
<b>Tabla 2.6.</b>	Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la Repercusión en el cliente/usuario. ....	47
<b>Tabla 2.7.</b>	Clasificación de la frecuencia de ocurrencia modo de fallo .....	48
<b>Tabla 2.8.</b>	Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla .....	49
<b>Tabla 2.9.</b>	Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla .....	50
<b>Tabla 2.10.</b>	Leyenda de gráfica 2.13.....	58
<b>Tabla 2.11.</b>	Fases del equipo para el proceso de descarga .....	62
<b>Tabla 2.12.</b>	Fases del equipo para el proceso de carga.....	63
<b>Tabla 3.1.</b>	Equipo de trabajo RCM.....	70
<b>Tabla 3.2.</b>	Lista de Equipos a cargo de la empresa Crubher .....	71
<b>Tabla 3.3.</b>	Matriz de Criticidad de compresores estacionarios Toquepala .....	72
<b>Tabla 3.4.</b>	Equipos críticos identificados para aplicar RCM .....	73
<b>Tabla 3.5.</b>	Cantidad de fallas y procesamiento de datos para Pareto compresor CPT DLIX .....	80
<b>Tabla 3.6.</b>	Hoja de información RCM, AMEF sistema eléctrico .....	81
<b>Tabla 3.7.</b>	Continuación hoja de información RCM, AMEF sistema eléctrico .....	82
<b>Tabla 3.8.</b>	Hoja de información RCM, AMEF sistema adquisición de datos y control .....	83
<b>Tabla 3.9.</b>	Continuación hoja de información RCM, AMEF sistema adquisición de datos y control .....	84
<b>Tabla 3.10.</b>	Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico, CPT DLIX.....	85
<b>Tabla 3.11.</b>	Continuación, clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico, CPT DLIX .....	86
<b>Tabla 3.12.</b>	Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema de adquisición de datos y control, CPT DLIX.....	87

<b>Tabla 3.13.</b>	Horas de Fallas en el compresor CPT DLIX y datos para el ploteo de probabilidades. ....	88
<b>Tabla 3.14.</b>	Parámetros de Weibull y coeficientes para linealizar. ....	89
<b>Tabla 3.15.</b>	Datos para la estimación de periodo de intervención al compresor CPT DLIX .....	90
<b>Tabla 3.16.</b>	Hoja de decisión RCM II, sistema eléctrico compresor CPT DLIX.....	91
<b>Tabla 3.17.</b>	Continuación, hoja de decisión RCM II, sistema eléctrico compresor CPT DLIX .....	92
<b>Tabla 3.18.</b>	Hoja de decisión RCM, sistema de adquisición de datos y control CPT DLIX .....	93
<b>Tabla 3.19.</b>	Continuación, hoja de decisión RCM II, sistema de adquisición de datos y control CPT DLIX .....	94
<b>Tabla 3.20.</b>	Plan de mantenimiento compresor CPT DLIX.....	95
<b>Tabla 3.21.</b>	Lista de repuestos críticos en base al RCM, compresor CPT DLIX....	97
<b>Tabla 3.22.</b>	Análisis de criticidad basado de en riesgo para sub sistemas compresor CPT 15 .....	101
<b>Tabla 3.23.</b>	Hoja de información RCM. Sistema eléctrico CPT 15 .....	102
<b>Tabla 3.24.</b>	Continuación hoja de información RCM. Sistema eléctrico CPT 15 .	103
<b>Tabla 3.25.</b>	Hoja de información RCM. Sistema de adquisición de datos y control CPT 15 .....	104
<b>Tabla 3.26.</b>	Continuación, hoja de información RCM. Sistema de adquisición de datos y control CPT 15.....	105
<b>Tabla 3.27.</b>	Hoja de información RCM. Sistema de refrigeración de aire y aceite CPT 15 .....	106
<b>Tabla 3.28.</b>	Continuación, hoja de información RCM. Sistema de refrigeración de aire y aceite CPT 15 .....	107
<b>Tabla 3.29.</b>	Hoja de información RCM. Sistema de accionamiento y compresión CPT 15 .....	108
<b>Tabla 3.30.</b>	Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico.....	109
<b>Tabla 3.31.</b>	Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema de adquisición de datos y control.....	110

<b>Tabla 3.32.</b> Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema refrigeración de aire y aceite.....	111
<b>Tabla 3.33.</b> Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema accionamiento y compresión .....	112
<b>Tabla 3.34.</b> Horas de Fallas en el compresor CPT 15 y datos para el ploteo de probabilidades. ....	113
<b>Tabla 3. 35.</b> Parámetros de Weibull.....	114
<b>Tabla 3.36.</b> Datos para la estimación de periodo de intervención al compresor CPT 15 .....	115
<b>Tabla 3.37.</b> Hoja de decisión RCM – sistema eléctrico compresor CPT 15 .....	116
<b>Tabla 3.38.</b> Continuación hoja de decisión RCM – sistema eléctrico compresor CPT 15 .....	117
<b>Tabla 3.39.</b> Hoja de decisión RCM – sistema de adquisición de datos y control compresor CPT 15.....	118
<b>Tabla 3.40.</b> Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de adquisición de datos y control compresor CPT 15 .....	119
<b>Tabla 3.41.</b> Hoja de decisión RCM – sistema de refrigeración de aire y aceite compresor CPT 15.....	120
<b>Tabla 3.42.</b> Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de refrigeración de aire y aceite compresor CPT 15 .....	121
<b>Tabla 3.43.</b> Hoja de decisión RCM – sistema de accionamiento y compresión CPT 15 .....	122
<b>Tabla 3.44.</b> Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de accionamiento y compresión CPT 15.....	123
<b>Tabla 3.45.</b> Plan de mantenimiento compresor CPT 15.....	124
<b>Tabla 3.46.</b> Lista de repuestos críticos compresor CPT 15.....	127
<b>Tabla 3.47:</b> Periodo de intervención para tareas inspección y reajuste – CPT DLIX .....	132
<b>Tabla 3. 48.</b> Periodo de intervención para tareas inspección y reajuste – CPT 15	132
<b>Tabla 3.49.</b> Cálculo de disponibilidad contractual y proyectado luego de implementación RCM – CPT DLIX.....	133
<b>Tabla 3.50.</b> Cálculo de disponibilidad contractual y proyectado luego de implementación RCM – CPT 15.....	133

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b>	Distribución de Compresores – Mina .....	11
<b>Figura 2.2.</b>	Distribución de Compresores Concentradora.....	12
<b>Figura 2.3.</b>	Diagrama de la metodología AMEF .....	27
<b>Figura 2.4.</b>	Hoja de decisión RCM .....	31
<b>Figura 2.5.</b>	Proceso de Mantenimiento.....	33
<b>Figura 2.6.</b>	Distribución de Weibull para diferentes valores de los parámetros.....	39
<b>Figura 2.7.</b>	Distribución de Weibull para diferentes valores de los parámetros.....	40
<b>Figura 2.8.</b>	Diagrama de Pareto.....	51
<b>Figura 2.9.</b>	Compresor Altas Copco de alta presión para Filtros Lárox, Toquepala.....	52
<b>Figura 2.10.</b>	Clasificación de compresores .....	54
<b>Figura 2.11.</b>	Disposición de rotores de compresores a tornillo .....	55
<b>Figura 2.12.</b>	Fases de trabajo en compresión .....	56
<b>Figura 2.13.</b>	Diagrama de flujo de aire-aceite GR 200 .....	59
<b>Figura 2.14.</b>	Diagrama de flujo GR 200.....	61
<b>Figura 3.1.</b>	Proceso a seguir para la implementación del RCM en compresores de concentradora Toquepala .....	67
<b>Figura 3.2.</b>	Ficha técnica compresor CPT DLIX .....	74
<b>Figura 3.3.</b>	Ubicación compresor CPT DLIX.....	75
<b>Figura 3.4.</b>	Ficha Técnica de Compresor CPT 15 .....	76
<b>Figura 3.5.</b>	Diagrama de suministro de aire para Filtro Pf 60.....	77
<b>Figura 3.6.</b>	Descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT DLIX.....	78
<b>Figura 3.7.</b>	Continuación descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT DLIX .....	79
<b>Figura 3.8.</b>	Diagrama de Pareto compresor CPT DLIX, sistemas críticos.....	80
<b>Figura 3.9.</b>	Ploteo de probabilidades de fallas y tendencia.....	89
<b>Figura 3.10.</b>	Gráfica de confiabilidad para compresor CPT DLIX .....	90

<b>Figura 3.11.</b> Descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT 15.....	98
<b>Figura 3.12.</b> Continuación descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT 15.....	99
<b>Figura 3.13.</b> Diagrama de Pareto sistemas críticos compresor CPT 15 .....	100
<b>Figura 3.14.</b> Ploteo de probabilidades de fallas y tendencia.....	114
<b>Figura 3.15.</b> Gráfica de confiabilidad del compresor CPT 15.....	115
<b>Figura 3.16.</b> Disponibilidades de la flota de compresores Marzo 2017 a Febrero 2019 .....	130
<b>Figura 3.17.</b> Tendencia disponibilidad contractual del CPT DLIX Y CPT 15.....	131
<b>Figura 3.18.</b> Tendencia disponibilidad contractual a Agosto 2019.....	134



# CAPÍTULO I

## 1. Marco Metodológico

### 1.1. Introducción

El mantenimiento industrial moderno ha adquirido una gran importancia, debido a que un adecuado mantenimiento origina grandes ahorros económicos para la empresa, con un plan de mantenimiento apropiado se evitan posibles fallos que pueden ocasionar daños graves en equipos o parada de procesos.

Los planes de mantenimiento realizados a base de las recomendaciones de los fabricantes son el punto inicial para comenzar la elaboración de los mismos pero generalmente son muy conservadores y muchas veces no llegan a ser rentables porque solo están diseñados en base a un contexto operacional (García Garrido, Artículos sobre plan de mantenimiento, 2018).

El aire comprimido es una de las fuentes de energía con mayor importancia y que más se utilizan en múltiples procesos industriales gracias a su seguridad, rapidez y facilidad de uso (Grupo Nova Góngora, 2017).

Hoy en día es importante lograr el ahorro económico, la máxima confiabilidad y vida útil de los equipos; por ende, mayor productividad o conseguir una tendencia de cero demoras por temas de mantenimiento o re trabajos. La empresa CRUBHER S.R.L. realiza el servicio de mantenimiento total de compresores en Toquepala de Southern Perú; teniendo la misión de

principal de brindar una disponibilidad contractual superior al 98% y la mayor confiabilidad posible, se desea cero fallas por conceptos de mal mantenimiento.

El presente trabajo está orientado a mejorar la gestión del mantenimiento actual realizando la implementación de planes de mantenimiento centrados en la confiabilidad en compresores de la planta concentradora Toquepala en base al estudio integral de los equipos según su criticidad.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad para la elaboración de planes de mantenimiento en compresores a tornillo críticos en la planta concentradora de Toquepala.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis de criticidad de todos los compresores estacionarios a tornillo que intervienen dentro del proceso productivo de la planta concentradora.
- Identificar las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de falla en los compresores críticos mediante el apoyo de manuales y el personal técnico de mayor experiencia.
- Identificar las tareas rutinarias que se deben realizar para prever o disminuir la ocurrencia de fallas, de esta manera poder elaborar un protocolo de

inspecciones de mantenimiento óptimo mejorando la utilización de horas hombre por parte del contratista.

- Determinar los repuestos que deben permanecer como Item de Stock en almacén, como una de las medidas paliativas de las consecuencias de un fallo.
- Implementar planes de mantenimiento que garantice la máxima disponibilidad y confiabilidad.

### 1.3. Justificación

En la actualidad la gestión de mantenimiento llevada por la empresa contratista no cuenta con todos los planes de mantenimiento preventivo establecidos, hojas técnicas de los equipos, tareas de rutina implantadas que garanticen la máxima confiabilidad posible, ni lista de repuestos críticos que permitan reaccionar ante situaciones de emergencia. Las tareas de rutina y verificación de parámetros se realizan de manera empírica no habiendo una retroalimentación de ellos.

Con la implementación de la Estrategia del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en los compresores de concentradora Toquepala se pretende establecer un Plan de Mantenimiento con procedimientos estandarizados obedeciendo a las normas SAE JA1011 y SAE JA1012. Por consecuencia el presente estudio tiene relevancia actual; ya que, se trata de una estrategia moderna utilizada en el mantenimiento. Adicionalmente la implementación de la estrategia quedará como precedente para que se puedan desarrollar en los diferentes proyectos mineros que la empresa CRUBHER

S.R.L. ejecuta trabajos de mantenimiento en compresores generándole una ventaja competitiva frente a otras empresas del mismo rubro; puesto que, en el mercado laboral de este rubro no se encuentran con técnicos con experiencia que tengan conocimientos claros en el tema de compresores a tornillo siendo difícil cubrir inmediatamente el puesto ante la salida de un personal con mano calificada.

Finalmente se considera que se está dando un valor agregado al contrato actual que se mantiene con Southern Perú porque se realizará un estudio integral en los equipos críticos.

#### **1.4. Identificación del problema**

El problema se suscita debido a la necesidad de obtener la mayor disponibilidad, confiabilidad, mejorar la utilización de Horas Hombre y el menor tiempo posible de capacidad de respuesta ante fallas de compresores estacionarios a tornillo en Toquepala mediante la implementación de planes de mantenimiento realizados a base del RCM.

##### **1.4.1. Descripción del problema**

La empresa CRUBHER S.R.L. es contratista de Southern Perú; teniendo a cargo el mantenimiento de los compresores de las diferentes áreas como Concentradora, Mina y Quebrada Honda en Toquepala; razón por la cual, contractualmente la minera pide que se garantice la mayor disponibilidad (>98%) y confiabilidad (Cero fallas inesperadas posibles) para así asegurar el funcionamiento continuo de todos los equipos con sistemas neumáticos que

intervienen en sus procesos productivos; por lo tanto, como empresa contratista especializada se pretende mejorar la gestión del mantenimiento.

Actualmente se generan Re-trabajos después de algunas tareas de mantenimiento generando desperdicio de horas hombre debido a que no se tienen bien especificadas las actividades a realizar, además esto conlleva a que se necesiten repuestos adicionales que en ocasiones no se tienen disponibles y que el tiempo de llegada es demasiada larga afectando en algunos casos la producción, pérdidas económicas y vida útil de los compresores.

Finalmente se identificó que hay falencias en la gestión de mantenimiento actual; razón por la cual, se plantea mejorarla realizando la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), siendo un valor agregado que se plantearía para garantizar el cumplimiento de los índices trazados en la ejecución del contrato que se lleva con Southern Perú, las cuales son:

- Se trabaja con planes de mantenimiento preventivo conservador no retroalimentado; no obstante, se observan que algunos equipos no garantizan la disponibilidad ni confiabilidad deseada debido a que dichos planes no están asemejados según al contexto operacional en el que trabajan los compresores.
- No se tienen bien definidas las tareas de rutina y mantenimiento preventivo que garanticen lograr los índices deseados y así optimizar la utilización de Horas-Hombre.

- Se presentan trabajos por mantenimiento correctivos no planificados que afectan el cumplimiento de tareas planificadas.
- No se disponen de listas de repuestos críticos catalogados, sobre todo para los equipos de mayor criticidad de la planta.
- No se cuenta con hojas técnicas de equipos e identificación de partes críticas.

## 1.5. Antecedentes

### 1.5.1. Antecedentes Locales

Nayhua Gamarra, José Antonio (Arequipa, 2018) **“DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20 EN LA EMPRESA EXPLODRILLING”**

La presente tesis es aplicable al campo de la ingeniería de mantenimiento, en el mantenimiento de equipos de perforación diamantina Atlas Copco CT20, que operan en proyectos de exploración minera. La criticidad se estimó por criterios de: impacto y flexibilidad operacional, impacto a la seguridad y al medio ambiente, recurrencia de fallas y costos de mantenimiento correctivo y preventivo. La realidad problemática plantea diseñar un plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con el fin de aumentar el tiempo medio entre fallas en la flota de perforadoras.

### 1.5.2. Antecedentes Nacionales

Moreno Aguirre, Edwin Michael (Trujillo, 2017) **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC) AL COMPRESOR ESTACIONARIO DE TORNILLO DE UNA ETAPA DE LA EMPRESA METALMECÁNICA FAMECA SAC”**

En la presente tesis se diseña un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad MCC al compresor Atlas Copco de la empresa metalmecánica Fameca SAC para mejorar sus índices de mantenimiento actuales. Durante la aplicación del proceso MCC involucró un análisis de causas de los modos de fallas y sus efectos AMFE, y el desarrollo de Hojas de Decisión estableciendo actividades de mantenimiento que eliminen o reduzcan los efectos de fallas basándose en las consecuencias que podrían causar. Como resultado de la aplicación de la metodología MCC se desarrolló un nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad y se aumentó la Disponibilidad en 25%, la Confiabilidad en 3% y la Mantenibilidad en 9%.

### 1.5.3. Antecedentes Internacionales

Ardila y Mantilla (Colombia, 2008) **“DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES, COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2 DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE CRUDO CASABE DE LA SUPERINTENDENCIA DEL RIO DE ECOPETROL S.A”**

En el presente trabajo de investigación se diseña la estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad para los equipos mecánicos, donde se determina su grado de criticidad y el mantenimiento requerido para mitigar sus modos de falla y disminuir los riesgos que estos generan a producción, medio ambiente, personas y a la imagen de ECOPETROL S.A, de acuerdo a la valoración en la matriz riesgos. Siguiendo este diseño como modelo de mantenimiento, se tendrá una estrategia tipo planeada para cada equipo de las respectivas estaciones, que en términos de costos debe ser menor a la reducción del riesgo que sus modos de falla proporcionen. Después de ser implementada esta estrategia, el grupo de confiabilidad posee autonomía para modificarla según los resultados de sus evaluaciones de mantenimiento.

Mena Guzmán, Jesús Adhemar (Bolivia, 2015) **“BENEFICIOS DEL RCM ALCANZADO EN EQUIPO COMPRESOR COMPAÑÍA MINERA SINCHI WAYRA S.A.”**

En el presente artículo nos muestra que la correcta interpretación y aplicación de las metodologías de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad hacen que nuestra gestión de mantenimiento este de acorde al contexto operacional propio de nuestra Empresa, y mostrando la técnica RCM2 en particular nos ayuda a refrescar y/o actualizar nuestros conocimientos para ver que la aplicación de esta metodología es cuestión de una política que abarque a todos los niveles de nuestra Empresa, se indica también que los beneficios directos de la aplicación del RCM son: mayor seguridad de las personas, del medio ambiente y un mayor rendimiento operacional de los activos.

## **1.6. Alcances y limitaciones**

### **1.6.1. Alcances**

El presente trabajo se implementará a partir de la base de datos (Historiales de mantenimientos) extraída en la empresa CRUBHER S.R.L. como contratista encargada del mantenimiento total de los compresores de planta concentradora del Proyecto Toquepala de Southern Perú, además se contará con el apoyo de técnicos mecánicos, electricistas e instrumentistas especializados, para el análisis AMEF de los compresores.

### **1.6.2. Limitaciones**

No se trabajarán con costos de repuestos debido a que como empresa contratista se trabaja con una tarifa plana y según políticas del cliente no se dispone de dicha información por parte de representantes de marcas de otros proveedores. El periodo de recolección de datos sobre antecedentes de modos de fallas en los propios equipos estará extraída de la base de datos principal desde Marzo del 2017 a Febrero del 2019, también poner en especial consideración que se tomará en cuenta la experiencia de técnicos con más de 10 años de experiencia realizando mantenimientos a compresores de tornillo lubricado.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico

Para la realización de la presente tesis, se tendrá que tener citada el contexto operacional donde se aplicará el RCM además se debe tener definida la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad según la norma SAE JA 1012 y la guía del RCM II de John Moubray, adicionalmente desarrollaremos conceptos relevantes sobre compresores y su aplicación en la minería para empezar con el estudio integral y la elaboración de planes de mantenimientos óptimos basados en RCM.

#### 2.1. Contexto Operacional

##### 2.1.1. Proyecto Minero Toquepala

La mina de Toquepala es un yacimiento ubicado en el sur del Perú. De acuerdo a la división política del Perú, se encuentra en la Región Tacna, Provincia de Jorge Basadre, Distrito de Ilabaya. La explotación de la mina de Toquepala es llevada a cabo por Southern Perú Copper Corporation. Junto con la mina de Cuajone y la refinería de Ilo, la mina de Toquepala es uno de los tres enclaves de dicha empresa en el sur del Perú. La producción minera es principalmente cobre. También se producen cantidades (en menor escala) de molibdeno y otros minerales ( Fundación Wikimedia, Inc., 2018).

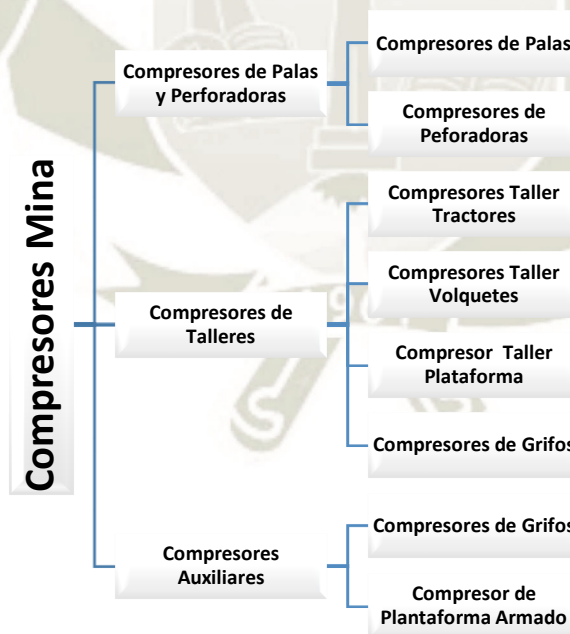
Toquepala para llevar a cabo el desarrollo adecuado del proceso de explotación y procesamiento de minerales tiene la gerencia de mantenimiento

el cual se sub-divide en dos superintendencias operativas que son Mantenimiento Mina y Mantenimiento concentradora, dentro de este último también se encuentra inmersa el área de mantenimiento a equipos de Quebrada Honda (Relavera).

### 2.1.2. Distribución de compresores en Toquepala

Es importante poner en mención que solo abarcamos equipos que contractualmente se atiende y se tiene distribuidos compresores a tornillo con diferentes tipos de accionamientos, lubricación y refrigeración según al requerimiento del área cuyas sub áreas específicas se describen en la figura 2.1 y figura 2.2:

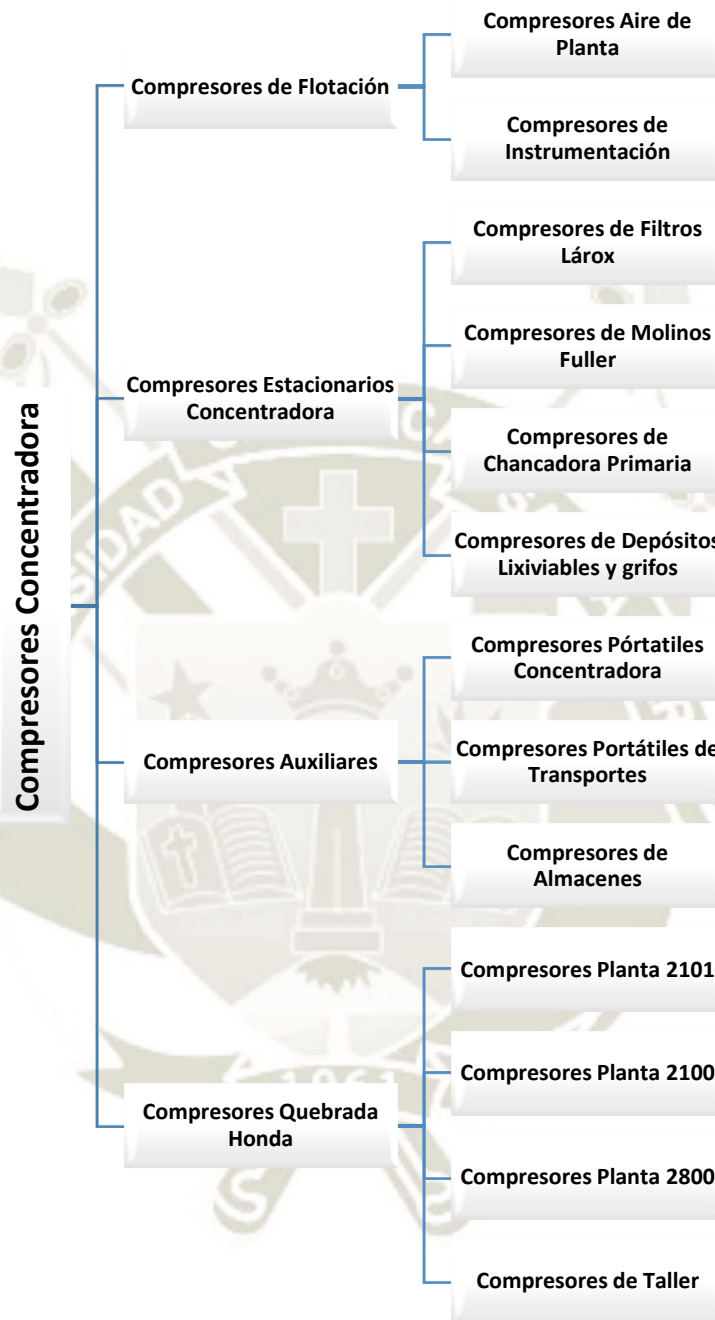
- **Compresores Mina:**



**Figura 2.1.** Distribución de Compresores – Mina

*Fuente: Elaboración propia*

- **Compresores Concentradora**



**Figura 2.2.** Distribución de Compresores Concentradora.

*Fuente:* Elaboración propia

### **2.1.3. Crubher S.R.L.**

Empresa líder en la comercialización de maquinaria para la minería, industria y construcción de las marcas GARDNER DENVER, TEREX y DOOSAN. Ofrece los equipos más confiables y eficientes del mercado. Brinda servicios de mantenimiento para minería e industria y cuenta con mecánicos entrenados por los fabricantes. La misión de dicha empresa es “Ser un equipo que brinda soluciones integrales en maquinaria para minería y construcción, con personal innovador y talentoso en constante capacitación, efectivo en costos y seguridad; orientado a la satisfacción de sus clientes y de ellos mismos” y cuya visión es “Ser la empresa líder en el Perú, con presencia internacional, en servicio comercialización y renta de maquinaria, en los sectores relevantes de la economía, brindando la mejor propuesta de valor integral para el cliente”.

## **2.2. Filosofías de Mantenimiento y su evolución**

### **2.2.1. El cambiante mundo del mantenimiento**

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

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta que punto

las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto y la presión de alcanzar una alta disponibilidad y confiabilidad operacional en la planta y al mismo tiempo mantener bajos los costos.

Estos cambios están exigiendo nuevas actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y a actuar como ingenieros y gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuanto se hayan informatizado.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo enfoque para el mantenimiento. Quieren evitar las fallas en los arranques y los callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios. Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía (Moubray, 1991).

### **2.2.2. Las Cinco generaciones del mantenimiento**

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban del cuidado y las reparaciones de los equipos. Se trataba de máquinas robustas, lentas, relativamente sencillas, y los tiempos de parada de éstas no eran una cuestión

preocupante. El mantenimiento era básicamente correctivo y el operario era el responsable de solucionarlo porque era quien más conocía los equipos, pues el operador de la máquina juega un papel fundamental en su mantenimiento.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y con la introducción de la producción en serie (iniciada por Ford) cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros talleres de mantenimiento, cuyo personal tenía una dedicación exclusiva a la reparación de averías y tenía pues una actividad diferenciada de los operarios de producción, dichas tareas eran en su totalidad correctivas.

Durante la Segunda Guerra Mundial aparece la Segunda Generación de mantenimiento. La exigencia de una mayor continuidad en la producción obliga a desarrollar formas de aumentar la disponibilidad de las máquinas, y se introduce entonces el concepto de mantenimiento preventivo sistemático. Los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan, mediante medidas preventivas de carácter periódico que se planifican con antelación.

Un poco más tarde, en los años 80 y tras atravesar una grave crisis energética en el 73, empieza a concebirse el concepto de fiabilidad, y con él, la Tercera Generación de mantenimiento. La aviación y la industria automovilística lideran esta nueva corriente. Se desarrollan nuevos métodos

de trabajo que hacen avanzar las técnicas de mantenimiento en varias vertientes:

- En la robustez del diseño, a prueba de fallos y que minimice las actuaciones de mantenimiento
- En el mantenimiento por condición, como alternativa al mantenimiento sistemático. Aparece el mantenimiento predictivo
- En el análisis de fallos, tanto los que han ocurrido como los que tienen una probabilidad tangible de ocurrir (fallos potenciales). Se desarrolla en Mantenimiento basado en Fiabilidad o RCM. El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.
- En el uso de la informática para el manejo de todos los datos que se manejan ahora en mantenimiento: órdenes de trabajo, gestión de las actividades preventivas, gestión de materiales, control de costes, etc. Se busca tratar todos estos datos y convertirlos en información útil para la toma de decisiones. Aparece el concepto de GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador), también denominado GMAC (Gestión del Mantenimiento Asistido por Computadora) o CMMS (Computerised Management Maintenance System).
- En la implicación de toda la organización en el mantenimiento de las instalaciones. Aparece el concepto de TPM, o Mantenimiento Productivo

Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas 'transferidas' son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir Cero Averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM, como filosofías de gestión que empiezan a implantarse entonces en un número creciente de empresas, se desarrollan de forma simultánea, ya que no se trata de sistemas opuestos, sino complementarios. En algunas empresas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. RCM es el eje central y se apoya en TPM para su desarrollo. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

La denominada cuarta generación del mantenimiento nace en los años '90, de la mano del Eureka World Class Management. El objetivo es la competitividad, y busca el desarrollo de métodos de trabajo eficaces.

La quinta generación del mantenimiento está centrada en la tecnología, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un

activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar, etc.). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costes de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida (García Garrido, Ingeniería del mantenimiento, 25).

### **2.3. El mantenimiento centrado en la confiabilidad**

#### **2.3.1. El RCM**

El mundo del mantenimiento hoy en día es muy cambiante, como resultado de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas. Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos durante su funcionamiento. Esto, debido a que los requerimientos de mantenimiento han cambiado drásticamente en los últimos tiempos y la evaluación de políticas así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros, pero nuevas técnicas y nuevas opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal. La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de

procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM obtiene resultados de la siguiente manera:

- Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar. El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cual es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado evitando tareas correctivas imprevistas.
- Es importante mencionar que si RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente, reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha hecho generalmente a un 40% a 70%. Por otro lado, si se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales (reliabilityweb, 2015).

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengan que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y qué se debe hacer para conseguirlo. Además, le da confianza al trabajador y mejora su efectividad (reliabilityweb, 2015).

En la norma SAE JA1011 refiere que: “el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. Desde entonces, MCC ha sido utilizado para ayudar a formular estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo humano organizado, y en casi todos los países industrializados del mundo. El proceso definido por Nowlan and Heap ha servido de base a varios documentos de aplicación en los cuales el proceso MCC ha sido desarrollado y perfeccionado a través de los años. La mayoría de estos documentos conservan los elementos claves del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del término MCC ha llevado a enaltecer un número de procesos que difieren significativamente del original, pero que sus defensores los llaman también MCC. Muchos de estos otros procesos fallan en el logro de las metas de Nowlan and Heap, y algunos son activamente contraproducentes.

### **2.3.2. EI RCM II**

Es un proceso usado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

Cuando es pertinente, el proceso RCM 2 también define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (seguridad e integridad ambiental), calidad (precisión, exactitud, consistencia y estabilidad), control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente, entre otros. El próximo paso en el proceso RCM 2 es identificar las formas en las cuales el sistema puede fallar en el cumplimiento de esas expectativas (estados de falla), seguidos por un FMEA o AMFE (Failure Modes and Effects Análisis), (Análisis de los modos de Falla y de los Efectos), para identificar todos los eventos que son razonablemente las probables causas de cada estado de falla.

Finalmente, el proceso RCM 2 busca identificar una correcta política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen: Mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, búsqueda de fallas, cambio del diseño o configuración del sistema, cambio de la forma en que es operado el sistema, operarlo hasta que falle. El proceso RCM 2 suministra normas importantes para decidir si cualquier política de manejo de fallas es técnicamente correcta, además suministra criterios precisos para decidir qué tan a menudo se deben realizar las tareas rutinarias de mantenimiento.

El fuerte énfasis sobre las expectativas del usuario es una de las muchas características del RCM 2, que lo distinguen de las interpretaciones de otros menos rigurosos de la filosofía RCM. Otra fortaleza es el uso de grupos de análisis RCM de funcionalidad cruzada de usuarios y personal de mantenimiento para aplicar el proceso. Con una cuidadosa capacitación, tales

grupos son capaces de usar RCM 2 para producir extraordinarios programas de mantenimiento con costos efectivos, aún en situaciones donde ellos tienen poco o ningún acceso a la información histórica. Una mejor comprensión de cómo funcionan los sistemas significa que los operarios están en capacidad de reaccionar rápida, confiada y correctamente, cuando las cosas funcionan mal. Capacidad muy valiosa, especialmente en instalaciones montadas de forma compleja, peligrosa y riesgosa. En todo los casos, las personas que viven con la operación de los equipos diariamente son una valiosa fuente de información, ello lleva a la conclusión de que desde ambos puntos de vista – validez técnica y desarrollo de capacidad – es un error no involucrar a las personas con los activos directamente en la aplicación del proceso RCM (reliabilityweb, 2015).

### **2.3.3. Proceso de desarrollo del RCM o MCC**

La norma SAE JA1011 dice que, cualquier proceso MCC debe responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente?, centrada en las funciones del activo.
2. ¿De qué manera podría fallar cumpliendo sus funciones?, centrada en las fallas funcionales.
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, centrado en los modos de falla.
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional?, centrado en los efectos de falla.

5. ¿De qué manera afecta o es importante cada falla? , centrado en las consecuencias de falla.
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?, centrado en tareas proactivas e intervalos de tareas.
7. ¿Qué hacer si no hay una tarea proactiva correcta?, centrada en decisiones de tareas predeterminadas.

Según la norma SAE JA1011 nos dice que adicionalmente, para responder correctamente cada una de las preguntas anteriores, se debe tener en consideración la siguiente información, y se deben tomar las siguientes decisiones. Toda la información y decisiones deben ser escritas y plasmadas como patrones para el desarrollo correcto de la implementación del RCM.

#### **2.3.3.1. El contexto operacional**

Antes de identificar las funciones deseadas para cada activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo; puesto que, es un factor primordial a la hora de definir cuan crítica es cada parte del activo al momento de cumplir sus funciones, pues consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se opera. La definición deberá de contener los parámetros de operación, los equipos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros atributos. (Poveda, 2011)

En el caso de los compresores, se hará la identificación de los contextos operacionales de los equipos críticos a mayor detalle para que se tenga una idea clara de tu contexto actual.

### 2.3.3.2. Funciones

1. Se debe definir el contexto operacional del activo.
2. Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección).
3. Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda hacer).
4. Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.

### 2.3.3.3. Fallas Funcionales

Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función, para esto primero se debe identificar que hechos llevaron que se suscite la falla y luego se debe preguntar ¿Qué eventos pueden causar que el activo falle?

#### **2.3.3.4. Modos de Falla**

Se deben identificar los modos de falla “probables” que puedan causar cada falla funcional.

1. El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo.
2. Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.
3. Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente por la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional.
4. Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del MCC).

#### **2.3.3.5. Efectos de Falla**

1. Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.

2. Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para soportar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como:
- ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)?
  - ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente?
  - ¿Qué hace (si hace algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones?
  - ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla?
  - ¿Qué (si existe algo) debe ser hecho para restaurar la función del sistema después de la falla?

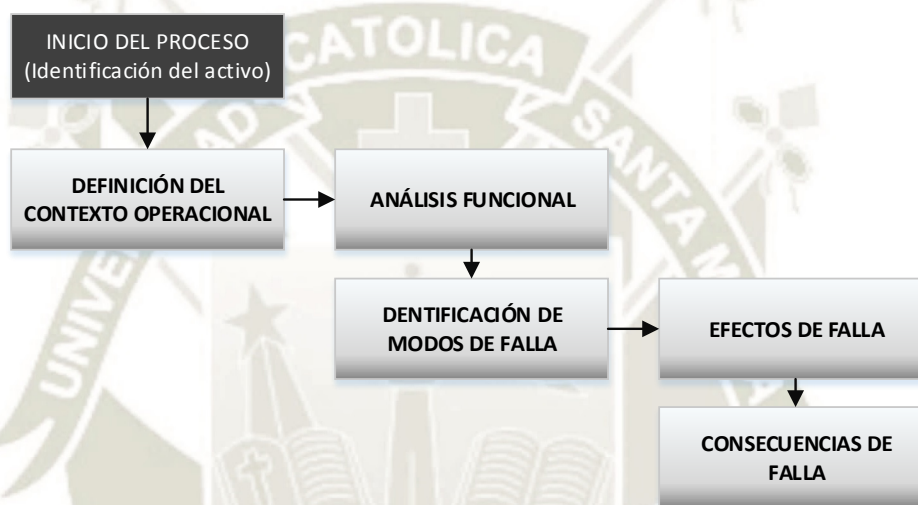
#### **2.3.3.6. Categorías de Consecuencias de Falla**

Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas como sigue:

- El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.
- El proceso de categorización de consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de falla y fallas múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o el ambiente de los que sólo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).

La valoración de las consecuencias de falla se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.

Como se pudo observar se debe seguir un procedimiento de manera ordenada y de forma progresiva para tener bien identificado todo e de un activo determinado, se resume el procedimiento AMEF:



**Figura 2.3.** Diagrama de la metodología AMEF  
*Fuente: Tecnología Ciencia, 2010*

### 2.3.3.7. Niveles de análisis y la Hoja de Información del RCM

El nivel de detalle seleccionado debe permitir identificar una política de manejo de falla adecuada. Por lo general, pueden seleccionarse niveles altos con menor detalle, pero si el componente admite trabajar a rotura o bien realizar tareas de búsqueda de falla, mientras que los niveles más bajos de mayor detalle deben seleccionarse si el modo de falla puede estar sujeto a algún mantenimiento proactivo.

El nivel de detalle que se usa para describir modos de falla en las horas de información también está influenciado por el nivel en el cual se lleva a cabo el AMEF.

Para el registro de los efectos de falla finalmente deben ser escritos en la última columna de la Hoja de Información, junto con al modo de falla correspondiente, como se muestra en la tabla 2.1.



**Tabla 2.1.** Hoja de Información RCM

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		SISTEMA:			SISTEMA N°	Failitador	Fecha:	Hoja N°
		SUBSISTEMA:			SUBSISTEMA N°	Auditor	Fecha:	
COMPONENTE	C O D	FUNCIÓN	CO D	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	CO D	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)	
Motor eléctrico del compresor	1	Girar el eje del compresor a 1790 rpm	A	El eje del compresor no gira a 1790 rpm	1	Motor eléctrico con bajo aislamiento	Interrupción del suministro de aire	
					2	Motor eléctrico con rodamientos dañados	vibración excesiva	
					3	Daño en el entre hierro del motor	Pérdida de potencia y aumento de temperatura	
					4	Falta de alimentación eléctrica a la potencia del motor	Mal funcionamiento del compresor	
					5	Sentido de giro invertido del motor	Aumento excesivo de corriente	
					6	Suministro de energía eléctrica intermitente	El motor no transmite torque	
			B	El eje del compresor gira a menos de 1790 rpm	1	Mala conexión eléctrica	Afecta negativamente los planes de producción	
					2	Motor con velocidad menos a la del diseño	No se suministra el caudal de aire requerido	
					3	Fluctuación en la frecuencia de la red	Interrumpe el suministro de alumina a celdas	
					4	Rodamientos degradado	Interrupción del suministro de aire	
					5	Suministro de energía eléctrica por encima del diseño	Incrementa el consumo del corriente del motor (posible daño interno)	
					6	Motor con velocidad mayor a la de diseño	Exceso de giro en el eje del compresor, sobrepresión	
	2	no generar ruido mayor a 80 db	A	Genera ruido mayor a 80 dB	1	Copla del motor y eje del compresor mal ajustados	Ruido excesivo	
					2	Eje del motor y compresor desalineados	Ruido excesivo	

Fuente: (Moubray, 1991)

#### 2.3.4. Proceso de decisión del RCM

Este proceso describe a la Hoja de Decisión de RCM (ver *Figura 2.5*) que es el segundo de los dos documentos centrales utilizados en la aplicación del RCM la cual permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión (ver *Figura 2.6*), y en función de dichas respuestas, registrar:

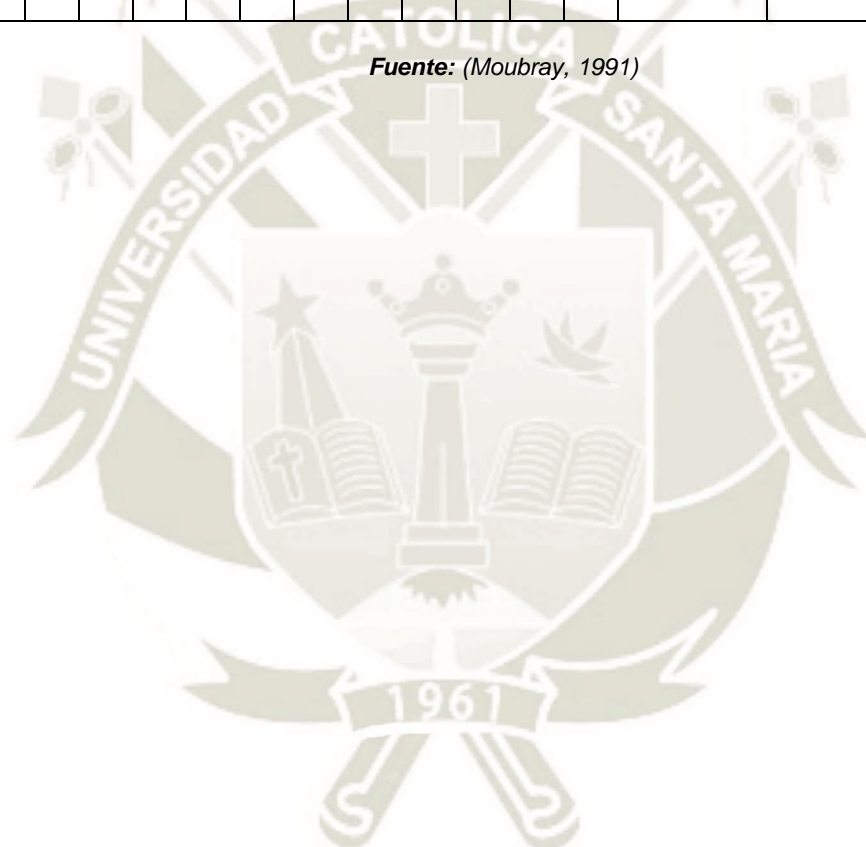
- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar su rediseño.

- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran

**Tabla 2.2.** Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM			EQUIPO:						FACILITADOR:			FECHA:	HOJA N°:		
			SISTEMA:						AUDITOR:						
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
										H4	H5	S4			
F	FF	MF	H	S	E	O									

*Fuente: (Moubray, 1991)*





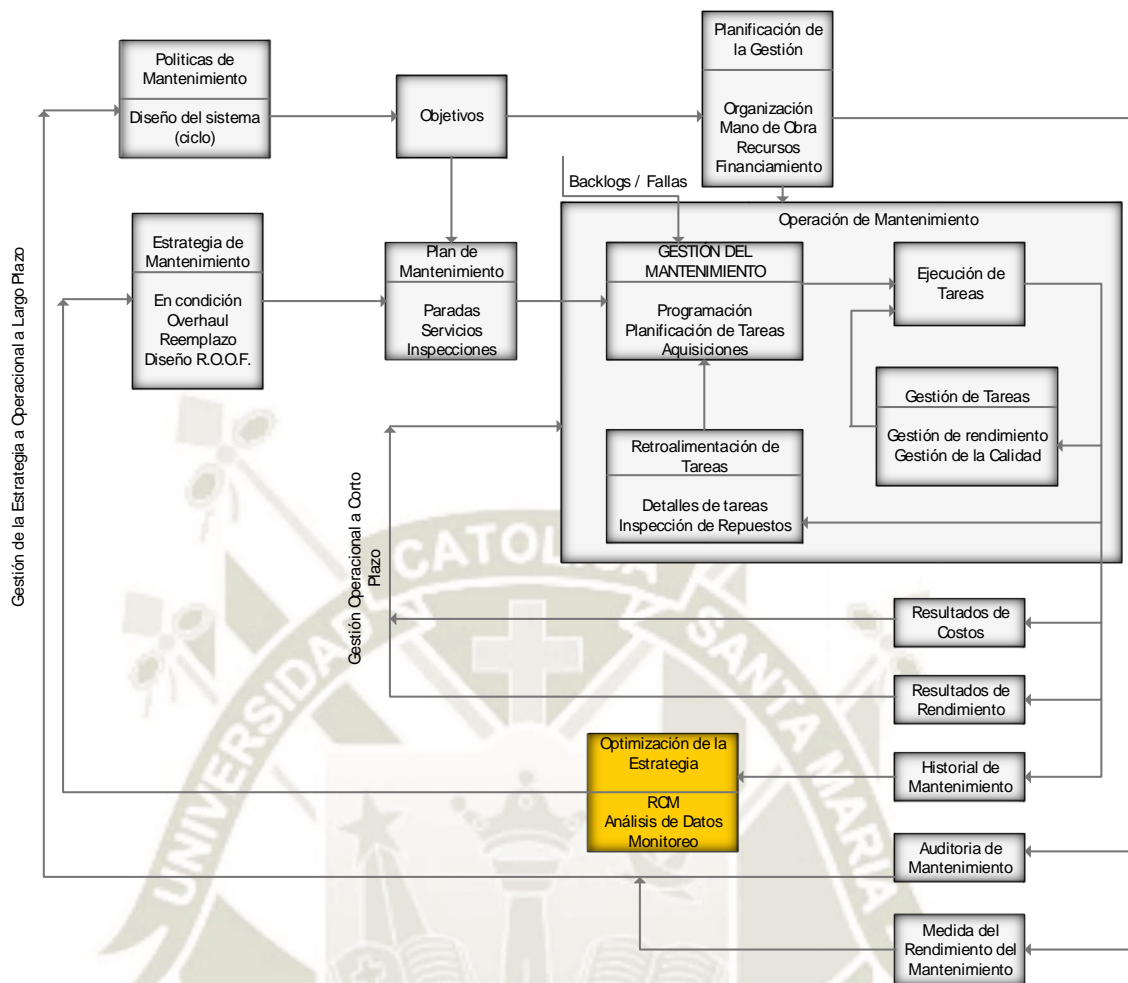
## 2.4. Importancia de los planes de mantenimiento

En toda organización o empresa donde se busque tener la mayor disponibilidad de equipos, mayor confiabilidad posible y sobre todo que paralelamente se saque el mayor provecho al activo, que cumpla con la función para la que fue adquirida se debe tener planes de mantenimiento bien estructurados, que si bien es cierto nos garantizarían la disponibilidad y confiabilidad deseada, los costos también deberían de ser razonablemente aceptables. Es por eso que la elaboración de planes de mantenimiento deberían ser realizados por personal de mucha experiencia que nos pueda brindar mayores casuísticas y soluciones para evitarlas de manera prematura, adicionalmente es muy conveniente la utilización de la ingeniería de confiabilidad para determinar intervalos óptimos en componentes críticos y de costo considerable.

Cabe resaltar que con la elaboración de los planes de mantenimiento se reducirían los tiempos de mantenimiento e inspección innecesaria.

## 2.5. Ciclo del Mantenimiento

El ciclo o proceso de mantenimiento que se lleva en una empresa debe ser según la figura 2.7. Es importante recalcar que la empresa contratista recién está en camino de consolidar dicho proceso.



**Figura 2.5.** Proceso de Mantenimiento

*Fuente: (PEP Gestión de Estratégica de Mantenimiento, Tecsup – Arequipa 2017)*

## 2.6. Indicadores de Mantenimiento (Kpi's) y el Benchmarking

Existe una gran cantidad de indicadores con los cuales se puede evaluar todo tipo de actividad ya sea considerando la parte de gestión, financiera, personal, etc. En esta ocasión se desarrollará tres indicadores principales de los cuales se considera que son los indispensables para una gestión efectiva para evaluar nuestros procesos de mantenimiento.

### 2.6.1. Mtbf, Mttf, Mttr, y Mtbs

- a. **Tiempo promedio entre fallas (MTBF):** Es empleado en sistemas donde el tiempo de reparación es significativo respecto al tiempo de operación (Sistemas reparables) cuya fórmula viene dada de la relación entre el número de horas de operación entre el número de paradas por mantenimiento correctivo dentro de un periodo determinado.

$$MTBF = \frac{\# \text{ de horas en operación}}{\# \text{ de paradas correctivas}}$$

Cabe indicar que si se desea evaluar el MTBF para equipos de la sección determinada de un proceso se podría extender la fórmula a:

$$MTBF_{\text{Sección A}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ horas en operación}}{\sum_{i=1}^n \# \text{ de paradas correctivas}}$$

- b. **Tiempo promedio entre fallas (MTTF):** Es empleado en sistemas no reparables (Ejemplo: focos led, fluorescente, satélites, etc.) donde el tiempo de reparación no es significativo respecto al tiempo de operación cuya fórmula viene dada por la siguiente relación.

$$MTTF = \frac{\# \text{ de horas en operación}}{\# \text{ de fallas}}$$

Cabe indicar que el tiempo el concepto es similar el MTBF.

- c. **Tiempo promedio para la reparación (MTTR):** Este indicador es empleado para determinar el tiempo que se emplea para reparar un equipo

cuando entra en falla o parada inesperada; tener en cuenta, que cuando se halla el MTBF también se tendrán MTTR; mas no, si se trabajan con MTTF.

La expresión para hallar el MTTR es:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\# \text{ total de reparaciones correctivas}}$$

## 2.6.2. Disponibilidad

La disponibilidad, *objetivo principal del mantenimiento*, puede ser definida como la probabilidad de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente o esté disponible para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente (MESA D. , 2006).

### 2.6.2.1. Disponibilidad Física:

Al momento de referirnos a la disponibilidad física se da a conocer todo el tiempo que un activo se encuentra listo para operar considerando que los tiempos son globales o sea 24 horas / día y 365 días al año, que pueden ser hallares dentro de periodos establecidos.

Cabe indicar que se pondrá énfasis en este concepto; puesto que, paralelamente para este trabajo el cliente medirá al contratista con un indicador cuya fórmula matemática es similar pero es llamada como disponibilidad contractual, la cual se describe a continuación:

$$D_f = \frac{H_{cal} - (H_{f.o.} + H_{sb})}{H_{cal}}$$

Donde:

$D_f$ : Disponibilidad física o contractual

$H_{cal}$ : Horas calendario

$H_{f.o.}$ : Horas Fuera de operación

$H_{sb}$ : Horas Stand by

$H_{f.o.} = \text{Horas Mantenimiento Correctivo} + \text{Horas Mantenimiento preventivo}$

### 2.6.2.2. Disponibilidad Mecánica:

La disponibilidad mecánica también te muestra el tiempo que se tiene el equipo disponible para la operación pero te considera el tiempo dentro del cual operaciones requiere utilizar el equipo, en este punto las paradas por aprovechamiento (Cambios de guardia de operaciones, almuerzo del personal de operaciones, voladura, etc.), no serán consideradas, siempre en cuando la utilización del activo dependa de un personal que la opere por ejemplo con los equipos móviles, es muy importante diferenciar al momento de interpretar la disponibilidad física versus la disponibilidad mecánica; ya que, ahí se verá si se está aprovechando certeramente los tiempos muertos que brinda operaciones. Finalmente es preciso resaltar que si se tiene una flota de equipos que trabajan las 24 horas del día no valorable el cálculo de este indicador, el cual se detalla a continuación:

$$D_m = \frac{H_{op}}{H_{op} + H_{m.c.} + H_{m.p.}}$$

Donde:

$D_m$ : Disponibilidad mecánica

$H_{op}$ : Horas en operación

$H_{m.c.}$ : Horas en mantenimiento correctivo

$H_{m.p.}$ : Horas en mantenimiento preventivo

### 2.6.3. Confiabilidad

La confiabilidad podría definirse como la “confianza” que se tiene sobre un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo un contexto operacional determinado. Otra definición importante de confiabilidad es; la probabilidad de que un activo desempeñe su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas (MESA, ORTIZ, & PINZÓN, 2006).

A continuación se describirá la ecuación de confiabilidad considerando la función exponencial que es ampliamente utilizada como distribución de la variable aleatoria, genéricamente describe la cantidad de tiempo que ocurre entre eventos, es importante indicar que dicha fórmula se caracteriza porque el número de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo es generalmente constante.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

$R(t)$  : Confiabilidad para un tiempo dado.

$e$  : Base de los logaritmos neperianos ( $e = 2.303$ ).

$\lambda$  : Tasa de fallas (número total de fallas por periodo de operación).

$t$  : Tiempo de operación previsto.

Otra herramienta poderosa utilizada en teoría de la confiabilidad es la distribución Weibull debido a su gran versatilidad, los diferentes valores de sus parámetros pueden generar una familia de distribuciones cuyos casos específicos coinciden con otras distribuciones como la Exponencial, Normal y Raleigh, entre otras.

La función de densidad Weibull está dada por la siguiente ecuación:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{T - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

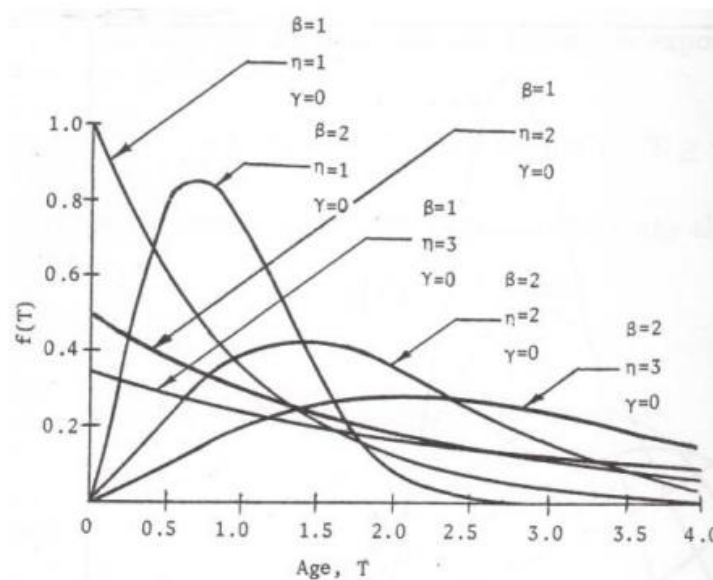
$f(t)$  : Función densidad de Weibull

$\beta$  : Parámetro de forma

$\eta$  : Parámetro de escala

$\gamma$  : Parámetro de localización

En la Figura 2.8 se muestra el comportamiento de la distribución Weibull para diferentes valores de  $\beta$  y  $\eta$  manteniendo el parámetro de localización constante en cero (inicio de la distribución).



**Figura 2.6.** Distribución de Weibull para diferentes valores de los parámetros  
*Fuente: (Kececioglu, 1991)*

Según Kececioglu en el Reliability Engineering Handbook dice que cuando  $\beta=1$  se obtiene la distribución Exponencial con 2 parámetros, para valores de  $\beta>1$  la distribución Weibull asume formas parecidas a la distribución normal, específicamente entre  $2.6<\beta$

El parámetro de escala  $\eta$  es la vida característica o la edad a la cual el 63.2% de la población ha fallado, tiene el mismo efecto en la distribución que un cambio de escala de la abscisa, si  $\eta$  se incrementa la distribución se contrae y si  $\eta$  disminuye la distribución se expande. El parámetro de localización  $\gamma$  sirve para ubicar el inicio de la distribución a lo largo del eje  $x$  y se relaciona con la vida mínima del producto.

Descritos los parámetros finalmente se tiene la función de confiabilidad Weibull que es la razón entre la función de distribución y la función de confiabilidad dadas por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

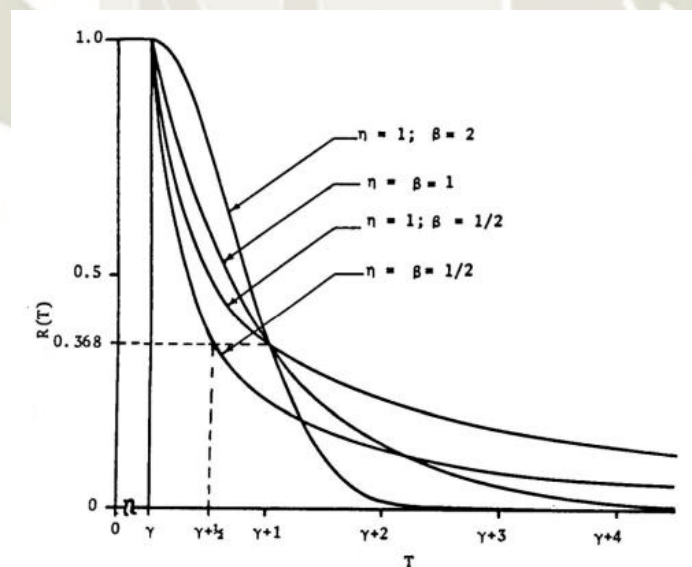
Donde:

$R(t)$  : Función de Weibull

$\beta$  : Parámetro de forma

$\eta$  : Parámetro de escala

$\gamma$  : Parámetro de localización



**Figura 2.7.** Distribución de Weibull para diferentes valores de los parámetros

*Fuente: (Kececioglu, 1991)*

El parámetro de localización  $\gamma$  se utiliza cuando existe muy baja probabilidad de falla por algún periodo de tiempo. Cuando el parámetro de localización es negativo significa que el equipo puede fallar antes de ser puesto

en funcionamiento. Lo anterior se utiliza para modelar fallas causadas por el transporte del equipo. La función de confiabilidad Weibull se inicia en 1, dado que se supone que al iniciar la misión todos los equipos se encuentran en buenas condiciones y conforme pasa el tiempo la confiabilidad va disminuyendo, para valores de  $\beta$  menores de 1 la función de confiabilidad disminuye de manera asintótica. Al igual que la función de densidad, para valores de  $\beta=1$  la función de confiabilidad asume la forma exponencial (Kececioglu, 1991).

En la actualidad se poseen diferentes software que ayudan a conseguir los parámetros de manera rápida, una de las más accesibles es usando el Microsoft Excel, también se puede realizar con la ayuda de tablas de Weibull.

#### **2.6.4. Mantenibilidad**

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En términos probabilísticos, se define la mantenibilidad como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo  $t$ ” (MESA, ORTIZ, & PINZÓN, 2006).

De manera análoga a la confiabilidad, la mantenibilidad puede ser estimada con ayuda de la expresión:

$$M(t) = (1 - e^{-\mu t})$$

Donde:

**M(t):** Es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo  $t=0$  y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo  $t$  (probabilidad de duración de la reparación)

**e:** Constante Neperiana ( $e=2.303\dots$ ).

**$\mu$ :** Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

**t:** Tiempo previsto de reparación.

## 2.7. Análisis de criticidad basado en el riesgo

El modelo del análisis de criticidad basado en el Riesgo presentado a continuación, es un proceso de análisis semicuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo. Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales y adaptadas a un número importante de industrias cuyos criterios son la Seguridad, Medio Ambiente, Producción, Costos de Operación y Mantenimiento, Ratio de Fallas y Tiempo de Reparación. Principalmente asignando calificación (ranking).

$$CBR = Ff * Cf$$

Donde:

**CBR** : Criticidad total por riesgo

**Ff** : Frecuencia de fallos (Rango de fallos en un tiempo determinado [fallos/año])

**Cf** : Consecuencias de los eventos de fallos

Cuyo valor de la consecuencia de fallas se calcula con la siguiente ecuación:

$$Cf = (Imp.Seg. + Imp.Amb. + (Niv.Prod.* TPPR * Imp.Prod.)) + Imp.Mantto.$$

Donde:

**Imp.Seg.** : Criterio para el impacto en la seguridad

**Imp.Amb.** : Criterio para el impacto en el medio ambiente

**Niv.Prod.** : Criterio para el nivel de producción manejado

**TPPR** : Tiempo promedio para reparar

**Imp.Prod.** : Criterio para el impacto en la producción

**Imp.Mantto.** : Criterio para el impacto en el mantenimiento

Es importante mostrar los valores ponderados que se asignarán a cada criterio específico con los que se trabajaran para el desarrollo del análisis de criticidad de nuestra flota de compresores.

**Tabla 2.3.** Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio

<b>A.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA LA FRECUENCIA DE FALLA</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Pésimo mayor 4 fallas/año	4
2	Malo 1 - 4 fallas/año	3
3	Regular 0.5 - 1 falla/año	2
4	Promedio 0.25 - 0.5 falla/año	1
<b>B.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN SEGURIDAD</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Pérdidas de vidas humanas	8
2	Lesiones permanentes	6
3	Daños severos	4
4	Lesiones menores	2
5	Incidentes menores	1
<b>C.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Afecta al medio ambiente - alto impacto	7
2	Violación a las normas ambientales	4
3	Provoca molestias mínimas a instalaciones o al ambiente	1
<b>D.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL NIVEL DE PRODUCCION</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Afecta severamente a la producción, no tiene respaldo	6
2	Afecta medianamente a la producción, Tiene otro sistema de ayuda	4
3	Afecta mínimamente a la producción, tiene Back up pero no afecta	2
4	No afecta a la producción, tiene Back up	1
<b>E.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Pésimo mayor a 2 días	5
2	Malo de 1 a 2 días	4
3	Regular 0.5 a 1 día	2
4	Promedio 1 a 6 horas	1
<b>F.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN LA PRODUCCION</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	Parada inmediata de toda la producción	6
2	Parada de complejo planta y repercusión en otros complejos	4
3	Impacta en niveles de producción o calidad	2
4	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
<b>G.- CONCEPTOS O CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN EL MANTENIMIENTO</b>		
<b>Nº</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PESO</b>
1	No existe opción de producción o no existe respuesta	5
2	Hay opción de repuesto compartido	3
3	Función de repuesto disponible	1

*Fuente: (PEP Gestión de Estratégica de Mantenimiento, Tecsup – Arequipa 2017)*

La selección de los factores ponderados se realiza en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio. Posteriormente, se seleccionan los sistemas

a priorizar y se genera una tormenta de ideas en la que se le asignan a cada equipo los valores correspondientes a cada uno de los factores que integran la expresión de Criticidad Total por Riesgo.

Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo/sistema, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias de los fallos y se ubican en la matriz de criticidad. El valor de frecuencia de fallos se ubica en el eje vertical y el valor de consecuencias se ubica en el eje horizontal.

**Tabla 2.4.** Matriz de criticidad

Frecuencia	4	160	320	480	640	800
	3	120	240	360	480	600
	2	80	160	240	320	400
	1	40	80	120	160	200
		40	80	120	160	200
		Consecuencia				

**Fuente:** (PEP Gestión de Estratégica de Mantenimiento, Tecsup – Arequipa 2017)

Finalmente la matriz mostrada en la tabla 2.4, tiene como resultados mostrados de tres tipos según la tabla 2.5:

**Tabla 2.5.** Criticidad definida según el rango

CRITICIDAD	CÓDIGO	RANGO
ALTA (CRITICO)	C	300 - 800
MEDIA (SEMICRITICO)	S	160 - 300
BAJA (NO CRITICO)	N	40 - 160

*Fuente: (PEP Gestión de Estratégica de Mantenimiento, Tecsup – Arequipa 2017)*

## 2.8. Criterios para priorizar los modos de fallas

### 2.8.1. Número Prioridad de Riesgo

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el Número Prioridad de Riesgo (NPR), el cual se da por la multiplicación de tres índices de probabilidad, los cuales son la Gravedad o Severidad, el nivel de Ocurrencia y por la facilidad de Detección de las fallas.

#### 2.8.1.1. Gravedad

Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el cliente (no teniendo que ser este el usuario final); valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la insatisfacción del cliente, la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.

Este índice sólo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectarlo los controles derivados de la propia aplicación del AMEF o de revisiones periódicas de calidad (Brastalén & Orriols, 2004).

**Tabla 2.6.** Clasificación de la gravedad del modo de fallo según la Repercusión en el cliente/usuario.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado	7-8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

*Fuente: (Brastalén & Orriols, 2004)*

### 2.8.1.2. Frecuencia

Se trata de una evaluación subjetiva, con lo que se recomienda, si se dispone de información, utilizar datos históricos o estadísticos. La frecuencia de los modos de fallo de un producto final con funciones clave de seguridad, adquirido a un proveedor, debería ser suministrado al usuario, como punto de partida, por dicho proveedor (Brastalén & Orriols, 2004)

La única forma de reducir el índice de frecuencia es:

- Cambiar el diseño, para disminuir la probabilidad de que el fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa de fallo.

**Tabla 2.7.** Clasificación de la frecuencia de ocurrencia modo de fallo

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente o sistema	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado	6-8
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

*Fuente: (Brastalén & Orriols, 2004)*

### 2.8.1.3. Detectabilidad

Este índice denota la probabilidad de que la causa y/o modo de falla, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los controles actuales existentes para tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue a un estado de falla.

Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y por consiguiente mayor el número de prioridad de riesgo, determinante para priorizar la intervención (Brastalén & Orriols, 2004).

**Tabla 2.8.** Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1-2
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	3-4
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estados de producción.	5-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10

*Fuente: (Brastalén & Orriols, 2004)*

Finalmente el Número de prioridad de riesgo viene expresado por la multiplicación de los índices ya mencionados:

$$NPR = G * F * D$$

Donde:

**NPR** : Número de prioridad de riesgo

**G** : Índice de gravedad

**F** : Índice frecuencia u ocurrencia

**D** : Índice de detectabilidad

Se tiene que considerar que la clasificación del NPR hallado será como se detalla en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9.** Clasificación de la facilidad de detección del modo de falla

PRIORIDAD DE RIESGO	
NPR>150	INACEPTABLE (I)
100<NPR<150	REDUCCIÓN DESEABLE (R)
NPR<100	ACEPTABLE (A)

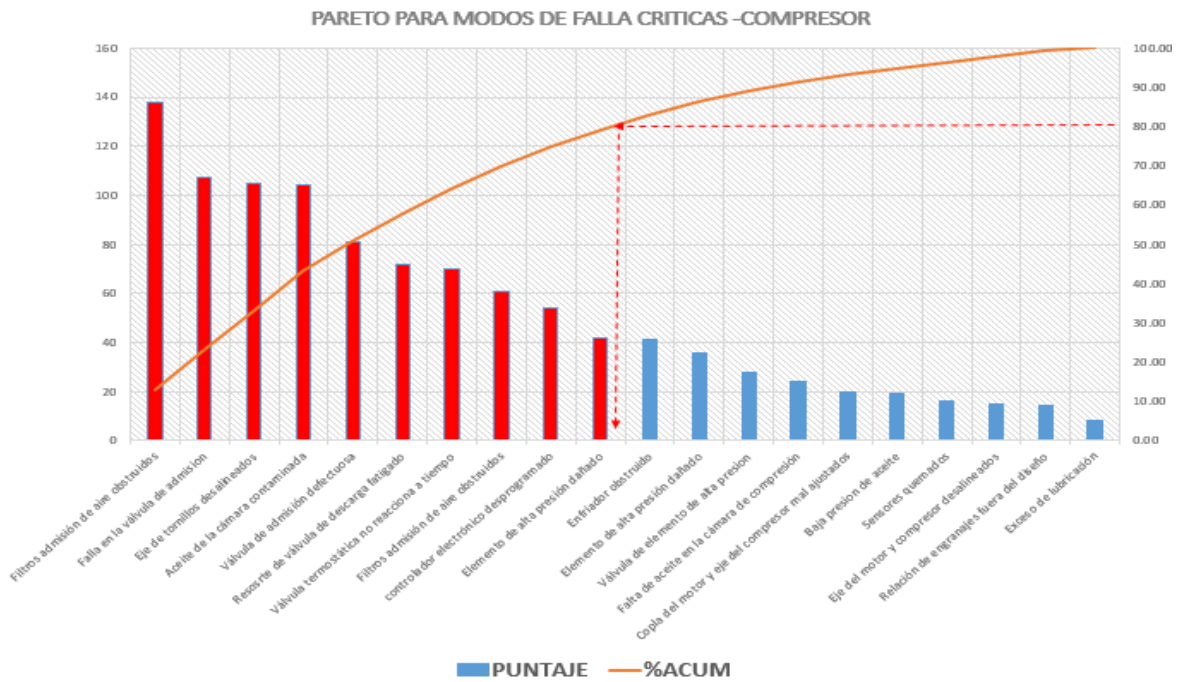
*Fuente: (Brastalén & Orriols, 2004)*

### 2.8.2. Diagrama de Pareto

El principio de Pareto fue descubierto por Vilfredo Pareto economista italiano en el año 1895, donde enfatiza el concepto de lo vital contra lo trivial, es decir el 20% de las variables causan el 80% de los efectos (resultados), lo que significa que hay unas cuantas variables vitales y muchas variables triviales.

Este diagrama permite la identificación de las pérdidas de un proceso, priorizando las que mayor problema generan, “Enfocarse en el 20% de las pérdidas representativas, para generar el 80% de los beneficios.

Dicha metodología también es usada en mantenimiento que consiste en un gráfico de barras similar al histograma que se conjuga con una ojiva o curva de tipo creciente y que representa en forma decreciente el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores que afectan a un proceso, operación o resultado. La utilización común en mantenimiento es para identificar listas de partes críticas, realizar programas de mantenimientos críticos y costos de mantenimiento.



**Figura 2.8.** Diagrama de Pareto  
*Fuente: (Elaboración propia)*

## 2.9. Compresores de aire

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. En esta última característica precisamente, se distinguen de las soplantes y ventiladores que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles (aire por ejemplo) sin modificar sensiblemente su presión, con funciones similares a las bombas de fluidos incompresibles, mediante los cuales se puede realizar diferentes tipos de aplicaciones en la industria.



**Figura 2.9.** Compresor Altas Copco de alta presión para Filtros Larox, Toquepala  
*Fuente: Elaboración propia*

## 2.9.1. Clasificación de compresores

### 2.9.1.1. Compresores de desplazamiento positivo

Estos se basan en la disminución del volumen de aire en la cámara de compresión en donde se encuentra aislado, produciéndose un incremento de presión para liberar el aire hacia el sistema.

- Compresor de pistón
- Compresor de tornillo
- Compresor de paletas

- Compresor de lóbulos
- Compresores scroll
- Bombas de vacío

### 2.9.1.2. Compresores dinámicos

Este grupo de compresores se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete y acelerado a gran velocidad, para después descargarlo en difusores situados junto al rodete, donde la energía cinética generada se transforma en presión estática que se libera al sistema.

- Compresores centrífugos radiales
- Compresores centrífugos axiales

Finalmente es necesario desarrollar específicamente los compresores a tornillo lubricado que es con el que comúnmente se trabaja en la industria minera en la actualidad pues no generan ruido excesivo, son eficientes y tienen larga duración.

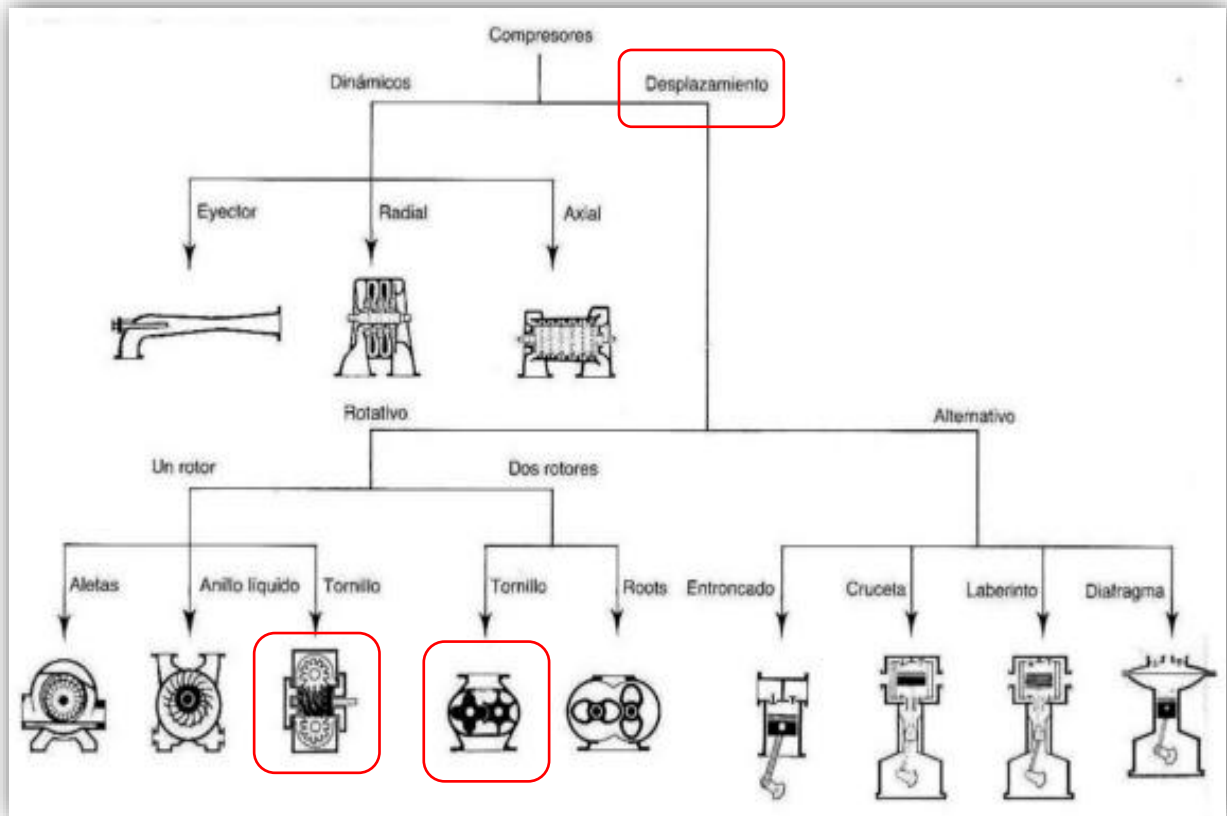
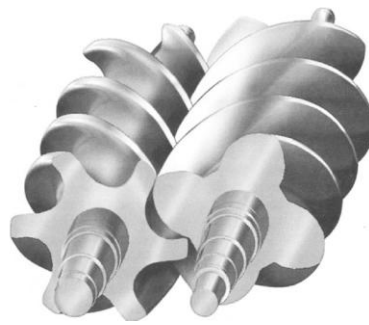


Figura 2.10. Clasificación de compresores  
Fuente: (Manual Atlas Copco)

### 2.9.2. Compresores a tornillo

Está compuesto por dos rotores de perfiles conjugados: uno de ellos se denomina macho y posee lóbulos (perfil convexo), mientras que el otro se llama hembra y posee alvéolos (perfil cóncavo). En general, el rotor macho posee 4 lóbulos y el rotor hembra consta de 6 alveolos; sin embargo, existen relaciones de  $3/5$  y  $5/7$ . Su disposición se observa en la figura 2.11.



**Figura 2.11.** Disposición de rotores de compresores a tornillo  
*Fuente: (Manual Atlas Copco)*

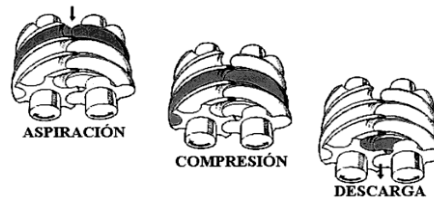
El principio de funcionamiento se explica mediante la distinción de las siguientes fases de trabajo:

**Aspiración.**-el fluido penetra a través de la entrada de aspiración y llena el espacio creado entre los lóbulos, los alveolos y la carcasa. El espacio aumenta progresivamente en longitud durante la rotación a medida que el engrane de los rotores se aproxima hacia el lado de descarga. Esta fase acaba una vez el fluido ha ocupado toda la longitud del rotor.

**Compresión.**-el fluido disminuye su volumen debido al engrane final de los rotores y en consecuencia aumenta su presión.

**Descarga.**-el fluido es descargado continuamente hasta que el espacio entre los lóbulos de los rotores desaparece.

Debido a la geometría de los rotores el flujo es axial y circunferencial. El punto en el que el fluido alcanza la lumbrera de salida determina la relación de presiones del equipo. En la figura 2.12 se muestra las fases de funcionamiento.



**Figura 2.12.** Fases de trabajo en compresión  
*Fuente: (Curso Atlas Copco)*

Por otro lado los compresores de doble tornillo se subdividen en dos grupos:

**Sin flujo de aceite a través de la máquina.-** presenta las siguientes características:

En este caso se tiene un juego entre los rotos que en ninguno momento entran en contacto. La sincronización de giro se logra mediante engranajes exteriores.

En los compresores de tornillo libres de aceite el perfil utilizado para los rotos es simétrico. Debido a que estos compresores no operan con aceite presentan limitaciones en su funcionamiento impuestos por la temperatura y la diferencia de presión. La acción de estos compresores operando a altas velocidades genera altos niveles de ruido. Por lo tanto, siempre deben contar con silenciadores.

**Con flujo de aceite a través de la máquina.-** Se descartan los engranajes sincronizadores y se transmite el movimiento por contacto directo de los rotos lubricados. El uso de aceite cambia las características del compresor de tornillo:

- Incrementa la capacidad de relación de presiones

- No hay necesidad de una chaqueta de diseño alrededor de la carcasa.
- Reduce los niveles de ruido y, por ende, se descartan el uso de silenciadores.
- Se utiliza un filtrador de aceite a la salida del compresor.

### 2.9.2.1. Compresores a tornillo lubricado Atlas Copco

Para el estudio de nuestra flota de compresores es importante desarrollar el funcionamiento de los compresores a tornillo lubricado, pues como su nombre lo indica para realizar el proceso de trabajo (Compresión) los tornillos están bañados o inyectados en aceite como medio de lubricación, aislante y refrigeración. Estos a su vez pueden ser de una o dos etapas según la presión que se desee alcanzar.

#### a. Sistema de aire y aceite:

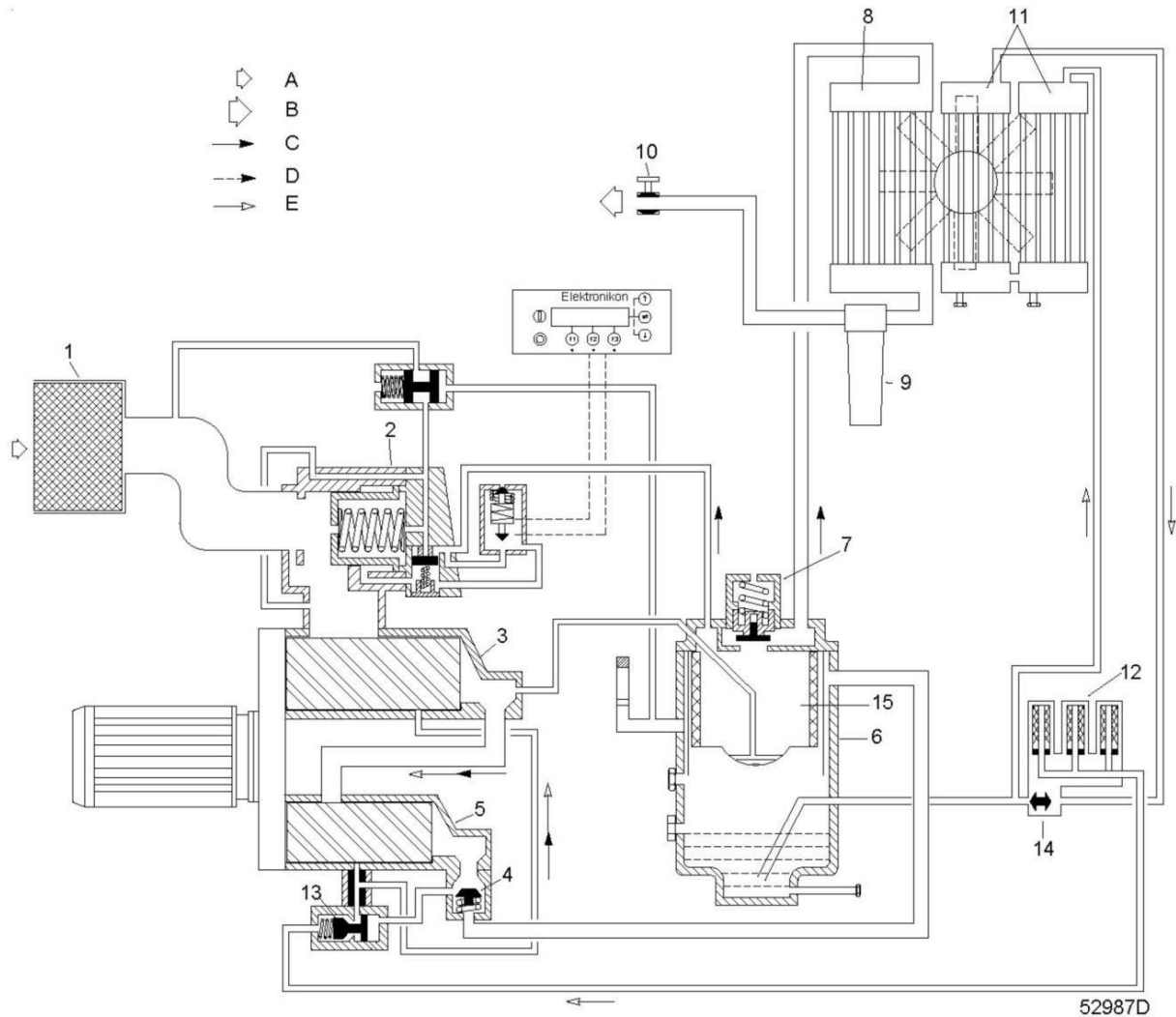
Para describir este sistema tenemos que tener en cuenta lo descrito en la tabla 2.13, seguidamente se pasará a describir el proceso del flujo del aire:

**Tabla 2.10.** Leyenda de gráfica 2.13

Referencia	Nombre
A	Entrada de aire
B	Salida de aire
C	Flujo de aire
D	Aire de control
E	Flujo de aceite

*Fuente:* (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004)

**Flujo de aire (Ver figura 2.13):** el aire aspirado por el filtro (1) y descargador (2) se comprime en el elemento compresor de baja presión (3). El aire comprimido entra en el elemento compresor de alta presión (5) donde se comprime aún más. El aire comprimido y aceite se descargan a través de la válvula de retención (4) y pasan al depósito de aire/separador de aceite (6) donde se separa el aceite del aire comprimido. El aire se descarga a través de la válvula de presión mínima (7) al refrigerador de aire (8). El aire refrigerado fluye a través del colector de condensado (9). El aire comprimido se descarga a través de la válvula de salida (10) en dirección a la red de aire. La válvula de retención (4) impide el retroceso de aire comprimido. La válvula de presión mínima (7) impide que la presión del depósito llegue a un valor inferior a la presión mínima. La válvula incorpora una válvula de retención (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004).



**Figura 2.13.** Diagrama de flujo de aire-aceite GR 200

*Fuente:* (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004)

Sistema aceite (ver figura 2.22) La presión del aire fuerza el paso del aceite desde el depósito (6) a través de los refrigeradores de aceite (11), los filtros (12) y la válvula de cierre de aceite (13) hacia los elementos compresores y sus puntos de lubricación. La válvula de cierre de aceite (13) impide que el elemento compresor se inunde de aceite al parar el compresor.

La válvula (14) deja fuera del circuito los refrigeradores de aceite (11) al arrancar el compresor en frío, lo que garantiza un calentamiento rápido del aceite a la temperatura de trabajo normal. En el depósito de aire (6), la mayor parte del aceite se separa del aire por centrifugación. El elemento separador (15) retira casi todo el aceite restante (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004).

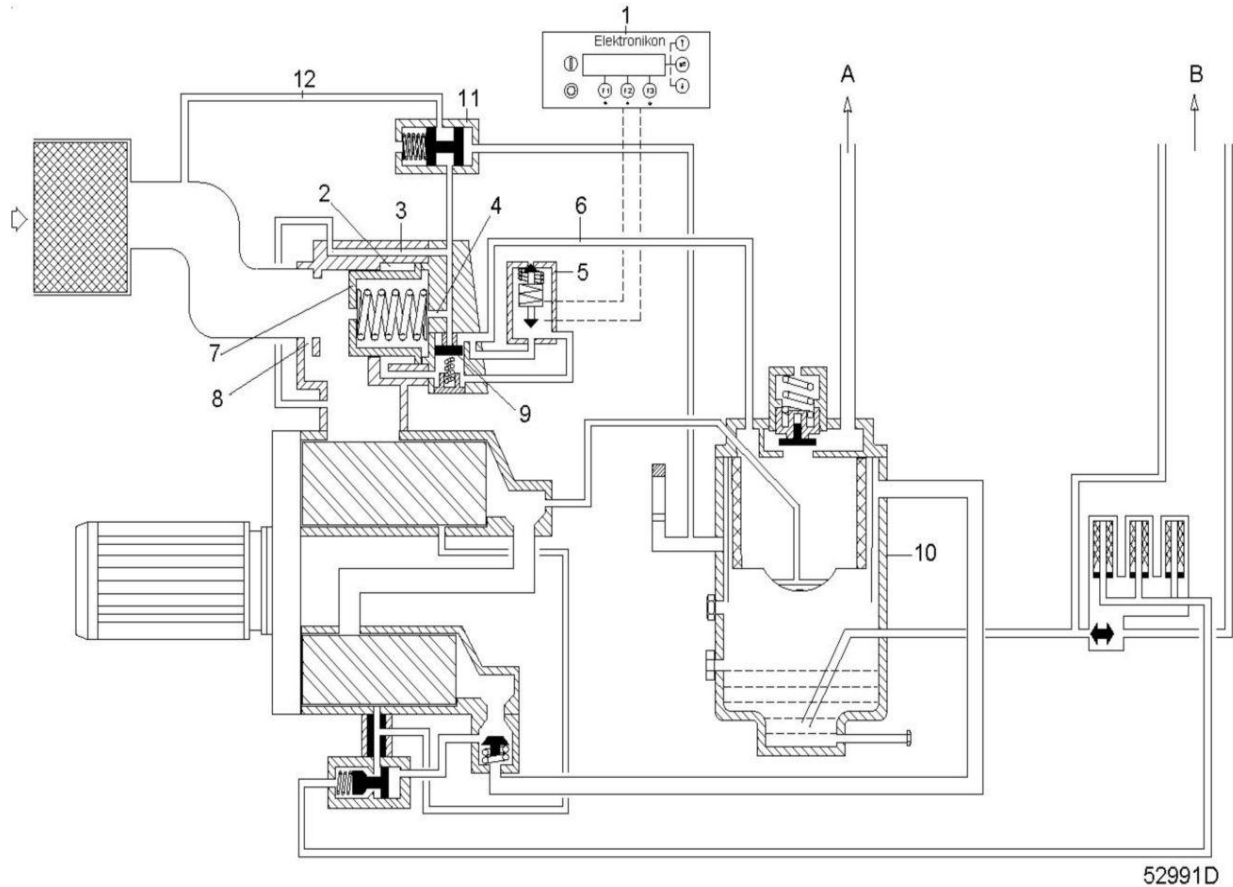
#### **b. Sistema de refrigeración y condensado**

Los colectores de condensado se instalan a continuación del refrigerador de aire para evitar que el condensado entre en el tubo de salida de aire. Los colectores están dotados de una válvula de flotador para drenaje automático del condensado y otra válvula para drenaje manual.

En compresores refrigerados por aire, los refrigeradores de aire y aceite se refrigeran por ventiladores.

#### **c. Sistema de regulación**

**La regulación** del compresor lo controla el regulador Elektronikon. El regulador mantiene la presión de la red entre los límites de presión programables cargando y descargando el compresor automáticamente en función del consumo de aire. También protege el compresor y monitoriza los componentes sujetos a servicio. En la figura 2.14 se tiene que tener presente que “A” va al refrigerador de aire además que “B” va y viene desde el refrigerador de aceite.



**Figura 2.14.** Diagrama de flujo GR 200

*Fuente:* (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004)

**Descarga (ver figura 2.14),** si el consumo de aire es inferior al suministro del compresor, la presión de la red aumentará. Si la presión de la red alcanza el límite superior de la presión de trabajo (presión de descarga), se desenergiza la válvula de solenoide (5). El émbolo de la válvula se mueve hacia abajo mediante muelle, en la tabla 2.11 se hace una descripción por fases:

**Tabla 2.11.** Fases del equipo para el proceso de descarga

Fase	Descripción
1	El émbolo de la válvula de solenoide (5) cierra el suministro de presión del depósito hacia la cámara (2).
2	Se desahoga a la atmósfera a través de la válvula de solenoide de carga (5), la presión de control que se halla presente en la cámara (2). La válvula de descarga (7) se cierra mediante muelle.
3	La válvula (9) se empuja hacia abajo y deja escapar presión del depósito a través del tubo flexible (6) y los canales (3 y 4) hacia la toma de aire. Mientras la presión en el depósito de aire sea superior a 10 bares, la válvula de ventilación (11) está abierta y la presión del depósito se ventea también a través del canal de expulsión secundario (12).
4	Una pequeña cantidad de aire sigue siendo aspirada por el agujero (8) y canal (3), y pasa desde el depósito (10) mediante el tubo flexible (6) a la toma de aire.
5	El suministro de aire se detiene (0%), el compresor marcha en descarga.

*Fuente:* (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004)

**Carga (ver figura 2.14),** Cuando la presión de la red baje al límite inferior de la presión de trabajo (presión de carga), se energiza la válvula de solenoide (5). El émbolo de la válvula de solenoide (5) se mueve hacia arriba contra la fuerza del muelle:

**Tabla 2.12.** Fases del equipo para el proceso de carga

Fase	Descripción
1	El émbolo de la válvula de solenoide (5) abre el suministro de presión del depósito hacia la cámara (2). La válvula de descarga (7) se abre contra el impulso del muelle.
2	La presión del depósito empuja también la válvula (9) hacia arriba y cierra los canales de expulsión (3 y 4).
3	Se reanuda el suministro de aire (100 %), el compresor marcha en carga.

*Fuente:* (COPCO, Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco, 2004)

#### d. Regulador Electronikon

En general el regulador Electronikon realiza las siguientes funciones:

- Controlar el compresor
- Proteger el compresor
- Monitorizar los componentes sujetos a servicio
- Arranque automático después de interrupción del voltaje (hecho inactivo)
- Arranque permitido

### 2.10. Compresores y el aire comprimido en la minería.

Los compresores de aire son frecuentemente usados en la industria minera tanto como equipos portátiles donde no llegue la energía eléctrica y se requiera

mover diferentes máquinas herramientas pero también son utilizados para el funcionamiento de diversos procesos en plantas concentradoras u otras donde se tenga como principio de funcionamiento de actuadores con aire comprimido.

Según Atlas Copco pioneros en ser proveedores de compresores para minería indican que los compresores son muy usados y versátiles para excavación de túneles y galerías, perforación de chimeneas, saneo, bulonado, inyección de cemento, perforación y barrido, cargas explosivas, voladura, accionamiento de bombas para lodo, rotura, ventilación, inflado de neumáticos, aire para estaciones de refugio, aire para talleres, planta de relleno de pasta, desecación, trituración, transporte neumático, paletización, prensas filtrantes, lixiviación en pilas, sinterización, cribado, carga y transporte.

Para refinado, recuperación de gas en horno de coque, reducción directa de mineral de hierro, desulfuración de gases de combustión, generación de energía, tratamiento de aguas residuales, aire de instrumentación, aire de servicio, aire de proceso para procesamiento de minerales. Grandes volúmenes de aire a baja presión para aplicaciones en el proceso de enriquecimiento o aire a media presión para accionar prensas filtrantes o manejar controles neumáticos.

En plantas concentradoras para prensas filtrantes eficientes para reducir el uso del agua. Aire comprimido fiable y eficiente de hasta 13 bar (195 psig). Compresores GR de 20 bar (300 psig).

Lixiviación en pilas, suministro constante de oxígeno para un crecimiento y actividad óptimos con una amplia gama de tecnologías de baja presión

Trituración y cribado los compresores de tornillo exentos de aceite con certificación Clase 0 prolongan la vida útil de los paños de filtros, reducen los costes de mantenimiento y aumentan el tiempo productivo de los filtros de bolsa.

Flotación de espuma Sopladores de tornillo giratorio y centrífugas de varias etapas para un funcionamiento fiable y eficiente, normalmente por debajo de 1 bar (15 psig).



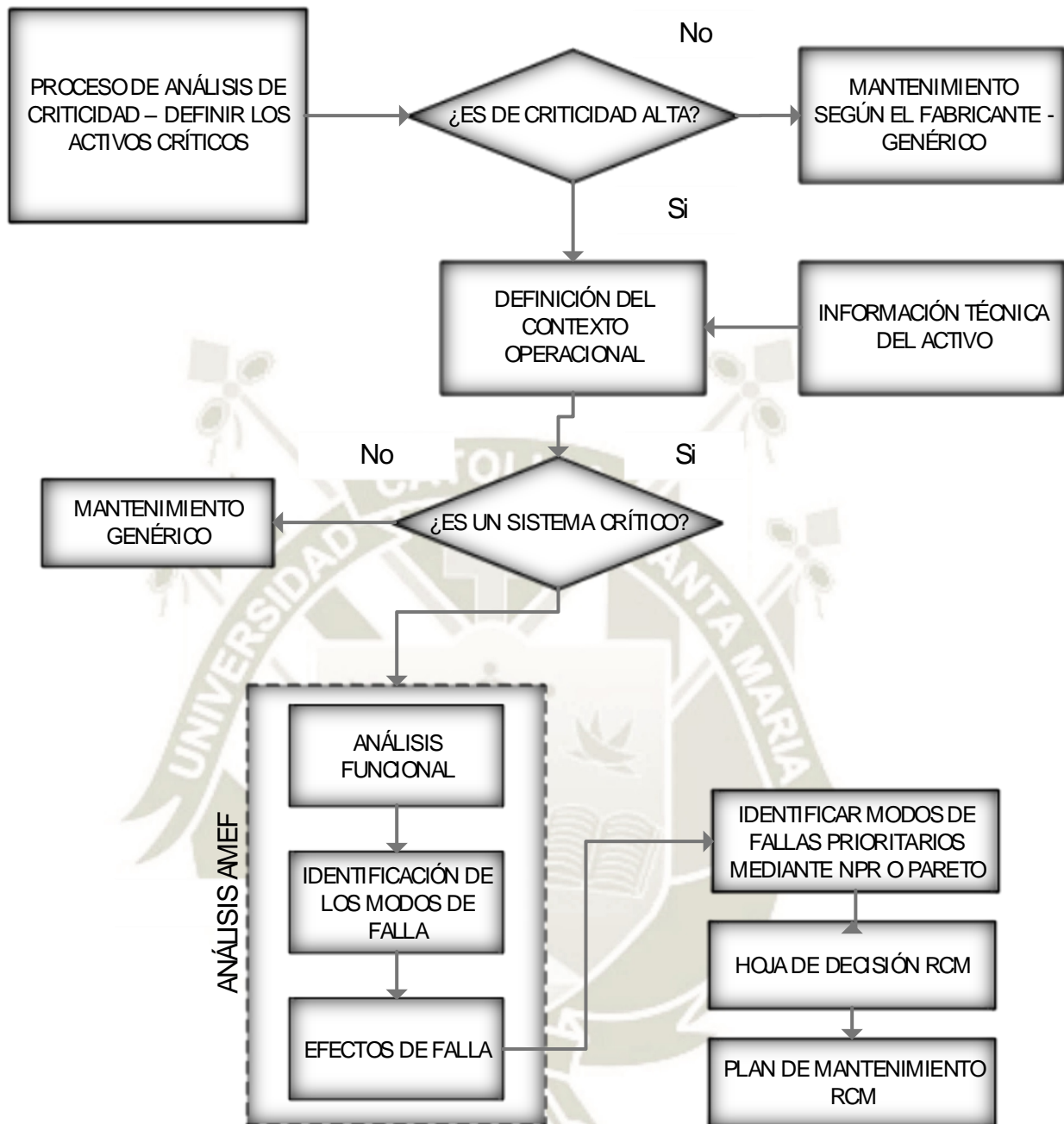
## CAPÍTULO III

### 3. Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

#### 3.1. Procedimiento

Para el desarrollo de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se realizará un extracto de toda la flota de compresores a analizar, luego se formará el grupo de trabajo RCM quienes determinarán los equipos críticos que necesitan ser atacados. Cabe indicar que por la flota de compresores que se tiene hay equipos con similares características, siendo las principales diferencias:

- El contexto Operacional.
- El tipo de Refrigeración que puede ser por aire o agua.
- Si son equipos de tornillo lubricado y exento de aceite.
- Número de etapas



**Figura 3.1.** Proceso a seguir para la implementación del RCM en compresores de concentradora Toquepala  
*Fuente: (Elaboración Propia)*

1. En primer lugar se determinará el nivel de criticidad de los compresores Atlas Copco con respecto a los demás equipos de la planta, para ello nos remitiremos al análisis de criticidad que se encuentra en la base de datos de la empresa Crubher S.R.L. proyecto Toquepala.
2. En segundo lugar se definirá el contexto operacional actual del compresor dentro de la empresa, punto muy importante que afecta considerablemente en la elaboración de planes de mantenimiento.
3. En tercer lugar se hará una evaluación de los sistemas más críticos a los cuales se les realizará el AMEF.
4. En cuarto lugar se aplicará un análisis de modos de falla y efectos (AMEF), en esta etapa se determina las funciones de los principales sistemas que conforman el compresor, se identifican los modos de fallas y los efectos que podrían causar.
5. En quinto lugar se aplica un modelo de criticidad semicuantitativo basado en el riesgo a todos los modos de falla para saber su nivel de criticidad, esto se logra por medio de la multiplicación de las frecuencias de falla por las consecuencias. Con esto logramos clasificar los modos de falla en Críticos, Medio Críticos y No Críticos.
6. En sexto lugar, una vez establecidos los modos de falla críticos, determinamos su número de prioridad de riesgo (NPR), número que es el resultado de multiplicar tres factores adimensionales: Gravedad, Frecuencia u Ocurrencia y Detectabilidad. Según el NPR obtenido se clasificarán en Inaceptables, Reducibles deseables y Aceptables.

7. En séptimo lugar elaboramos las hojas de decisión RCM de los modos de falla críticos, para finalmente establecer las actividades en nuestro Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad, cabe indicar que para hallar las frecuencias mínimas de intervención se hará un análisis de fallas mediante la ingeniería de confiabilidad.

Todo lo antes expuesto también se puede observar resumidamente diagramados en la figura 3.1.

### **3.2. Equipo de Trabajo RCM**

Según John Moubray el equipo de trabajo debe ser conformada por el personal de mantenimiento y operación, pues el objetivo de cada grupo es usar el proceso RCM para determinar los requisitos de mantenimiento de un activo específico o una parte del proceso en particular, bajo la conducción de un facilitador, el grupo analiza el contexto en el cual está operando el activo, y luego procede a llenar la Hoja de Información del RCM, para que finalmente usen el Diagrama de Decisión del RCM.

Previamente a esto se capacitó al personal técnico y al personal encargado del área de planeamiento sobre la filosofía del RCM, para que de esta manera el proceso del desarrollo y análisis del RCM sea de manera fluida.

Para el presente trabajo las personas a participar serán:

**Tabla 3.1.** Equipo de trabajo RCM

N°	Nombre	Cargo en el Equipo RCM
1	Joel Luna Turpo	Facilitador
2	Lenin Puma	Técnico Operador
3	Robert Masco	Planner programador
4	Carlos Mendez	Operador de contrato, responsable de equipos
5	Benjamín Arana	Técnico Senior especialista en Compresores
6	Jose Capacuela	Mantenedor

*Fuente: (Elaboración Propia)*

### 3.2.1. El facilitador

Según John Moubray, el o los facilitadores tienen un rol crucial en la implementación del RCM, cuya función primaria es ayudar a la aplicación de la filosofía RCM efectuando preguntas al grupo de personas seleccionadas considerando que tienen alto conocimiento de un activo determinado, en este caso conocimiento pleno en compresores a tornillo, asegurando que el grupo tenga consenso en las respuestas. De todos los factores que influyen en la calidad final del análisis, la habilidad del facilitador es la más importante, esto se aplica tanto a la calidad técnica del análisis, al ritmo en el que se completa el análisis, la actitud de los participantes hacia el proceso RCM.

### 3.3. Lista de equipos a analizar

A continuación se enumerarán los activos de la flota de compresores estacionarios que ingresarán para el análisis de criticidad.

**Tabla 3.2.** Lista de Equipos a cargo de la empresa Crubher

#	EQUIPO (TAG-SPCC)	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	SECCIÓN
1	CPT DLIX	Atlas Copco	GA 160	S989423 01	Depósitos Lixiviables
2	CPT 15	Atlas Copco	GR200	AIF 091617	Filtro Larox
3	CPT 11	Atlas Copco	ZT200	S986234-01	Instrumentación
4	MTCP 001	Atlas Copco	GA 160+	APFS90276301	Área 1200 Chancadora
5	CPT 9	Atlas Copco	ZR630	S98571701	Nueva Sala De Compresoras
6	MTCP 005	Atlas Copco	GA 160+	APFS90276303	Área 2300 Domo - Mejora
7	MTCP 002	Atlas Copco	GA 160+	APFS90276302	Área 1200 Chancadora
8	CPTMF 001	Quincy	QSB25	BU1304020104	Molinos Fuller
9	CPTMF 002	Quincy	QSB25	BU1210180139	Molinos Fuller
10	MTCP 006	Atlas Copco	GA 160+	APFS90276304	Área 2300 Domo - Mejora
11	CPT 14	Atlas Copco	GA 200	AIF 091609	Filtro Larox
12	CPT 12	Atlas Copco	GA 160	AIF 074713	Filtro Larox
13	MTCP 003	Atlas Copco	GA 200	APF193645	Área 1200 Chancadora
14	CPT 16	Atlas Copco	ZR630	S99837701	Nueva Sala De Compresoras
15	CPT 10	Atlas Copco	ZR630	S98601101	Nueva Sala De Compresoras
16	MTCP 004	Atlas Copco	GA 200	APF193726	Área 1200 Chancadora
17	CPT 13	Atlas Copco	3HX2T	12039	Filtro Larox
18	SCHULZ	Schulz	MSV 20 MAX	3261395	Laboratorio
19	CPT 1	Ingersoll Rand	XLE	JH1708	Sala De Compresoras
20	CPT 2	Ingersoll Rand	XLE	JH1707	Sala De Compresoras
21	CPT 5	Ingersoll Rand	XLE	JH6739	Sala De Compresoras
22	CPT 2M	Ingersoll Rand	HXPE125-2S	FF1545U98268	Taller Plataforma
23	GRIFO 1	Quincy	QSB25	99235	Taller Tractores Mina
24	GRIFO 2	Quincy	QSB30	BU1107290012	Taller Tractores Mina

*Fuente: (Elaboración Propia)*

### 3.4. Análisis de criticidad

Tabla 3.3. Matriz de Criticidad de compresores estacionarios Toquepala

EQUIPO	A. Frecuencia	B. Imp. Seg.	C. Imp. Amb.	D. Niv. Prod.	E. TPRR	F. Imp. Prod	G. Imp. Mantto.	CONSECUENCIA	PUNTAJE	CRITICIDAD
CPT DLIX	4	4	4	6	4	4	5	109	436	ALTA
CPT 15	3	4	4	6	4	4	5	109	327	ALTA
CPT 11	3	2	4	4	4	4	5	75	225	MEDIA
MTCP 001	3	4	4	4	4	4	3	75	225	MEDIA
CPT 9	2	6	1	4	4	6	5	108	216	MEDIA
MTCP 005	3	4	4	6	2	4	3	59	177	MEDIA
MTCP 002	4	4	1	4	2	4	3	40	160	MEDIA
CPTMF 001	2	2	1	6	2	6	5	80	160	MEDIA
CPTMF 002	2	2	1	6	2	6	3	78	156	BAJA
MTCP 006	2	4	4	4	4	4	3	75	150	BAJA
CPT 14	3	2	4	4	2	4	3	41	123	BAJA
CPT 12	3	2	4	4	2	4	3	41	123	BAJA
MTCP 003	2	4	1	6	2	4	3	56	112	BAJA
CPT 16	1	6	4	4	4	6	5	111	111	BAJA
CPT 10	1	6	1	4	4	6	5	108	108	BAJA
MTCP 004	1	4	4	6	4	4	3	107	107	BAJA
CPT 2M	3	2	4	4	4	1	5	27	81	BAJA
GRIFO 1	2	2	1	2	2	4	3	22	44	BAJA
GRIFO 2	2	2	1	2	2	4	3	22	44	BAJA
CPT 13	1	2	4	1	1	4	3	13	13	BAJA
SCHULZ	1	1	1	2	2	1	3	9	9	BAJA
CPT 1	1	1	1	2	2	1	3	9	9	BAJA
CPT 2	1	1	1	2	2	1	3	9	9	BAJA
CPT 5	1	1	1	2	2	1	3	9	9	BAJA

Fuente: (Equipo RCM)

Según la tabla 3.3 podemos observar que de la flota de compresores sujetos a evaluación el compresor CPT 15 y CPT DLIX son los compresores de mayor criticidad, que requieren una reestructuración de los planes de mantenimiento para mejorar su disponibilidad y confiabilidad, todo ello fue hallada según criterios específicos de las personas involucradas en el área detallada en el Anexo 09.

### 3.5. Activos críticos para aplicación RCM

Como se puede apreciar en la figura 3.4, los compresores CPT DLIX y CPT 15 son los equipos más críticos de la planta a los cuales se les deberá realizar la elaboración de planes de mantenimiento basados en el RCM.

**Tabla 3.4.** Equipos críticos identificados para aplicar RCM

EQUIPO	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	ÁREA	PUNTAJE	CRITICIDAD
CPT DLIX	ATLAS COPCO	GA 160	S989423 01	CONCENTRADORA	436	ALTA
CPT 15	ATLAS COPCO	GR 200	AIF 091617	CONCENTRADORA	327	ALTA

*Fuente: (Elaboración Propia)*

### 3.5.1. Contexto operacional y fichas Técnicas de los activos críticos

#### 3.5.1.1. Compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 200):

<span style="margin-left: 20px;"><b>FICHA TÉCNICA - COMPRESOR CPT DLIX</b></span>																																	
<b>DESCRIPCION DEL EQUIPO</b>																																	
<b>COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO REFRIGERADO POR AIRE</b>																																	
<b>DATOS GENERALES</b>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Marca:</td> <td>ATLAS COPCO</td> <td style="width: 25%;">Código SPCC (SAP):</td> <td>CPTZTDLIX</td> </tr> <tr> <td>Tipo:</td> <td>TORNILLO LUBRICADO</td> <td>Ubicación Técnica:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Modelo:</td> <td>GA 160</td> <td>Cod. Activo SPCC:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Año de Fabricación:</td> <td>2004</td> <td>Ubicación:</td> <td>EDIFICIO CHANCADO DEPOSITOS LIXIVIAIBLES</td> </tr> <tr> <td>N° Serie:</td> <td>S989423 01</td> <td>Área:</td> <td>DEPOSITOS LIXIVIAIBLES</td> </tr> <tr> <td>Redundancia:</td> <td>NO</td> <td>Contacto (N° cel):</td> <td>Oscar López</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Horometro:</td> <td>89503</td> </tr> </table>	Marca:	ATLAS COPCO	Código SPCC (SAP):	CPTZTDLIX	Tipo:	TORNILLO LUBRICADO	Ubicación Técnica:		Modelo:	GA 160	Cod. Activo SPCC:		Año de Fabricación:	2004	Ubicación:	EDIFICIO CHANCADO DEPOSITOS LIXIVIAIBLES	N° Serie:	S989423 01	Área:	DEPOSITOS LIXIVIAIBLES	Redundancia:	NO	Contacto (N° cel):	Oscar López			Horometro:	89503					
Marca:	ATLAS COPCO	Código SPCC (SAP):	CPTZTDLIX																														
Tipo:	TORNILLO LUBRICADO	Ubicación Técnica:																															
Modelo:	GA 160	Cod. Activo SPCC:																															
Año de Fabricación:	2004	Ubicación:	EDIFICIO CHANCADO DEPOSITOS LIXIVIAIBLES																														
N° Serie:	S989423 01	Área:	DEPOSITOS LIXIVIAIBLES																														
Redundancia:	NO	Contacto (N° cel):	Oscar López																														
		Horometro:	89503																														
<b>DATOS TECNICOS</b>																																	
<b>Compresor</b>																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Presión de Trabajo (Psi):</td><td>98</td></tr> <tr><td>Presión Máx:</td><td>108.8</td></tr> <tr><td>Flujo Nominal (cfm):</td><td>989.5</td></tr> <tr><td>Potencia Ingreso (Kw):</td><td>150</td></tr> <tr><td>Rpm:</td><td>1790</td></tr> <tr><td>Peso:</td><td>1686 LIBRAS / 765 kg</td></tr> <tr><td>Nivel Ruido (dB):</td><td>78</td></tr> <tr><td>Capacidad Aceite (l):</td><td>100</td></tr> <tr><td>Refrigeración Tipo:</td><td>VENTILACIÓN POR AIRE</td></tr> <tr><td>Transmisión:</td><td>DIRECTA</td></tr> <tr><td>N° Etapas:</td><td>1 ETAPA</td></tr> <tr><td>Tipo de Controlador:</td><td>ELECTRONIKON MK4</td></tr> <tr><td>Temp. Descarga (°C):</td><td>64</td></tr> <tr><td>Temp. Inyección (°C):</td><td>46</td></tr> <tr><td>Rango de Presión</td><td>85 - 103</td></tr> <tr><td>Observaciones:</td><td></td></tr> </table>	Presión de Trabajo (Psi):	98	Presión Máx:	108.8	Flujo Nominal (cfm):	989.5	Potencia Ingreso (Kw):	150	Rpm:	1790	Peso:	1686 LIBRAS / 765 kg	Nivel Ruido (dB):	78	Capacidad Aceite (l):	100	Refrigeración Tipo:	VENTILACIÓN POR AIRE	Transmisión:	DIRECTA	N° Etapas:	1 ETAPA	Tipo de Controlador:	ELECTRONIKON MK4	Temp. Descarga (°C):	64	Temp. Inyección (°C):	46	Rango de Presión	85 - 103	Observaciones:		
Presión de Trabajo (Psi):	98																																
Presión Máx:	108.8																																
Flujo Nominal (cfm):	989.5																																
Potencia Ingreso (Kw):	150																																
Rpm:	1790																																
Peso:	1686 LIBRAS / 765 kg																																
Nivel Ruido (dB):	78																																
Capacidad Aceite (l):	100																																
Refrigeración Tipo:	VENTILACIÓN POR AIRE																																
Transmisión:	DIRECTA																																
N° Etapas:	1 ETAPA																																
Tipo de Controlador:	ELECTRONIKON MK4																																
Temp. Descarga (°C):	64																																
Temp. Inyección (°C):	46																																
Rango de Presión	85 - 103																																
Observaciones:																																	
<b>FUNCION PRINCIPAL DEL EQUIPO, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE Y PROTECCIÓN</b>																																	
<p><b>FUNCIÓN:</b></p> <p>Generar aire comprimido a no menor de 85 Psi para el accionamiento de pistones, lubricación de rodamientos de la chancadora del Edificio Depósitos lixiviables</p> <hr/> <p><b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA:</b></p> <p>Compresor de aire - Tanque pulmón - Sistema neumático del Edificio Chancado</p> <hr/> <p><b>PROTECCIÓN:</b> No tiene protección</p>																																	

**Figura 3.2.** Ficha técnica compresor CPT DLIX  
*Fuente: (Base de Datos Crubher - Toquepala)*

**Contexto operacional.-** El compresor CPT DLIX se encuentra ubicado en el Edificio Chancado (Piso 05) del área Depósitos Lixiviables de la unidad minera Toquepala. Se observa que en el lugar hay presencia de polvo constante debido a que un piso arriba hay camiones provenientes del tajo descargando mineral.



**Figura 3.3.** Ubicación compresor CPT DLIX  
*Fuente: (Elaboración Propia)*

La función principal es generar aire libre de aceite a no menos de 85 Psi para todo el sistema neumático y engrase de rodamientos del Edificio Chancado, se debe tener especial consideración porque no tiene un equipo back up, si el equipo fallara inesperadamente solo se tiene 45 minutos para que empiece a parar las fajas y seguidamente la chancadora, para realizar mantenimientos programados se cuenta con un compresor portátil que se encuentra situado a 20 minutos del lugar.

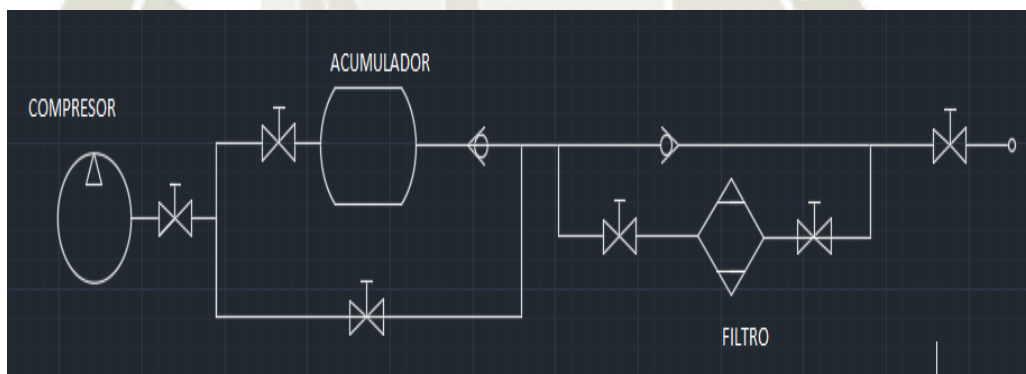
### 3.5.1.2. Compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200):

SOUTHERN COPPER		<b>FICHA TÉCNICA - COMPRESOR GR 200</b>		CRUBHER	
<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>					
<p><b>COMPRESOR A TORNILLO LUBRICADO DE 2 ETAPAS Y ALTA PRESIÓN</b></p>					
<b>DATOS GENERALES</b>					
Marca:	ATLAS COPCO	Código SPCC (SAP):	CPTZT 15		
Tipo:	TORNILLO LUBRICADO	Ubicación Técnica:			
Modelo:	GR 200	Cod. Activo SPCC:			
Año de Fabricación:	2004	Ubicación:	FILTROS LÁROX - PF 96		
N° Serie	AIF 091617	Área:	CONCENTRADORA		
Redundancia:	NO	Contacto (N° cel)	Carlos Mendez		
		Horometro:	80005		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>					
<b>Compresor</b>					
Presión de Trabajo (psi):	279				
Presión Máx (psi):	294				
Flujo Nominal (cfm):	8.14				
Potencia Ingreso (Kw):	185				
Rpm:	1788				
Peso (Kg):	3547				
Nivel Ruido (dB):	78				
Capacidad Aceite (l):	100				
Refrigeración Tipo:	AIRE				
Transmisión:	DIRECTA , FLEXIBLE				
N° Etapas:	2				
Tipo de Controlador:	CONTROLADOR ELECTRÓNICO MK III				
Temp. Descarga Elem 1:	100				
Temp. Descarga Elem 2:	80				
Temp. Inyección:	-				
Rango de Presión (psi):	190 - 279				
Observaciones:	Alta presión				
<b>FUNCION PRINCIPAL DEL EQUIPO, DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE Y PROTECCIÓN</b>					
<b>FUNCIÓN:</b>					
LA FUNCIÓN PRINCIPAL DEL EQUIPO ES SUMINISTRAR AIRE A NO MENOR DE 180 PSI PARA EL SECADO DE MINERAL MEDIANTE EL FILTRO PF 96					
<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A:</b>					
COMPRESOR DE AIRE - FILTROS DE LÍNEAS - TANQUE PULMÓN					
RED DE AIRE PARA LOS FILTROS					
<b>PROTECCIÓN:</b> NO TIENE					
					
					

**Figura 3.4.** Ficha Técnica de Compresor CPT 15

*Fuente: (Base de Datos Crubher – Toquepala)*

**Contexto operacional.-** El compresor CPT 15 se encuentra ubicado en el área de Filtros Larox, alimenta específicamente al Filtro Pf 96 en el proceso de secado final del concentrado pero también apoya al Filtro Pf 60, el equipo no debe suministrar presión menor a 180 Psi. Se debe tener consideración porque no se tiene otro equipo que pueda suplir su función (Alta presión). Para realizar mantenimientos programados se tiene que esperar paradas totales de los filtros Pf 60 y Pf 96 los cuales se realizan cada 3 meses o esperar limpiezas las cuales deben ser programadas, se tiene que garantizar la total confiabilidad para que no se den las paradas inesperadas porque se detendría el proceso de secado y por ende se retrasarían las salidas de los vagones con concentrado final rumbo a la fundición de Ilo, en la figura 3.5 se muestra el diagrama de instalación para el suministro de aire.



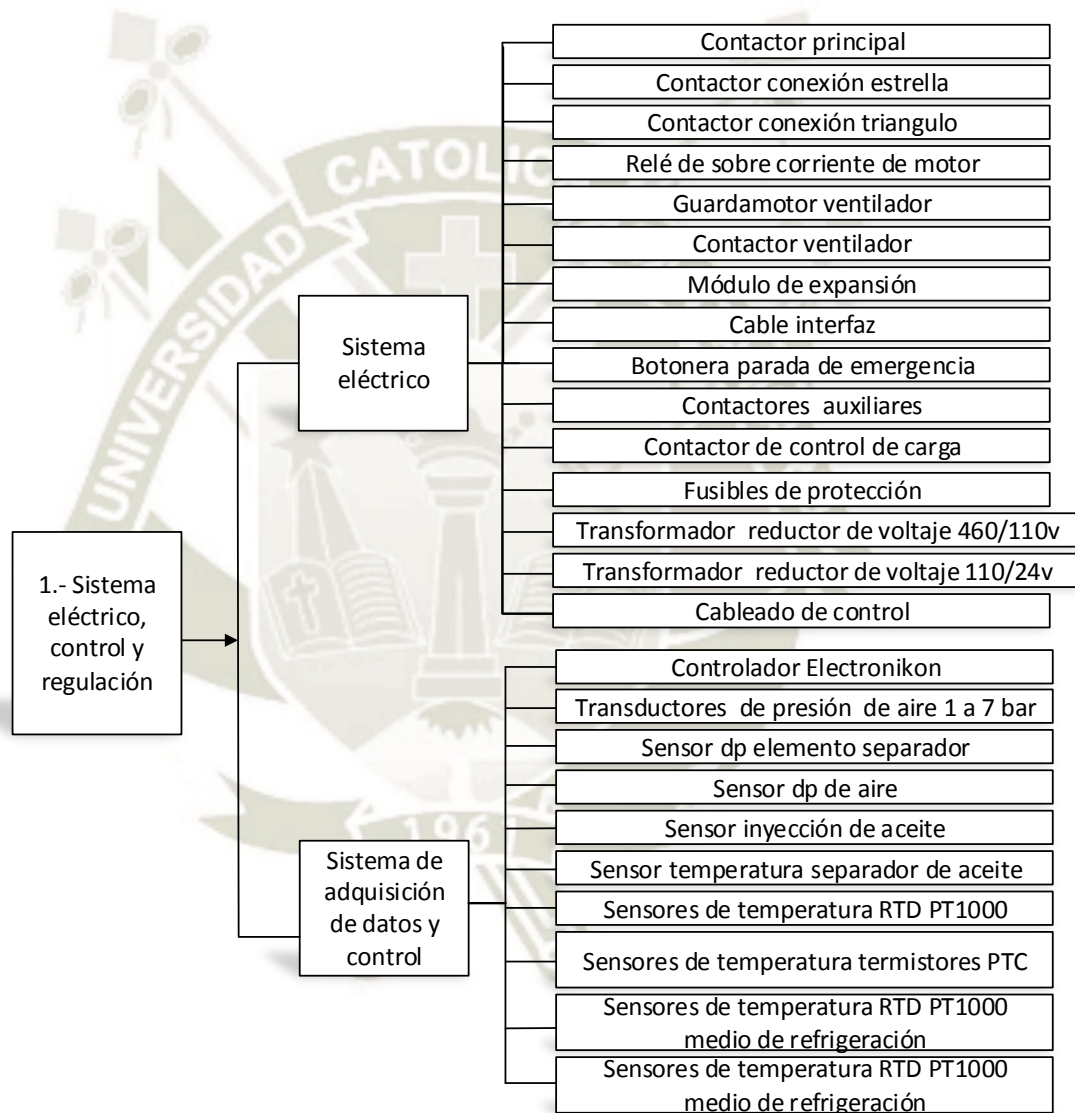
**Figura 3.5.** Diagrama de suministro de aire para Filtro Pf 96

*Fuente: (Elaboración propia)*

### 3.6. Implementación de RCM para Compresor CPT DLIX

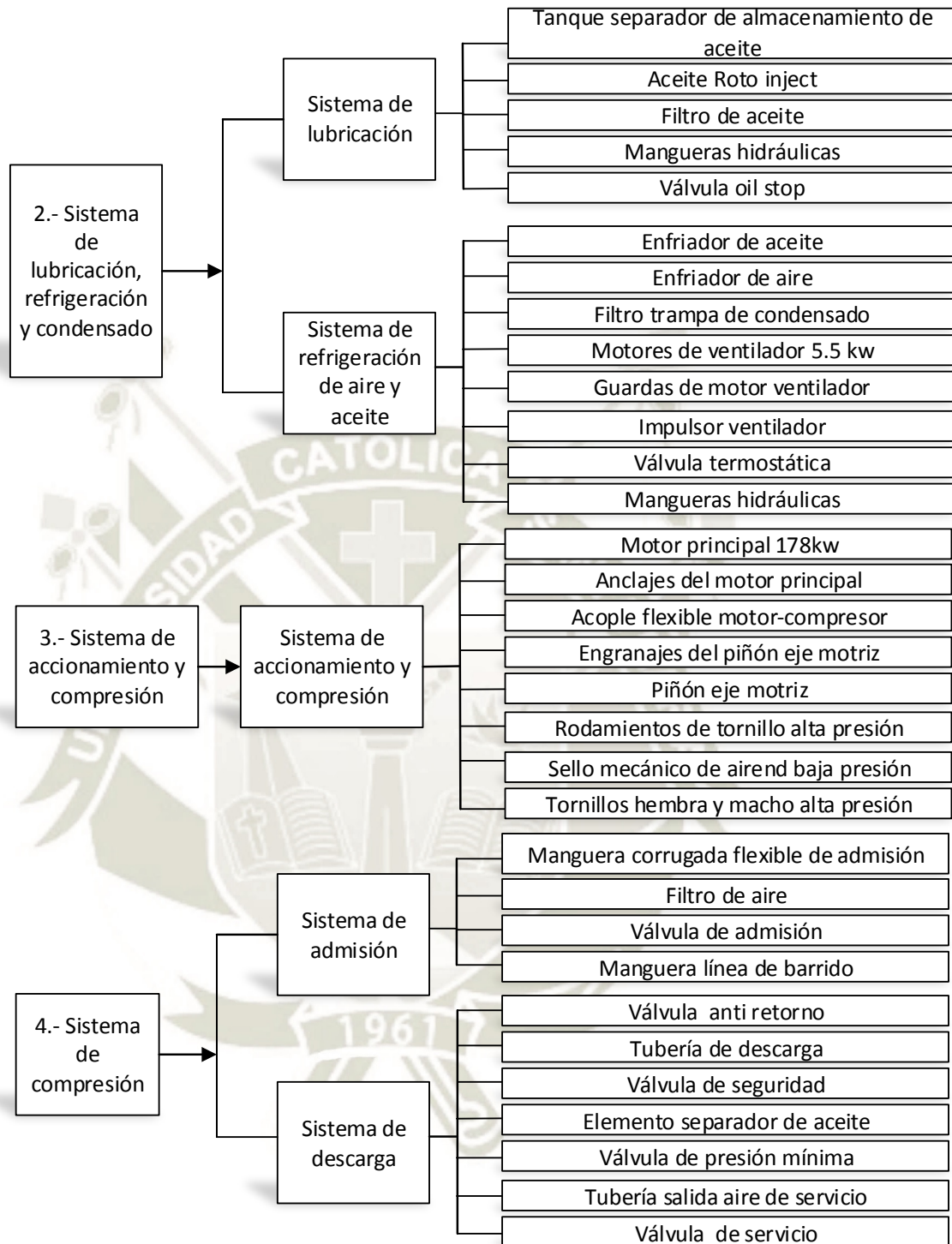
#### 3.6.1. Análisis AMEF – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

A continuación se muestran los sistemas, sub-sistemas y componentes mantenibles del equipo.



**Figura 3.6.** Descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT DLIX

*Fuente: (Elaboración propia)*



**Figura 3.7.** Continuación descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT DLIX

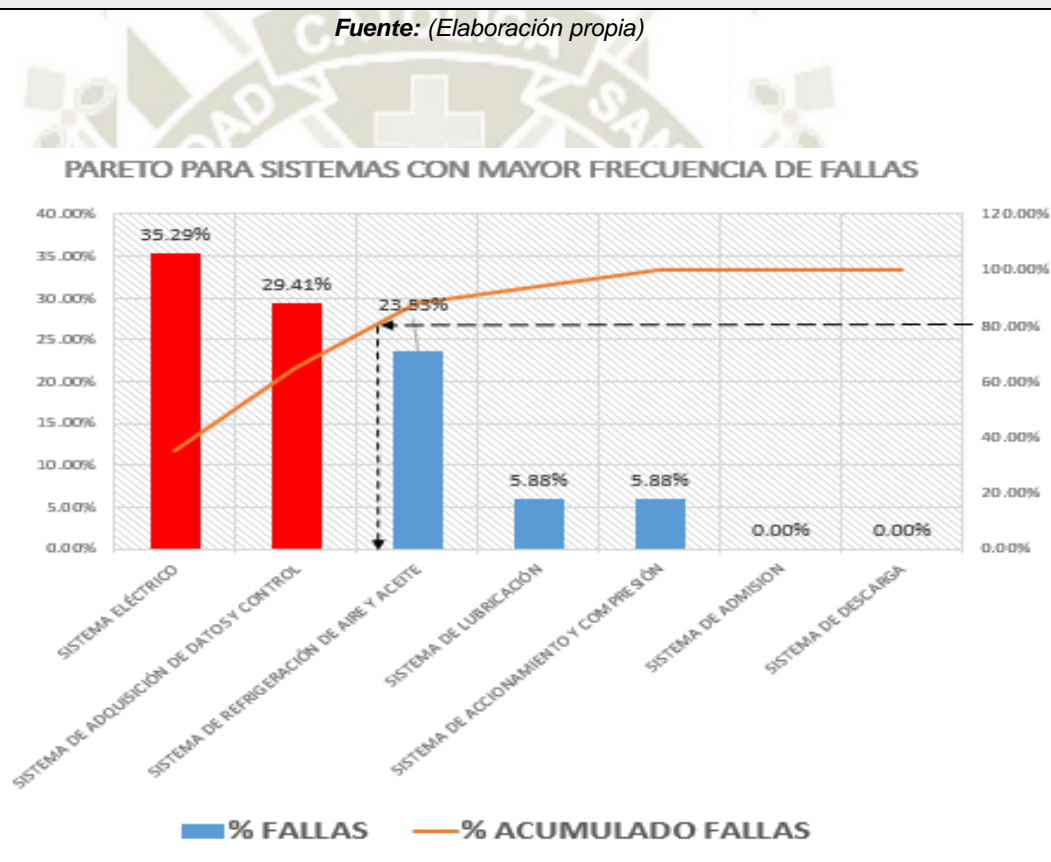
*Fuente: (Elaboración propia)*

Seguidamente de los sistemas expuestos se hará la evaluación según la frecuencia de fallos por subsistemas para poder encontrar los más críticos, para este caso se analizará con Pareto y así poder mejorar un 80% las fallas con solo un 20% de trabajo.

**Tabla 3.5.** Cantidad de fallas y procesamiento de datos para Pareto compresor CPT DLIX

SUB SISTEMAS	N° FALLAS 2017-2018	ACUMULADO FALLAS	% FALLAS	% ACUMULADO FALLAS
SISTEMA ELÉCTRICO	6	6	35.29%	35.29%
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	5	11	29.41%	64.71%
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE	4	15	23.53%	88.24%
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	1	16	5.88%	94.12%
SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN	1	17	5.88%	100.00%
SISTEMA DE ADMISION	0	17	0.00%	100.00%
SISTEMA DE DESCARGA	0	17	0.00%	100.00%

*Fuente: (Elaboración propia)*



**Figura 3.8.** Diagrama de Pareto compresor CPT DLIX, sistemas críticos

*Fuente: (Elaboración propia)*

En la Figura 3.8 se puede visualizar que los sistemas que deberían ser analizados de manera primordial son el sistema eléctrico y el sistema de adquisición de datos e instrumentación.

### 3.6.2. AMEF para compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

Tabla 3.6. Hoja de información RCM, AMEF sistema eléctrico

EQUIPO: COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE UNA ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GA 160		FACILITADO POR: JOEL LUNA TURPO		N° AMEF: 1/2	
SISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN		REVISADO POR: OPERADOR DE CONTRATO		FECHA:	
SUBSISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO					
	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de arranque del motor eléctrico después de entrar en parada programada y después que la presión baje a 95 psi	A No da paso de arranque al motor	1	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			2	Contactador estrella con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			3	Contacto auxiliar principal no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo
			4	Contacto auxiliar estrella no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo
			5	Fusibles de protección quemados	Parada del Equipo, se requiere 30 min para cambio de fusibles
			6	Parada de emergencia activada	Parada del equipo por parada de emergencia activada, se requiere 40 minutos para evaluar estado
			7	Falla en el módulo de expansión	Parada del equipo, no se emite señal al motor. Se requiere 2 horas para cambio de módulo si es que hay repuesto disponible
			8	Baja tensión en la red principal	Parada del equipo, se requiere verificación de tensión principal suministrada por el MCC, tiempo requerido será de 1 hora
			9	Sobre temperatura en el motor	Parada inmediata de motor por temperatura alta de motor, se requiere 40 minutos para evaluación y limpieza de sensor.
	B No completa el ciclo de arranque del motor	10	Contactador delta con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos	
		11	Contacto auxiliar delta no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo	
		12	Terminales de acometida de motor sueltos	Parada por sobre corriente en motor, se requiere 30 minutos para verificar estado y reajustar	
		13	Contactador estrella no desenclava	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos	

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.7.** Continuación hoja de información RCM, AMEF sistema eléctrico

EQUIPO: COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE UNA ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GA 160		FACILITADO POR: JOEL LUNA TURPO		N° AMEF: 1/2	
SISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN		REVISADO POR: OPERADOR DE CONTRATO		FECHA:	
SUBSISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO					
	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
2	Llevar corriente no mayor a 167 Amperios al motor eléctrico	A  El motor tripea con valores de corrientes menores a 167 Amperios	1	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Equipo no responde, requiere de 3 horas para verificación de conectores , reajuste y limpieza
			2	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo por alta temperatura, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			3	Relé de sobre corriente de motor principal disparado	Parada del equipo. Se requiere 1 hora para verificación de estado de Relé
			4	Relé de sobre corriente de motor principal con setteo de menor rango	Parada del equipo. Se requiere 30 minutos para verificar y cambiar rango
		B  El motor tripea con un valor mayor a 167 Amperios	5	Motor principal quemado	Parada del equipo. Se requiere 1 día cambio de motor teniendo el repuesto
			6	Válvula de admisión está iniciando abierta	Parada del equipo por sobre corriente, Se requiere 2 horas para realizar limpieza o evaluación de resorte de válvula
			7	Tornillos amarrados	Parada del equipo, Se requiere 2 días para cambio de airend.
			8	Relé de sobre corriente de motor principal con bobina quemada	Parada del equipo por temperatura alta de motor y rueda anormal. Se requiere 6 horas para la evaluación del motor
3	Llevar corriente no mayor de 7.2 amperios a los motores de ventiladores	A  Guardamotor tripea al detectar valores menores a 7.2 Amperios	1	Guardamotor con rango de setteo menor al deseado	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 30 minutos para verificación de rango
			2	Conectores de guardamotor sueltos	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 20 minutos para reajuste.
		B  Guardamotor tripea en funcionamiento	3	Transformador quemado	Parada de todo el sistema de control. Se requiere 2 horas para cambio de transformador
			4	Motor ventilador quemado	Parada del compresor por temperatura de elemento alta, se requiere 3 horas para cambio de motor
			5	Impulsor ventilador trabajo	Parada del compresor por temperatura de elemento alta, se requiere 3 horas para cambio de impulsor
			6	Falso contacto en acometidas al motor ventilador	Parada del equipo por sobre corriente, se requiere 40 minutos para reajuste
			7	Contactador motor ventilador con contactos desgastados	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 1 hora para cambio de contactor.

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.8.** Hoja de información RCM, AMEF sistema adquisición de datos y control

EQUIPO: COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE UNA ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GA 160		FACILITADO POR: JOEL LUNA TURPO		N° AMEF: 2/2	
SISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN		REVISADO POR: OPERADOR DE CONTRATO		FECHA:	
SUBSISTEMA: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL					
	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de carga y descarga del compresor entre 95 y 105 Psi	A  El controlador Electronikon manda señal para que el compresor cargue a 95 psi pero no se acciona mecánicamente	1	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para evaluación y cambio de válvula solenoide
			2	Válvula de admisión trabada	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión
			3	Válvula de admisión con resorte roto	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para cambio de resorte de válvula
			4	Cámara de válvula de admisión no alivia	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión
			5	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor no carga aire, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga
			6	Mangueras neumáticas de control obstruidas	Compresor no carga aire, se requiere 2 horas para verificación y/o cambio de mangueras
	B  El controlador Electronikon manda señal para que el compresor descargue a 105 psi pero no se acciona mecánicamente	7	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor no carga aire, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga	
		8	Válvula de admisión trabada	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión	
		9	Válvula solenoide de carga genera falso contacto	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 1 hora para limpieza de conectores	
		10	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere de 2 horas para evaluación y cambio de válvula solenoide	
		11	Mangueras neumáticas de control obstruidas	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 2 horas para verificación y/o cambio de mangueras	

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.9.** Continuación hoja de información RCM, AMEF sistema adquisición de datos y control

EQUIPO: COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE UNA ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GA 160		FACILITADO POR: JOEL LUNA TURPO		N° AMEF: 2/2		
SISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN		REVISADO POR: OPERADOR DE CONTRATO		FECHA:		
SUBSISTEMA: SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de carga y descarga del compresor entre 95 y 105 Psi	C	El controlador no manda ninguna señal de carga o descarga	12	Controlador electronikon desconfigurado	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 6 horas para verificación y/o cambio de controlador
				13	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga
				14	Botoneras de controlador electronikon desgastados	Compresor no responde a ninguna orden, se requiere 3 horas para realizar mantenimiento.
				15	Sensor de temperatura del elemento 1 detecta valor mayor a 120°C	Parada del equipo por temperatura alta en elemento 1, Se requiere 2 horas para evaluación y/o cambio de sensor.
				16	Sensor de temperatura del elemento 2 detecta valor mayor a 120°C	Parada del equipo por temperatura alta en elemento 2, Se requiere 2 horas para evaluación y/o cambio de sensor.
				17	Sensor de temperatura de motor RTD con valor alto	Parada del equipo por temperatura alta de motor, Se requiere 1 horas para evaluación, limpieza y/o cambio de sensor.
				18	Sensor de elemento detecta que separador tiene Dp mayor a 1.1 bar	Parada del equipo, filtros elemento separador saturado. Se requiere de 1 hora para verificar estado de sensor Dp o 3 horas para el cambio del elemento separador si requiere.
				19	Sensor presión de inyección de aceite detecta valor menor a -0.011 bar	Parada del equipo, filtros de aceite saturados. Se requiere de 1 hora para verificación del sensor o para cambio de filtros de aceite.

*Fuente: (Equipo RCM)*

### 3.6.3. Análisis de prioridad (NPR) para modos de falla – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

Para realizar una clasificación se los modos de fallas críticos procederemos a realizarlo mediante la clasificación por el criterio NPR.

**Tabla 3.10.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico, CPT DLIX

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.A.2	Contactador estrella con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.A.3	Contacto auxiliar principal no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.A.4	Contacto auxiliar estrella no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.A.5	Fusibles de protección quemados	1	5	6	30	ACEPTABLE
1.A.6	Parada de emergencia activada	1	5	4	20	ACEPTABLE
1.A.7	Falla en el módulo de expansión	7	5	4	140	DESEABLE
1.A.8	Baja tensión en la red principal	8	3	6	144	DESEABLE
1.A.9	Sobre temperatura en el motor	6	8	4	192	INACEPTABLE
1.B.10	Contactador delta con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.B.11	Contacto auxiliar delta no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.B.12	Terminales de acometida de motor sueltos	1	5	4	20	ACEPTABLE
1.B.13	Contactador estrella no desenclava	5	8	3	120	DESEABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.11.** Continuación, clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico, CPT DLIX

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
2.A.1	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	5	9	135	DESEABLE
2.A.2	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	5	5	6	150	DESEABLE
2.A.3	Relé de sobre corriente de motor principal disparado	5	3	4	60	ACEPTABLE
2.A.4	Relé de sobre corriente de motor principal con setteo de menor rango	5	1	4	20	ACEPTABLE
2.A.5	Motor principal quemado	5	2	7	70	ACEPTABLE
2.A.6	Válvula de admisión está iniciando abierta	5	7	4	140	DESEABLE
2.A.7	Tornillos amarrados	5	2	7	70	ACEPTABLE
2.A.8	Relé de sobre corriente de motor principal con bobina quemada	5	3	5	75	ACEPTABLE
3.A.1	Guardamotor con rango de setteo menor al deseado	7	1	4	28	ACEPTABLE
3.A.2	Conectores de guardamotor sueltos	8	3	7	168	INACEPTABLE
3.A.3	Transformador quemado	5	3	5	75	ACEPTABLE
3.A.4	Motor ventilador quemado	5	3	7	105	DESEABLE
3.A.5	Impulsor ventilador trabajo	5	3	7	105	DESEABLE
3.A.6	Falso contacto en acometidas al motor ventilador	4	4	7	112	DESEABLE
3.A.7	Contactador motor ventilador con contactos desgastados	7	8	4	224	INACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.12.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema de adquisición de datos y control, CPT DLIX

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	3	8	5	120	DESEABLE
1.A.2	Válvula de admisión trabada	4	6	6	144	DESEABLE
1.A.3	Válvula de admisión con resorte roto	6	3	8	144	DESEABLE
1.A.4	Cámara de válvula de admisión no alivia	4	6	7	168	INACEPTABLE
1.A.5	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	7	7	147	DESEABLE
1.A.6	Mangueras neumáticas de control obstruidas	7	5	8	280	INACEPTABLE
1.B.7	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	7	7	147	DESEABLE
1.B.8	Válvula de admisión trabada	4	6	6	144	DESEABLE
1.B.9	Válvula solenoide de carga genera falso contacto	3	6	7	126	DESEABLE
1.B.10	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	3	8	7	168	INACEPTABLE
1.B.11	Mangueras neumáticas de control obstruidas	7	5	8	280	INACEPTABLE
1.C.12	Controlador Electronikon des configurado	7	3	8	168	INACEPTABLE
1.C.13	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	7	5	8	280	INACEPTABLE
1.C.14	Botoneras de controlador Electronikon desgastados	3	6	8	144	DESEABLE
1.C.15	Sensor de temperatura del elemento 1 detecta valor mayor a 120°C	4	5	6	120	DESEABLE
1.C.16	Sensor de temperatura del elemento 2 detecta valor mayor a 120°C	4	5	6	120	DESEABLE
1.C.17	Sensor de temperatura de motor RTD con valor alto	4	6	5	120	DESEABLE
1.C.18	Sensor de elemento detecta que separador tiene Dp mayor a 1.1 bar	3	6	5	90	ACEPTABLE
1.C.19	Sensor presión de inyección de aceite detecta valor menor a -0.011 bar	3	6	5	90	ACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

### 3.6.4. Cálculo para definir periodo mínimo de intervención al compresor CPT

#### DLIX

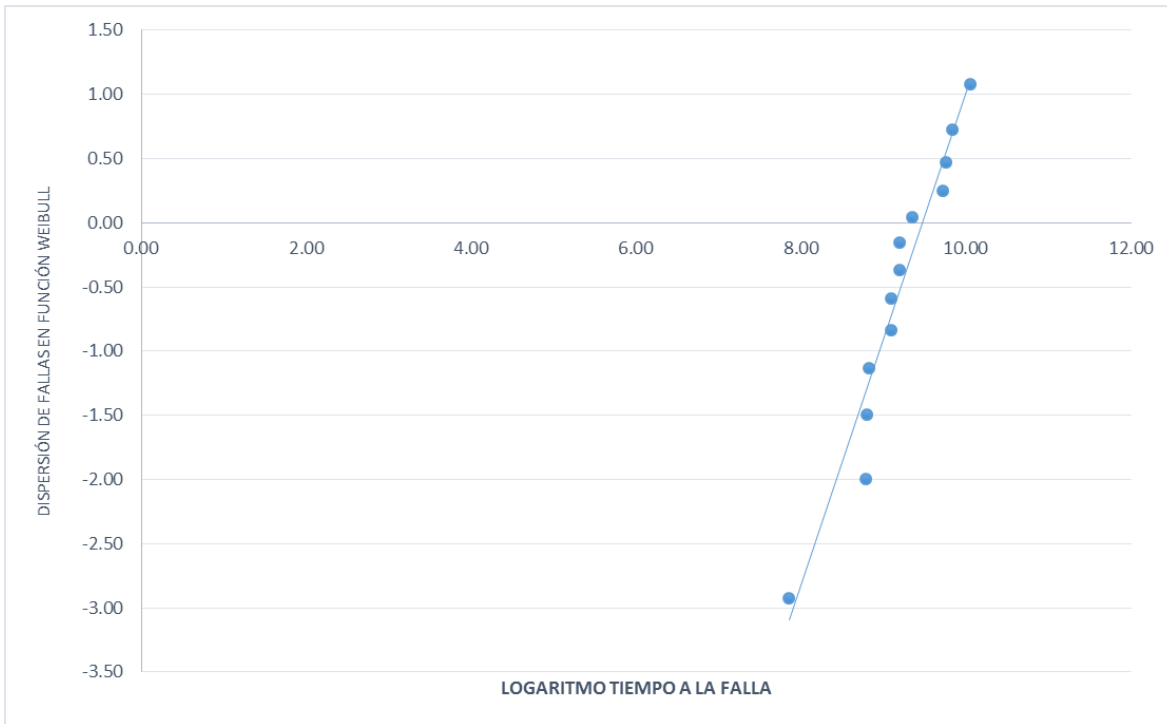
De la data que se tiene en el Anexo 01, Se toman las horas acumuladas para la falla en general del compresor GA160 (CPT DLIX)

**Tabla 3.13.** Horas de Fallas en el compresor CPT DLIX y datos para el ploteo de probabilidades.

Nr de falla	TBF	F(T)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))
1	2579	5.22%	7.86	-2.93
2	6575	12.69%	8.79	-2.00
3	6623	20.15%	8.80	-1.49
4	6828	27.61%	8.83	-1.13
5	8898	35.07%	9.09	-0.84
6	8905	42.54%	9.09	-0.59
7	9863	50.00%	9.20	-0.37
8	9905	57.46%	9.20	-0.16
9	11450	64.93%	9.35	0.05
10	16605	72.39%	9.72	0.25
11	17309	79.85%	9.76	0.47
12	18648	87.31%	9.83	0.72
13	23226	94.78%	10.05	1.08

*Fuente: (Elaboración propia)*

- Se observa que las fallas tienen una tendencia lineal indicando que solo se trabajarán con 2 parámetros de Weibull



**Figura 3.9.** Ploteo de probabilidades de fallas y tendencia

*Fuente: (Elaboración propia)*

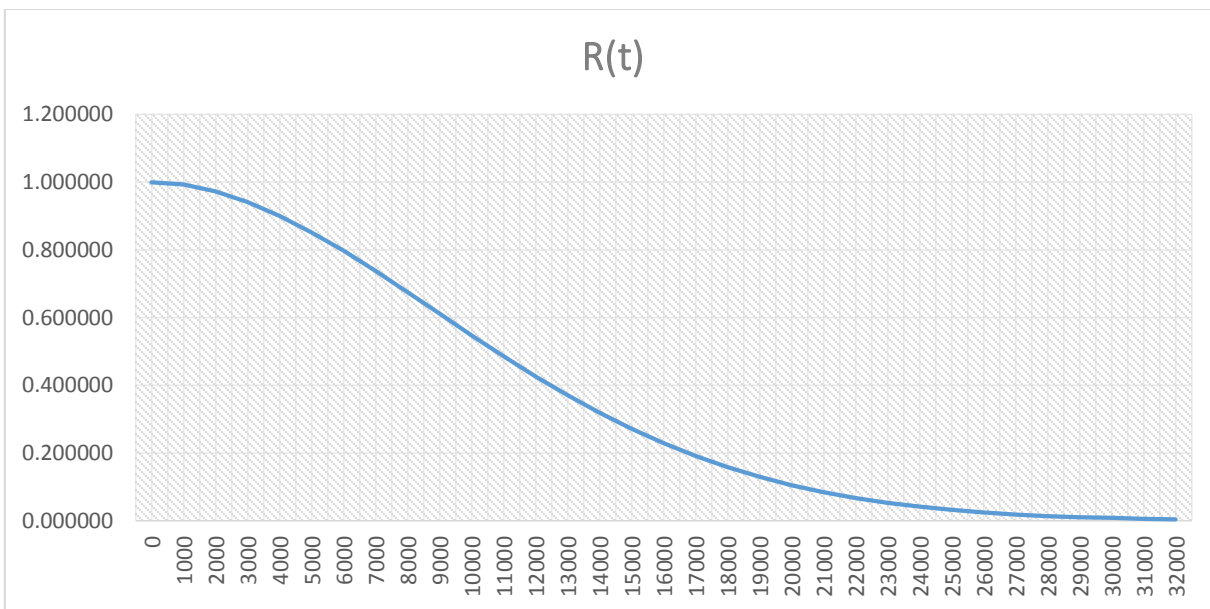
- Se hallan los parámetros de Weibull, el coeficiente de correlación y la diferencia con el valor máximo.

**Tabla 3.14.** Parámetros de Weibull y coeficientes para linealizar.

$\beta$	1.9
$\gamma$	0
$\eta$	13047.60
Coef Corr	0.9711
R	1
Diferencia	0.0289

*Fuente: (Elaboración propia)*

- Se grafica la tendencia de Confiabilidad



**Figura 3.10.** Gráfica de confiabilidad para compresor CPT DLIX  
*Fuente: (Elaboración propia)*

- Según la figura 3.10 se considera que el tiempo de intervención debería ser menor a 4013.393, según consenso con el grupo de trabajo se determina que la frecuencia sea cada 4000 horas puesto que es un múltiplo del valor mínimo de frecuencia de mantenimientos

*Periodo intervalo para un  $t = t_o$  con una confiabilidad  $R(t)$*

$$t_o = \gamma + \eta * \ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}}$$

**Tabla 3.15.** Datos para la estimación de periodo de intervención al compresor CPT DLIX

R(t)	90%	Horas Trabajo /día	Días	Semanas	Meses
Periodo intervención	4013.393	24	168	24	5.5

*Fuente: (Elaboración propia)*

### 3.6.5. Hoja de decisión RCM – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

Para las hojas de decisión RCM en adelante se debe tener en cuenta que “R.C.” es Reacondicionamiento cíclico, “S.C.” es Sustitución cíclica, “A.C.” son Acciones correctivas y “T.C.” son tareas correctivas.

**Tabla 3.16.** Hoja de decisión RCM II, sistema eléctrico compresor CPT DLIX

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIA						ACCION A FALTA DE					TIPO DE TAREA	FACILITADOR: JOEL LUNA TURPO	SUBSISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO COMPRESOR	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR									
			H	S		E		O	H1	H2	H3	S1	S2						S3	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5
F	FF	FM												TAREA PROPUESTA													
1	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 4000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.	4000 h	Elect.												
1	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 4000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.	4000 h	Elect.												
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.	4000 h	Elect.												
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.	4000 h	Elect.												
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N	-	-	A.C.	Cambiar fusibles cuando falle.	-	Elect.												
1	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Inspeccionar conexiones de la parada de emergencia y realizar prueba manual	4000 h	Elect.												
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N	-	-	A.C.	Cambiar módulo de expansión, Se debe mantener en stock	-	Elect.												
1	A	8	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Medir tensión de ingreso principal cada 500 horas	500 h	Elect.												
1	A	9	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Tomar temperatura de motor cada 500 horas y llevar un control de tendencias	500 h	Elect.												
1	B	10	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 4000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.	4000 h	Elect.												
1	B	11	S	N	N	S	N	N	S	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.	4000 h	Elect.												
1	B	12	S	N	N	S	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste de terminales de motor principal	8000 h	Elect.												

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.17.** Continuación, hoja de decisión RCM II, sistema eléctrico compresor CPT DLIX

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUCIA				ACCION A FALTA DE						TIPO DE TAREA	FACILITADOR: JOEL LUNA TURPO	SUBSISTEMA: SISTEMA ELÉCTRICO COMPRESOR	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H				H1	H2	H3								
F	FF	FM	S	N	N	S	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4		
							E										
2	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon	4000 h	Elect.	
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar contactor cuando se presente condición, se debe tener el stock	-	Elect.	
2	A	3	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar relé de sobre corriente motor cada 4000 h	4000 h	Elect.	
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corregir setteo de relé	-	Elect.	
2	A	5	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones de manera trimestral	3 meses	Mec.	
2	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Revisar estado del resorte de la válvula de admisión	4000 h	Mec.	
2	A	7	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones al airend de manera trimestral	3 meses	Mec.	
2	A	8	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar relé de sobre corriente motor cada 4000 h	4000 h	Elec.	
3	A	1	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corregir setteo de guardamotor o verificar si es el adecuado	-	Mec.	
3	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Reajustar conectores de guardamotor ventilador cada 4000 h	4000 h	Elec.	
3	A	3	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar transformador	-	Elec.	
3	A	4	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar a condición, se recomienda tener en stock		Mec.	
3	A	5	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar limpieza de álabes de ventilador y realizar inspección visual de condiciones	2000 h	Elec.	
3	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste de terminales de motor principal	8000 h	Elec.	
3	A	7	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C	Realizar cambio de contactor de ventilador cada 16000 h	16000 h	Elec.	

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.18.** Hoja de decisión RCM, sistema de adquisición de datos y control CPT DLIX

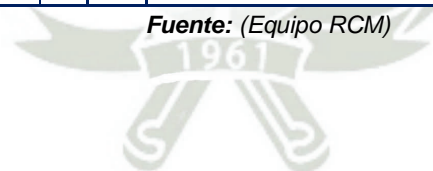
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS							ACCION A FALTA DE			TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			S		H1	H2	H3	S1	S2					S3	SUBSISTEMA:		
F	FF	FM	H	E			O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar solenoide de carga cada 8000 h		8000 h	Elect.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión		8000 h	Mec.
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión		8000 h	Mec.
1	A	4	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Inspeccionar cámara de la válvula de admisión		4000 h	Mec.
1	A	5	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon		4000 h	Elect.
1	A	6	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Verificar estado de mangueras neumáticas y realizar pruebas de paso de aire		4000 h	Mec.
1	B	7	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon		4000 h	Elect.
1	B	8	S	S	-	-	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión		8000 h	Mec.
1	B	9	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Reajustar soporte y conectores de la válvula de carga		4000 h	Elect.
1	B	10	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar solenoide de carga cada 8000 h		8000 h	Elect.
1	B	11	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Verificar estado de mangueras neumáticas y realizar pruebas de paso de aire		4000 h	Mec.

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.19.** Continuación, hoja de decisión RCM II, sistema de adquisición de datos y control CPT DLIX

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE			TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
			H	S			H1	H2					H3	SUBSISTEMA:			SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	
F	FF	FM					E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA			
						N1		N2	N3									
1	C	12	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar controlador			-	Elect.
1	C	13	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar cambio de terminales del controlador			8000 h	Elect.
1	C	14	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar cambio de wire harness del sistema de control			16000 h	Elect.
1	C	15	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura elemento			-	Elect.
1	C	16	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura elemento			-	Elect.
1	C	17	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura de motor RTD			-	Elect.
1	C	18	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar sensor por condición			-	Elect.
1	C	19	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar sensor por condición			-	Elect.

Fuente: (Equipo RCM)



### 3.6.6. Implementación del plan de mantenimiento basado en el RCM – CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

Tabla 3.20. Plan de mantenimiento compresor CPT DLIX

UNIDAD MINERA TOQUEPALA												
ÁREA: CONCENTRADORA												
SERVICIO: EMPRESA CRUBHER S.R.L.												
DESCRIPCIÓN DE FLOTA EQUIPOS PLANTAS QH												
EQUIPO	COMPRESOR AIRE: MODELO GA 160 / SERIE:				UBICACIÓN TECNICA	TOQ-C1-SI-FICP-ACO015		ÁREA	DEP. LIXIVIALES	MÉTRICO	HORAS	P.MEDIDA
N°	ACTIVIDADES MECÁNICAS	NUMERO PARTE	CÓDIGO SAP	DESCRIPCIÓN RECURSO	MATERIAL		PERSONAL				P	
					CANT	UND	PUESTO	TIEMPO	CANT	H-H		
<b>INSPECCIONES - COMPRESOR</b>												
001	Verificación del correcto nivel de aceite						T. MEC	0.1	1	0.1	SEM	
002	Inspección de posibles fugas de aire y aceite por conectores y mangueras						T. MEC	0.2	1	0.2	SEM	
003	Limpieza de externa del equipo						T. MEC	0.5	2	1.0	SEM	
004	Drenado manual de condensado y comprobación del estado del drenado automático						T. MEC	0.1	1	0.1	SEM	
005	Inspección de posibles fugas de aire por la válvula de seguridad						T. MEC	0.1	1	0.1	SEM	
006	Reajuste de chapas de tapas laterales del compresor						T. MEC	0.3	1	0.3	SEM	
007	Toma de parámetros mecánicos en el controlador						T. MEC	0.3	1	0.3	SEM	
008	Verificación de historial de fallas en el controlador						T. MEC	0.1	1	0.1	SEM	
<b>MATENIMIENTO PREVENTIVO - COMPRESOR</b>												
009	Cambio Filtro de aire de compresor	2914 5077 00		Filtro de aire	1	C/U	T. MEC	0.2	1	0.2	50	
010	Limpieza externa del enfriador						T. MEC	0.4	2	0.8	40	
011	Reajuste de abrazaderas de manguera de admisión						T. MEC	0.2	2	0.4	40	
012	Cambio Filtro de aceite	1613 6105 00		Filtro de aceite	3	C/U	T. MEC	0.5	2	1.0	40	
013	Cambio de aceite compresor	1630 0918 00	51000806	Aceite roto inject fluid	5	C/U	T. MEC	0.4	2	0.8	40	
014	Cambio kit de reparación de válvula de presión mínima			Kit de mantenimiento 4000 Horas	1	C/U	T. MEC	1.0	2	2.0	40	
015	Cambio kit de reparación de válvula oil Stop	2906 0573 00					T. MEC	1.0	2	2.0	40	
016	Cambio de resorte de la válvula check de la descarga						T. MEC	0.8	1	0.8	40	
017	Prueba manual de la válvula de seguridad						T. MEC	0.2	2	0.4	40	
018	Cambio de kit de reparación de la tubería de descarga compresor y separador			Kit de mantenimiento 8000 Horas	1	C/U	T. MEC	1.0	2	2.0	80	
019	Cambio kit de reparación de la válvula de admisión						T. MEC	1.5	2	3.0	80	
020	Cambio kit de reparación de la válvula check						T. MEC	1.5	2	3.0	80	
021	Cambio kit de válvula de drenaje	2906 0575 00					T. MEC	1.0	2	2.0	80	
022	Cambio de la válvula termostática						T. MEC	0.8	2	1.6	80	
023	Cambio de orings de tuberías						T. MEC	0.8	2	1.6	80	
024	Cambio de junta flexible						T. MEC	1.0	2	2.0	80	
025	Cambio kit de reparación			T. MEC	1.0	2	2.0	80				
026	Cambio de elemento separador de aceite	2906 0752 00		Filtro elemento separador	1	C/U	T. MEC	1.5	2	3.0	80	
<b>ACTIVIDADES ELÉCTRICAS - INSTRUMENTACIÓN</b>												
<b>INSPECCIÓN DE RUTINA</b>												
027	Registro Temperaturas de motor eléctrico						T. ELEC	0.1	1	0.1	SEM	
028	Verificar / Ajuste de pemos de motor eléctrico						T. ELEC	0.2	1	0.2	SEM	
029	Inspección Conexión de puesta a tierra de motor eléctrico						T. ELEC	0.2	1	0.2	SEM	
030	Toma de parámetros eléctricos ( Voltajes, corrientes) de motor						T. ELEC	0.3	1	0.3	SEM	
031	Toma de parámetros eléctricos ( Voltajes, corrientes) de ventiladores						T. ELEC	0.3	1	0.3	SEM	
<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>												
032	Cambiar contactos auxiliares del contactor principal	3RH1921-1DA11		Contacto auxiliar	2	Pza	ELEC	0.6	1	0.6	4	
033	Inspeccionar el estado de los contactos del contactor principal, realizar el mantenimiento, si el	-	-	-	-	-	ELEC	1.5	1	1.5		

### 3.6.7. Lista de partes críticas del compresor CPT DLIX (Atlas Copco GA 160)

Para extraer el listado de partes críticas del equipo se considerará dos situaciones:

- Consideración 1, se tomará la criticidad del componente o consumible para que se catalogue y sea ingresado al SAP.
- Consideración 2, aquí se considerará que si el componente tiene una criticidad INACEPTABLE y sea tarea a condición de falla para que se tenga un stock mínimo, para los cambios de componentes por horas se debe realizar el planeamiento anticipado para que se asegure que el trabajo se realice dentro de los periodos dados por el fabricante y con la modificación del RCM.

Tomando como condición los modos de fallas inaceptables y al no poder ser predecible su falla se observa que hay 7 repuestos que deberían de estar en stock ante cualquier emergencia pues la suma de su monto es de \$ 8041.56 dólares los cuales se muestran en la tabla 3.20, considerando que de ellos los contactores y el controlador MK III son compatibles con los compresores CPT 12, CPT 14 y CPT 15, se considera razonable el tenerlos en Stock pues se estaría supliendo ante cualquier incidencia de los equipos mencionados, además si para el propio compresor CPT DLIX que suministra aire al edificio de Chancado de Depósitos Lixiviables generaría la parada de la Chancadora y seguidamente la parada de todas las fajas que salen del edificio, siendo insignificante el costo de los repuestos sugeridos en comparación con dicha parada.

**Tabla 3.21.** Lista de repuestos críticos en base al RCM, compresor CPT DLIX

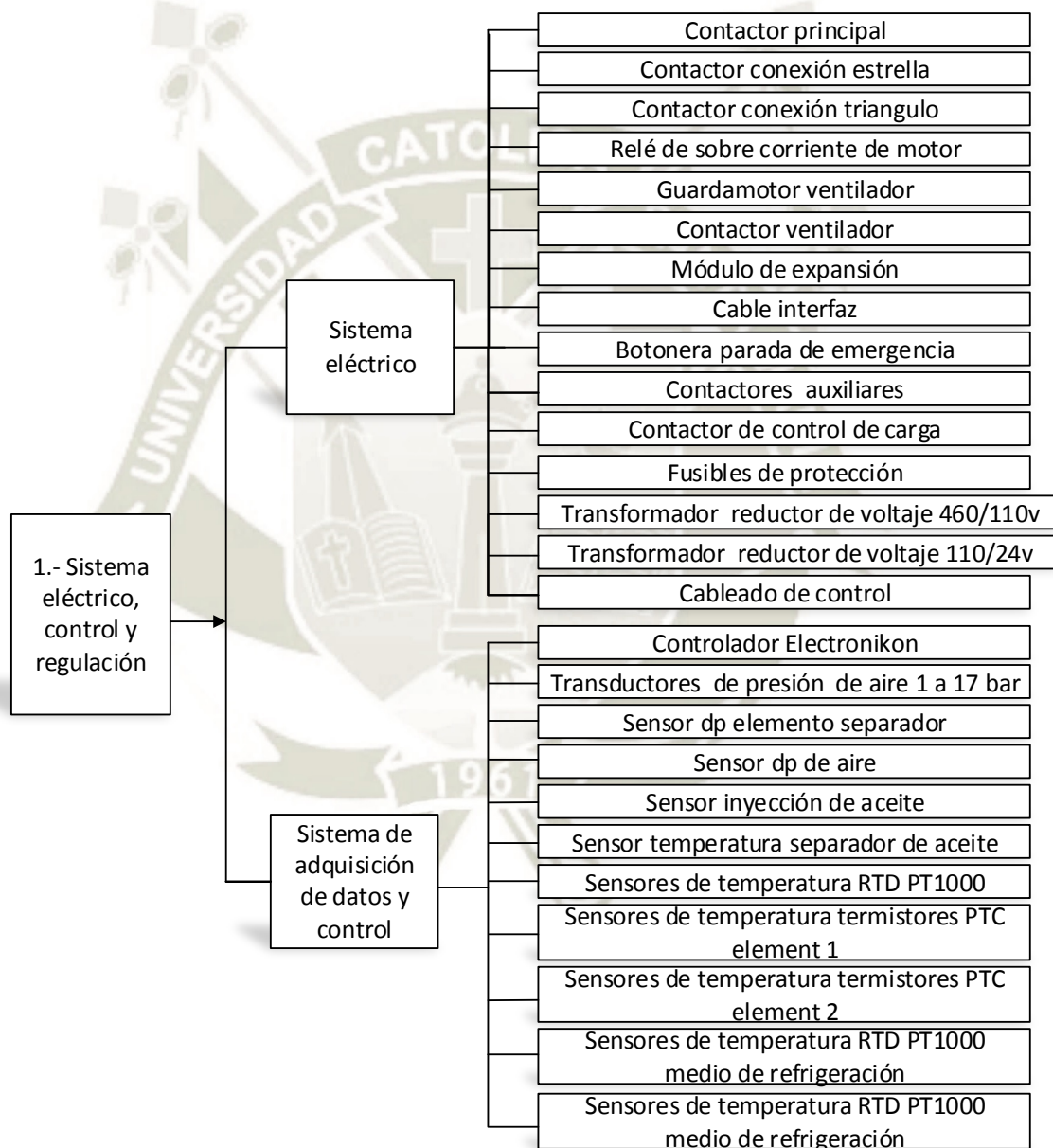
ITEM	REPUESTO	CANTIDAD EN EQUIPO	N° PARTE ATLAS COPCO	N° PARTE ALTERNATIVO	CONSIDERACIÓN 1 (INGRESARLO A ALMACEN)	Stock	OBSERVACIÓN CONDICIÓN PARA CAMBIO	OBSERVACIÓN CONDICIÓN PARA CAMBIO
1	Contactador principal	1	1089 9415 82	3RT1064-6AF36	Catalogar	Si	Condición	\$851.17
2	Contactador delta	1	1089 9415 82	3RT1064-6AF36	Catalogar	Si	Condición	\$851.13
3	Contactador estrella	1	1089 9415 61	3RT1055-6AF36	Catalogar	Si	Condición	\$851.13
4	Overload relay	1	1089 9446 22	3RB2066-1GC2	Catalogar	No	Condición	\$283.50
5	Circuit breaker	1	1089 9416 81		Catalogar	No	Condición	\$150.40
6	Contacto auxiliares	8	1089 9415 09	3RH1921-1DA11	Catalogar	No	4000 horas	\$12.99
7	Válvula solenoide	1	1089 0621 24		Catalogar	No	8000 horas	\$230.00
8	Válvula termostática	1	1619 7560 00		Catalogar	No	8000 horas	\$185.00
9	Dp filtro de aire	1	1089 0575 33		Catalogar	No	Condición	\$512.85
10	Transductor inyección de presión	1	1089 9625 13		Catalogar	No	Condición	\$415.00
11	Dp separador	1	1089 9625 01		Catalogar	No	Condición	\$716.00
12	Contactador de ventilador	1	1089 9415 24	3RT1024-1AK60	Catalogar	No	16000 Horas	\$122.13
13	Wire harnes	1	1621 0921 00		Catalogar	No	16000 Horas	\$508.50
14	Sensor de presión	1	1089 0575 11		Catalogar	No	Condición	\$80.93
15	Módulo de expansión	1	1088 0031 13		Catalogar	Si	Condición	\$251.13
16	Controlador electronikon mk iii	1	1900 0701 25		Catalogar	Si	Condición	\$1,613.00
19	Ventilador	2	1614 3424 00		Catalogar	Si	Condición	\$612.00
20	Motor ventilador	2	1080 4034 42		Catalogar	Si	Condición	\$3,012.00

*Fuente: (Equipo RCM)*

### 3.7. Implementación de RCM para Compresor CPT 15

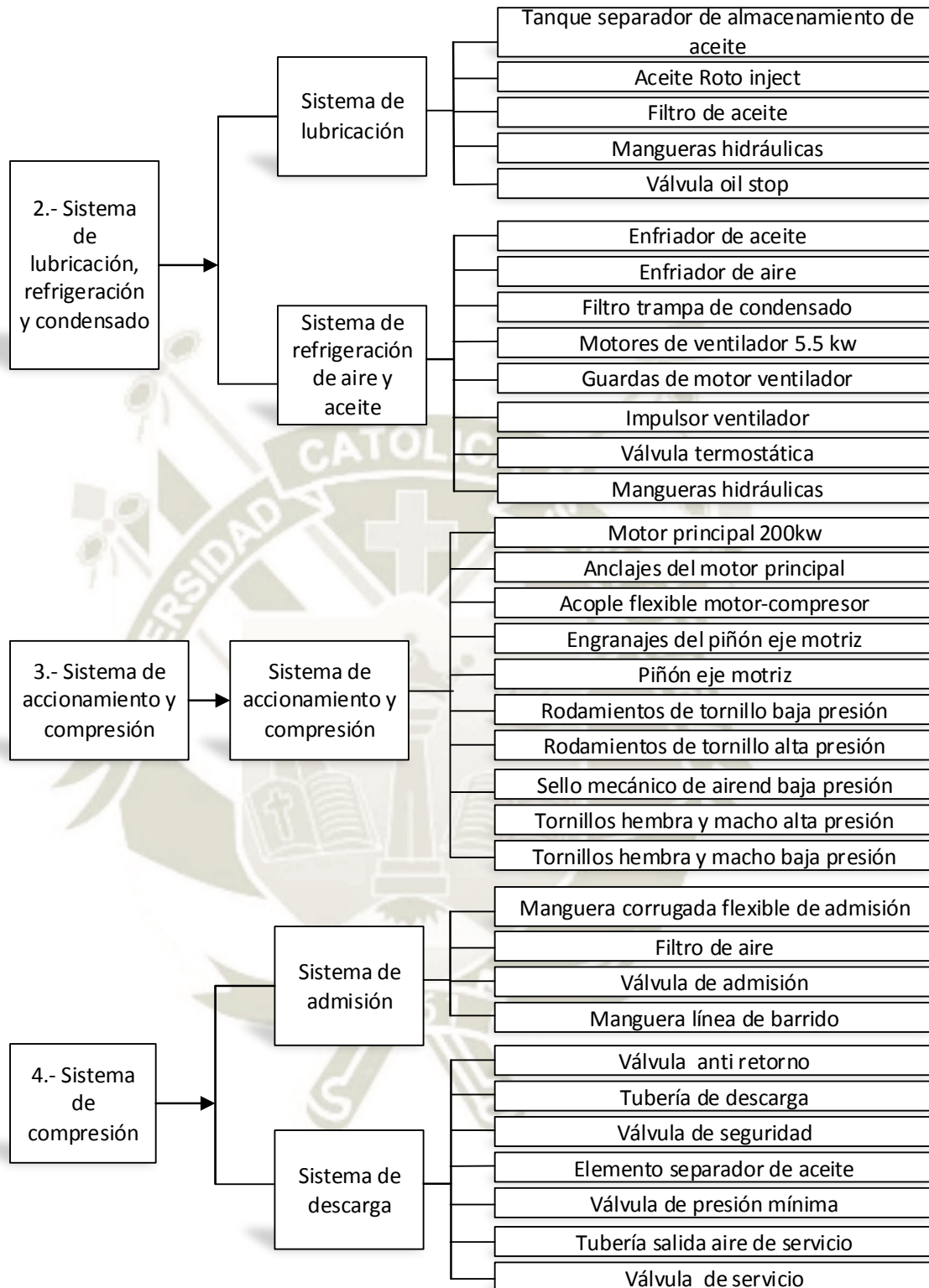
#### 3.7.1. Determinar funciones compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200)

A continuación en las figuras 3.9 y 3.10 se muestran los sistemas, sub-sistemas y componentes mantenibles del equipo.



**Figura 3.11.** Descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT 15

*Fuente: (Elaboración propia)*

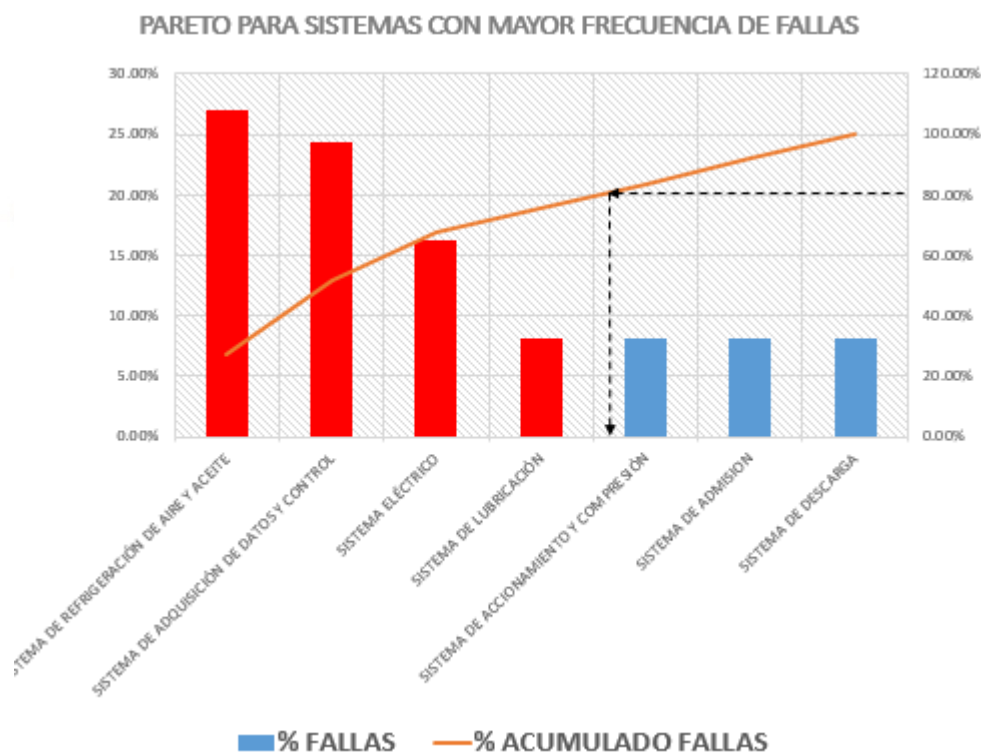


**Figura 3.12.** Continuación descripción de sistemas, sub sistemas y componentes del compresor CPT 15

*Fuente: (Elaboración propia)*

Se realiza el análisis de criticidad para determinar los sistemas más críticos para realizar el AMEF,

En primer lugar se hace un análisis de criticidad utilizando el diagrama de Pareto, en la figura 3.13 pero se observa que al hacer la discriminación de los sistemas más críticos hay 4 que tienen el mismo ponderado por tener la misma cantidad de fallas (Sistema de lubricación, sistema de accionamiento y compresión, sistema de admisión y el sistema de descarga), considerando que se cometería un error tomar al azar cualquiera, se opta por evaluar con otro método.



**Figura 3.13.** Diagrama de Pareto sistemas críticos compresor CPT 15  
*Fuente: (Elaboración propia)*

Seguidamente se procede a realizar el análisis de criticidad basado en el riesgo, considerando la frecuencia de fallas, importancia en seguridad, medioambiente y producción de cada sub sistema ver tabla 3.19:

**Tabla 3.22.** Análisis de criticidad basado de en riesgo para sub sistemas compresor CPT 15

SUB SISTEMAS	Frecuencia	Imp. Seg.	Imp. Amb.	Niv. Prod.	TPPR	Imp. Prod	Imp. Mantto.	CONSECUENCIA	PUNTAJE	CRITICIDAD
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE	4	1	4	6	4	4	3	119	476	ALTO
SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN	2	6	4	6	5	6	5	205	410	ALTO
SISTEMA ELÉCTRICO	3	8	1	6	2	6	3	102	306	ALTO
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	4	2	1	4	2	4	5	49	196	ALTO
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	3	6	4	2	2	4	3	49	147	MEDIO
SISTEMA DE ADMISION	2	4	1	4	1	2	1	19	38	BAJO
SISTEMA DE DESCARGA	1	6	4	4	1	6	1	35	35	BAJO

*Fuente: (Elaboración propia)*

Finalmente observamos que en comparación con el diagrama de Pareto se tienen identificados similares sistemas críticos pero con este último se puro elegir que el último sistema crítico es el sistema de control de adquisición de datos.

### 3.7.2. AMEF a compresor CPT 15 (Atlas Copco GR 200)

Tabla 3.23. Hoja de información RCM. Sistema eléctrico CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 1/4
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO					
ITEM	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de arranque del motor eléctrico	A No da paso de arranque al motor	1	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			2	Contactador estrella con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			3	Contacto auxiliar principal no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo
			4	Contacto auxiliar estrella no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo
			5	Fusibles de protección quemados	Parada del Equipo, se requiere 30 min para cambio de fusibles
			6	Parada de emergencia activada	Parada del equipo por parada de emergencia activada, se requiere 40 minutos para evaluar estado
			7	Falla en el módulo de expansión	Parada del equipo, no se emite señal al motor. Se requiere 2 horas para cambio de módulo si hay repuesto disponible
			8	Baja tensión en la red principal	Parada del equipo, se requiere verificación de tensión principal suministrada por el MCC, tiempo requerido será de 1 hora
			9	Sobre temperatura en el motor	Parada inmediata de motor por temperatura alta de motor, se requiere 40 minutos para evaluación y limpieza de sensor.
		B No completa el ciclo de arranque del motor	10	Contactador delta con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
			11	Contacto auxiliar delta no acciona	Parada por contacto de realimentación abierta, se requiere 30 min para verificar estado de auxiliar o cambiarlo
			12	Contactador estrella no desenclava	Parada del Equipo, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.24.** Continuación hoja de información RCM. Sistema eléctrico CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 1/4	
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO						
ITEM	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	
2	Llevar corriente no mayor a 280 Amperios al motor eléctrico	A	El motor tripea con valores de corrientes menores a 280 Amperios	1	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Equipo no responde, requiere de 3 horas para verificación de conectores , reajuste y limpieza
				2	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	Parada del Equipo por alta temperatura, se requiere 1 hora para cambio de contactor o mantenimiento de contactos
				3	Relé de sobre corriente de motor principal disparado	Parada del equipo. Se requiere 1 hora para verificación de estado de Relé
				4	Relé de sobre corriente de motor principal con seteo de menor rango	Parada del equipo. Se requiere 30 minutos para verificar y cambiar rango
		B	El motor tripea con valores mayor a 280 Amperios	5	Breaker principal averiado	Parada del equipo, Se requiere 1.5 horas para cambio
				6	Breaker de sobre corriente de motor principal averiado	Parada del equipo por temperatura alta de motor y ruedo anormal. Se requiere 6 horas para la evaluación del motor
3	Llevar corriente no mayor de 9.9 amperios a los motores de ventiladores	A	Guardamotor tripea al detectar valores menores a 9.9 Amperios	1	Guardamotor con rango de seteo menor al deseado	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 30 minutos para verificación de rango
				2	Conectores de guardamotor sueltos	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 20 minutos para reajuste.
		B	No llega tensión a los motores	3	Transformador averiado	Parada de todo el sistema de control.
				4	Contactador motor ventilador averiado	Parada del equipo por alta temperatura de elemento, se requiere 1 hora para cambio de contactor

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.25.** Hoja de información RCM. Sistema de adquisición de datos y control CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 2/4
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL					
ITEM	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de carga y descarga del compresor entre 190 y 279 Psi	A El controlador Electronikon manda señal para que el compresor cargue a 190 psi pero no se acciona mecánicamente	1	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para evaluación y cambio de válvula solenoide
			2	Válvula de admisión trabada	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión
			3	Válvula de admisión con resorte roto	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para cambio de resorte de válvula
			4	Cámara de válvula de admisión no alivia	Compresor no carga aire, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión
			5	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor no carga aire, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga
			6	Mangueras neumáticas de control obstruidas	Compresor no carga aire, se requiere 2 horas para verificación y/o cambio de mangueras
		B El controlador Electronikon manda señal para que el compresor descargue a 279 psi pero no se acciona mecánicamente	7	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor no carga aire, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga
			8	Válvula de admisión trabada	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere de 2 horas para limpieza de válvula de admisión
			9	Válvula solenoide de carga genera falso contacto	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 1 hora para limpieza de conectores
			10	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere de 2 horas para evaluación y cambio de válvula solenoide
			11	Mangueras neumáticas de control obstruidas	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 2 horas para verificación y/o cambio de mangueras

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.26.** Continuación, hoja de información RCM. Sistema de adquisición de datos y control CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 2/4	
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA ELÉCTRICO CONTROL Y REGULACIÓN			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>	
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL						
ITEM	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Realizar los ciclos de carga y descarga del compresor entre 190 y 279 Psi	C	El controlador no manda ninguna señal de carga o descarga	12	Controlador electronikon des configurado	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 6 horas para verificación y/o cambio de controlador
				13	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	Compresor tiene sobre presión y se abre la válvula de seguridad constantemente, se requiere 20 minutos para realizar limpieza y reajuste de conectores de ingreso al controlador provenientes del solenoide de carga
		D	El controlador presenta alarma de protección y no permite arranque	14	Sensor de temperatura del elemento 1 detecta valor mayor a 120°C	Parada del equipo por temperatura alta en elemento 1, Se requiere 2 horas para evaluación y/o cambio de sensor.
				15	Sensor de temperatura del elemento 2 detecta valor mayor a 120°C	Parada del equipo por temperatura alta en elemento 2, Se requiere 2 horas para evaluación y/o cambio de sensor.
				16	Sensor de temperatura de motor RTD con valor alto	Parada del equipo por temperatura alta de motor, Se requiere 1 horas para evaluación, limpieza y/o cambio de sensor.
				17	Sensor de elemento detecta que separador tiene Dp mayor a 0.4 bar	Parada del equipo, filtros elemento separador saturado. Se requiere de 1 hora para verificar estado de sensor Dp o 3 horas para el cambio del elemento separador si requiere.
18	Sensor presión de inyección de aceite detecta valor menor a -0.02 bar	Parada del equipo, filtros de aceite saturados. Se requiere de 1 hora para verificación del sensor o para cambio de filtros de aceite.				

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.27.** Hoja de información RCM. Sistema de refrigeración de aire y aceite CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 3/4
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADO			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE					
ITEM	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Mantener la temperatura del elemento 1 entre 80 y 100 °C	A La temperatura de salida del elemento 1 es mayor 100°C	1	Enfriador de aceite obstruido internamente por aceite contaminado	Parada por temperatura alta salida elemento 1, Se requiere 8 horas para cambio de enfriador
			2	Enfriador de aceite sucio	Parada por temperatura alta salida elemento 1, Se requiere 4 horas para limpieza de enfriador
			3	Fuga de aceite por enfriador	Parada por temperatura alta salida elemento 1 y bajo nivel de aceite , Se requiere 8 horas para cambio de enfriador
			4	Ventilador roto	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 1, se requiere 4 horas para cambio de ventilador
			5	Motor de ventilador quemado	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 1, se requiere 4 horas para cambio de motor
			6	Válvula termostática no regula el flujo de aceite	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 1, se requiere 5 horas para evaluación o cambio de termostato
			7	Bajo Nivel de aceite	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 1, se requiere de 30 minutos para relleno de aceite.
			8	Filtros de aceite obstruidos	Paro del equipo, se requiere de 1 hora para cambio de filtros de aceite
			9	Filtro de aire obstruido	Paro del equipo, se requiere de 45 minutos para cambio de filtro de aire
		B La temperatura de salida del elemento 1 es menor a 80°C	10	Válvula termostática se queda completamente abierta	Equipo trabaja con falla de refrigeración alta, se requiere 2 horas para evaluación de la válvula termostática

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.28.** Continuación, hoja de información RCM. Sistema de refrigeración de aire y aceite CPT 15

<b>EQUIPO:</b> COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200			<b>FACILITADO POR:</b> JOEL LUNA TURPO		<b>N° AMEF:</b> 3/4
<b>SISTEMA:</b> SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y CONDENSADO			<b>REVISADO POR:</b> OPERADOR DE CONTRATO		<b>FECHA:</b>
<b>SUBSISTEMA:</b> SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE					
ITEM	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
2	Mantener la temperatura del elemento 2 entre 90 y 110 °C	A  La temperatura de salida del elemento 2 es mayor 110°C	1	Enfriador de aceite obstruido por aceite contaminado	Parada por temperatura alta salida elemento 2, Se requiere 8 horas para cambio de enfriador
			2	Enfriador de aceite sucio	Parada por temperatura alta salida elemento 1, Se requiere 4 horas para limpieza de enfriador
			3	Fuga de aceite por enfriador	Parada por temperatura alta salida elemento 2 y bajo nivel de aceite , Se requiere 8 horas para cambio de enfriador
			4	Ventilador roto	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 2, se requiere 4 horas para cambio de ventilador
			5	Motor de ventilador quemado	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 2, se requiere 4 horas para cambio de motor
			6	Válvula termostática no regula el flujo de aceite	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 2, se requiere 5 horas para evaluación o cambio de termostato
			7	Bajo Nivel de aceite	Parada del equipo por temperatura alta de elemento 2, se requiere de 30 minutos para relleno de aceite.
			8	Filtros de aceite obstruidos	Paro del equipo, se requiere de 1 hora para cambio de filtros de aceite
			9	Filtro de aire obstruido	Paro del equipo, se requiere de 45 minutos para cambio de filtro de aire
		B  La temperatura de salida del elemento 2 es menor a 90°C	10	Válvula termostática se queda completamente abierta	Equipo trabaja con falla de refrigeración alta, se requiere 2 horas para evaluación de la válvula termostática
		11	Exceso de aceite	Equipo trabaja con falla de refrigeración alta, se requiere de 30 minutos para drenar aceite.	

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.29.** Hoja de información RCM. Sistema de accionamiento y compresión CPT 15

EQUIPO: COMPRESOR DE TORNILLO LUBRICADO DE ALTA PRESIÓN DE DOBLE ETAPA MARCA ATLAS COPCO MODELO GR 200		FACILITADO POR: JOEL LUNA TURPO		N° AMEF: 4/4		
SISTEMA: SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN		REVISADO POR: OPERADOR DE CONTRATO		FECHA:		
SUBSISTEMA: SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Girar el elemento de aire 1 a no menor de 1790 rpm	A	El eje del compresor no gira a 1790 rpm	1	Sentido de giro invertido del motor	Aumento excesivo de corriente, se requiere de 1 hora para verificación de cambios de línea de la red principal
				2	Motor eléctrico con rodamientos dañados	Vibración excesiva, se requiere reparación mayor para la evaluación 3 días
				3	Daño en el entre hierro del motor	Pérdida de potencia y aumento de temperatura, se requiere de 2 días para evaluación o reparación.
				4	Falta de alimentación eléctrica al motor	Parada del equipo, se requiere de 2 horas para la evaluación.
				5	Motor eléctrico con bajo aislamiento	Parada del equipo, se requiere de 2 horas para la evaluación.
				6	Copla motor-compresor roto	Parada del equipo compresor no genera presión el motor funciona en vacío, se requiere 7 horas para cambio de copla flexible
				7	Motor con velocidad menos a la del diseño	No se suministra el caudal de aire requerido, se requiere de 4 horas para evaluación
		B	El eje del compresor gira a menos de 1790 rpm	8	Baja frecuencia de la red	No se suministra el caudal de aire requerido, se requiere de 4 horas para evaluación
				9	Suministro de energía eléctrica intermitente	Parada del equipo, se requiere de 4 horas para evaluación
				10	Fluctuación en la frecuencia de la red	Parada del equipo, se requiere de 4 horas para evaluación
				11	Decoloración del rodamiento	Pérdida de potencia y aumento de temperatura, se requiere de 2 días para evaluación o reparación.
2	No generar ruido mayor a 78 dB	A	Genera ruido mayor a 78 dB	1	Motor con velocidad mayor a la de diseño	Exceso de giro en el eje del compresor, sobrepresión
				2	Frecuencia de la red mayor a la nominal	Exceso de giro en el eje del compresor, sobrepresión
				3	Copla del motor y eje del compresor mal ajustados	Ruido excesivo, Se requiere de 30 minutos para reajuste
				4	Eje del motor y compresor desalineados	Ruido excesivo, se requiere de 2 horas para alinearlos
				5	Alta vibración en la unidad de aire elemento 01	Ruido excesivo, se requiere de 5 días para evaluación y reparación.
				6	Alta vibración en el Motor	Ruido excesivo y alta temperatura en motor, se requiere 2 días para reparación.

*Fuente: (Equipo RCM)*

### 3.7.3. Análisis de prioridad (NPR) para modos de falla – CPT 15 (GR 200)

Al realizar el análisis de criticidad mediante el número de prioridad de riesgo observamos que hay 9 modos de fallas 3.23 que son inaceptables.

**Tabla 3.30.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema Eléctrico

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.A.2	Contactador estrella con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.A.3	Contacto auxiliar principal no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.A.4	Contacto auxiliar estrella no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.A.5	Fusibles de protección quemados	1	5	6	30	ACEPTABLE
1.A.6	Parada de emergencia activada	1	5	4	20	ACEPTABLE
1.A.7	Falla en el módulo de expansión	7	5	4	140	DESEABLE
1.A.8	Baja tensión en la red principal	8	3	6	144	DESEABLE
1.A.9	Sobre temperatura en el motor	6	8	4	192	INACEPTABLE
1.B.10	Contactador delta con contactos o bobinas desgastadas	5	8	4	160	INACEPTABLE
1.B.11	Contacto auxiliar delta no acciona	5	8	6	240	INACEPTABLE
1.B.12	Contactador estrella no desenchava	5	8	3	120	DESEABLE
2.A.1	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	5	9	135	DESEABLE
2.A.2	Contactador principal con contactos o bobinas desgastadas	5	5	6	150	DESEABLE
2.A.3	Relé de sobre corriente de motor principal disparado	5	3	4	60	ACEPTABLE
2.A.4	Relé de sobre corriente de motor principal con setteo de menor rango	5	1	4	20	ACEPTABLE
2.B.5	Breaker principal averiado	5	3	5	75	ACEPTABLE
2.B.6	Breaker de sobre corriente compresor averiado	5	2	5	50	ACEPTABLE
3.A.1	Guardamotor con rango de setteo menor al deseado	7	1	4	28	ACEPTABLE
3.A.2	Conectores de guardamotor sueltos	8	3	7	168	INACEPTABLE
3.B.1	Transformador averiado	5	3	5	75	ACEPTABLE
3.B.2	Contactador motor ventilador averiado	7	8	4	224	INACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.31.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema de adquisición de datos y control

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	3	8	5	120	DESEABLE
1.A.2	Válvula de admisión trabada	4	6	6	144	DESEABLE
1.A.3	Válvula de admisión con resorte roto	6	3	8	144	DESEABLE
1.A.4	Cámara de válvula de admisión no alivia	4	6	7	168	INACEPTABLE
1.A.5	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	7	7	147	DESEABLE
1.A.6	Mangueras neumáticas de control obstruidas	7	5	8	280	INACEPTABLE
1.B.7	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	7	7	147	DESEABLE
1.B.8	Válvula de admisión trabada	4	6	6	144	DESEABLE
1.B.9	Válvula solenoide de carga genera falso contacto	3	6	7	126	DESEABLE
1.B.10	Válvula solenoide de carga con bobina quemada	3	8	7	168	INACEPTABLE
1.B.11	Mangueras neumáticas de control obstruidas	7	5	8	280	INACEPTABLE
1.C.12	Controlador Electronikon des configurado	7	3	8	168	INACEPTABLE
1.C.13	Falso contacto en conectores del controlador Electronikon	3	6	8	144	DESEABLE
1.D.14	Sensor de temperatura del elemento 1 detecta valor mayor a 120°C	4	5	6	120	DESEABLE
1.D.15	Sensor de temperatura del elemento 2 detecta valor mayor a 120°C	4	5	6	120	DESEABLE
1.D.16	Sensor de temperatura de motor RTD con valor alto	4	6	5	120	DESEABLE
1.D.17	Sensor de elemento detecta que separador tiene Dp mayor a 0.4 bar	3	6	5	90	ACEPTABLE
1.D.18	Sensor presión de inyección de aceite detecta valor menor a -0.02 bar	3	6	5	90	ACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.32.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema refrigeración de aire y aceite

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Enfriador de aceite obstruido por aceite contaminado	7	6	7	294	INACEPTABLE
1.A.2	Enfriador de aceite sucio	5	8	7	280	INACEPTABLE
1.A.3	Fuga de aceite por enfriador	7	8	7	392	INACEPTABLE
1.A.4	Ventilador roto	7	5	7	245	INACEPTABLE
1.A.5	Motor de ventilador quemado	7	3	5	105	DESEABLE
1.A.6	Válvula termostática no regula el flujo de aceite	4	3	7	84	ACEPTABLE
1.A.7	Bajo Nivel de aceite	3	8	2	48	ACEPTABLE
1.A.8	Filtros de aceite obstruidos	4	7	2	56	ACEPTABLE
1.A.9	Filtro de aire obstruido	4	6	2	48	ACEPTABLE
1.A.10	Válvula termostática se queda completamente abierta	5	5	7	175	INACEPTABLE
1.A.11	Exceso de aceite	3	5	2	30	ACEPTABLE
2.A.1	Enfriador de aceite obstruido por aceite contaminado	7	6	7	294	INACEPTABLE
2.A.2	Enfriador de aceite sucio	5	8	7	280	INACEPTABLE
2.A.3	Fuga de aceite por enfriador	7	8	7	392	INACEPTABLE
2.A.4	Ventilador roto	7	5	7	245	INACEPTABLE
2.A.5	Motor de ventilador quemado	4	3	7	84	ACEPTABLE
2.A.6	Válvula termostática no regula el flujo de aceite	3	3	4	36	ACEPTABLE
2.A.7	Bajo Nivel de aceite	4	8	2	64	ACEPTABLE
2.A.8	Filtros de aceite obstruidos	3	7	7	147	DESEABLE
2.A.9	Filtro de aire obstruido	3	6	7	126	DESEABLE
2.B.10	Válvula termostática se queda completamente abierta	5	5	5	125	DESEABLE
2.B.11	Exceso de aceite	3	5	3	45	ACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.33.** Clasificación de prioridad de riesgos NPR modos de falla Sistema accionamiento y compresión

COD	MODOS DE FALLA	G	F	D	NPR	CRITERIO
1.A.1	Sentido de giro invertido del motor	7	4	4	112	DESEABLE
1.A.2	Motor eléctrico con rodamientos dañados	7	5	6	210	INACEPTABLE
1.A.3	Daño en el entre hierro del motor	7	4	6	168	INACEPTABLE
1.A.4	Falta de alimentación eléctrica al motor	4	5	7	140	DESEABLE
1.A.5	Motor eléctrico con bajo aislamiento	8	5	5	200	INACEPTABLE
1.A.6	Copla motor-compresor roto	8	8	5	320	INACEPTABLE
1.A.7	Motor con velocidad menos a la del diseño	7	1	8	56	ACEPTABLE
1.A.8	Baja frecuencia de la red	6	1	4	24	ACEPTABLE
1.A.9	Suministro de energía eléctrica intermitente	6	2	4	48	ACEPTABLE
1.A.10	Fluctuación en la frecuencia de la red	6	2	4	48	ACEPTABLE
1.A.11	Decoloración del rodamiento	8	2	4	64	ACEPTABLE
2.A.1	Motor con velocidad mayor a la de diseño	9	1	3	27	ACEPTABLE
2.A.2	Frecuencia de la red mayor a la nominal	6	2	4	48	ACEPTABLE
2.A.3	Copla del motor y eje del compresor mal ajustados	4	5	6	120	DESEABLE
2.A.4	Eje del motor y compresor desalineados	4	5	4	80	ACEPTABLE
2.A.5	Alta vibración en la unidad de aire elemento 01	6	5	6	180	INACEPTABLE
2.A.6	Alta vibración en el Motor	6	5	6	180	INACEPTABLE

*Fuente: (Elaboración propia)*

### 3.7.4. Cálculo para definir periodo mínimo de intervención antes que ocurra una falla al compresor CPT 15.

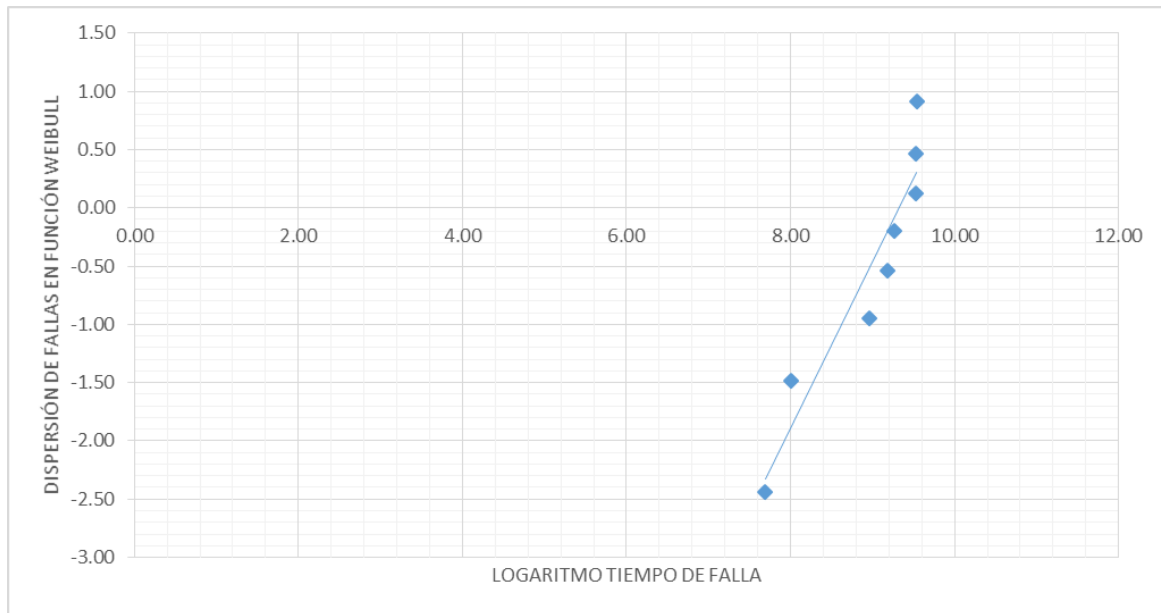
Se toman las horas acumuladas para la falla a partir de la data que se tiene en el ANEXO 02.

**Tabla 3.34.** Horas de Fallas en el compresor CPT 15 y datos para el ploteo de probabilidades.

Nr de falla	TBF	F(T)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))
1	2187	8.33%	7.69	-2.44
2	2985	20.24%	8.00	-1.49
3	7742	32.14%	8.95	-0.95
4	9788	44.05%	9.19	-0.54
5	10515	55.95%	9.26	-0.20
6	13756	67.86%	9.53	0.13
7	13789	79.76%	9.53	0.47
8	13859	91.67%	9.54	0.91

*Fuente: (Elaboración propia)*

- Se observa que las fallas tienen una tendencia lineal indicando que solo se trabajarán con 2 parámetros de Weibull



**Figura 3.14.** Ploteo de probabilidades de fallas y tendencia

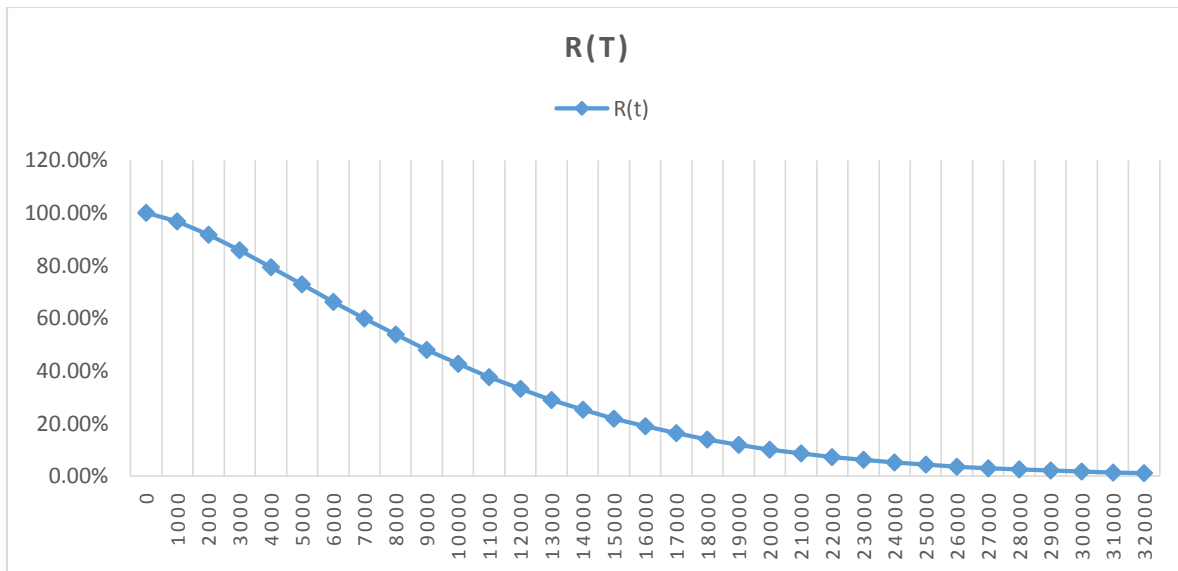
*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3. 35.** Parámetros de Weibull

$\beta$	1.4
$\gamma$	0
$\eta$	11180.53
Coef Corr	0.9440
R	1
Diferencia	0.0560

*Fuente: (Elaboración propia)*

- A continuación se tiene la gráfica de confiabilidad



**Figura 3.15.** Gráfica de confiabilidad del compresor CPT 15

*Fuente: (Elaboración propia)*

Según la gráfica se considera que el tiempo de intervención debería ser menos a 2309.325, según consenso con el grupo de trabajo se determina que la frecuencia sea cada 2000 horas puesto que es un múltiplo del valor mínimo de frecuencia de mantenimientos.

**Tabla 3.36.** Datos para la estimación de periodo de intervención al compresor CPT 15

R(t)	90%	Horas Trabajo /día	Días	Semanas	Meses
Periodo interv.	2309.325	20	115	16	4

*Fuente: (Elaboración propia)*

### 3.7.5. Hoja de decisión RCM – CPT 15 (Atlas Copco GR 200)

Para las hojas de decisión RCM en adelante se debe tener en cuenta que “R.C.” es Reacondicionamiento cíclico, “S.C.” es Sustitución cíclica, “A.C.” son Acciones correctivas y “T.C.” son tareas correctivas.

**Tabla 3.37.** Hoja de decisión RCM – sistema eléctrico compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE				TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H	S			H1	H2						H3	S1		
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA				
							N1	N2	N3								
1	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 2000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.	2000 h	Elect.	
1	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 2000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.	2000 h	Elect.	
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.	8000 h	Elect.	
1	A	4	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.	8000 h	Elect.	
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar fusibles cuando falle.	-	Elect.	
1	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar conexiones de la parada de emergencia y realizar prueba manual	2000 h	Elect.	
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar módulo de expansión, Se debe mantener en stock	-	Elect.	
1	A	8	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Medir tensión de ingreso principal cada 500 horas	500 h	Elect.	
1	A	9	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Tomar temperatura de motor cada 500 horas y llevar un control de tendencias	500 h	Mec.	

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.38.** Continuación hoja de decisión RCM – sistema eléctrico compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS							ACCION A FALTA DE				TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H				H1	H2	H3				SUBSISTEMA:		SISTEMA ELÉCTRICO COMPRESOR			
				S				S1	S2	S3					TAREA PROPUESTA			
F	FF	FM				E	O1	O2	O3									
						O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	B	10	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 2000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.		2000 h	Elect.	
1	B	11	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar contactos auxiliares.		8000 h	Elect.	
1	B	12	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar el estado de los contactos cada 2000 Horas de funcionamiento y/o realizar mantenimiento.		2000 h	Elect.	
2	A	1	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon		2000 h	Elect.	
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar contactor, se debe tener el stock		-	Elect.	
2	A	3	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar relé de sobre corriente motor cada 2000 h		2000 h	Mec.	
2	A	4	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corregir setteo de relé		-	Elect.	
2	B	5	S	N	N	S	N	N	-	-	-	-	R.C.	Reajuste de terminales del breaker		2000 h	Elect.	
2	B	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Inspeccionar relé de sobre corriente motor cada 2000 h		2000 h	Elect.	
3	A	1	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corregir setteo de guardamotor o verificar si es el adecuado		-	Mec.	
3	A	2	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Reajustar conectores de guardamotor ventilador cada 2000 h		2000 h	Elect.	
3	B	3	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar transformador		-	Elect.	
3	B	4	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Realizar cambio de contactor de ventilador cada 16000 h		16000 h	Mec.	

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.39.** Hoja de decisión RCM – sistema de adquisición de datos y control compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE					TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H				H1	H2	H3				SUBSISTEMA:		SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL			
				S				S1	S2	S3					TAREA PROPUESTA			
F	FF	FM	H	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TIPO DE TAREA	TAREA PROPUESTA			INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR	
						N1	N2	N3										
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar solenoide de carga cada 8000 h			8000 h	Elect.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión			8000 h	Mec.
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión			8000 h	Mec.
1	A	4	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Inspeccionar cámara de la válvula de admisión			2000 h	Mec.
1	A	5	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon			2000 h	Elect.
1	A	6	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Verificar estado de mangueras neumáticas y realizar pruebas de paso de aire			2000 h	Elect.
1	B	7	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Realizar reajuste en conectores del controlador Electronikon			2000 h	Elect.
1	B	8	S	S	-	-	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión			8000 h	Mec.
1	B	9	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Reajustar soporte y conectores de la válvula de carga			2000 h	Mec.
1	B	10	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar solenoide de carga cada 8000 h			8000 h	Elect.
1	B	11	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Verificar estado de mangueras neumáticas y realizar pruebas de paso de aire			2000 h	Mec.

*Fuente: (Equipo RCM)*

**Tabla 3.40.** Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de adquisición de datos y control compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE					TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H				H1	H2	H3				S4		SUBSISTEMA:	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL		
				S				S1	S2	S3					TAREA PROPUESTA			
F	FF	FM		E		O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
1	C	12	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener en Stock controlador		-	Elect.	
1	C	13	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar cambio de wire harness del sistema de control		16000 h	Elect.	
1	D	14	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura elemento		-	Elect.	
1	D	15	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura elemento		-	Elect.	
1	D	16	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Tener stock de sensor temperatura de motor RTD		-	Elect.	
1	D	17	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar por condición		-	Mec.	
1	D	18	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar por condición		-	Mec.	

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.41.** Hoja de decisión RCM – sistema de refrigeración de aire y aceite compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS				ACCION A FALTA DE			TIPO DE TAREA				FACILITADOR:		INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR		
														JOEL LUNA TURPO				SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE	
			F	FF	FM	H	S	E	O					H1	H2			H3	S1
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar aceite cada 2000 horas				2000 h	Mec.
1	A	2	S	N	S	-	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar limpieza y/o lavado de enfriadores cada 2000 horas				2000 h	Mec.	
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar enfriador				12000 h	Mec.
1	A	4	S	S	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Realizar cambio de impulsor, mantener en stock				-	Mec.
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Cambiar a condición, se recomienda tener en stock				-	Mec.
1	A	6	N	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Realizar mantenimiento general de válvula termostática cada 8000 horas				8000 h	Mec.
1	A	7	S	N	S	-	N	S	-	-	-	R.C.	Revisar nivel de aceite cada 15 días				15 días	Mec.	
1	A	8	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar filtros de aceite cada 4000 horas				4000 h	Mec.
1	A	9	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Cambiar filtros de aire cada 2000 horas				2000 h	Mec.
1	B	10	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Realizar mantenimiento general de válvula termostática cada 8000 horas				8000 h	Mec.

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.42.** Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de refrigeración de aire y aceite compresor CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE			TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR							
													SUBSISTEMA:	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE									
			F	FF	FM	H	S	E	O	H1	H2		H3	S1			S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5
2	A	1	S	N	N	S	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar muestreo de aceite cada 500 horas	500 h	Mec.
2	A	2	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R.C.	Realizar limpieza y/o lavado de enfriadores cada 2000 horas	2000 h	Mec.
2	A	3	S	N	S	-	N	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S.C.	Cambiar enfriador	16000 h	Mec.
2	A	4	S	S	N	S	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A.C.	Realizar cambio de impulsor, mantener en stock	-	Mec.
2	A	5	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A.C.	Cambiar a condición, se recomienda tener en stock	-	Mec.
2	A	6	N	N	N	S	N	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S.C.	Realizar mantenimiento general de válvula termostática cada 8000 horas	8000 h	Mec.
2	A	7	S	N	S	-	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R.C.	Revisar nivel de aceite cada 15 días	15 días	Mec.
2	A	8	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S.C.	Cambiar filtros de aceite cada 2000 horas	2000 h	Mec.
2	A	9	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S.C.	Cambiar filtros de aire cada 2000 horas	2000 h	Mec.
2	B	10	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R.C.	Realizar mantenimiento general de válvula termostática cada 8000 horas	8000 h	Mec.
2	B	11	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S.C.	Revisar nivel de aceite cada 15 días	15 días	Mec.

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.43.** Hoja de decisión RCM – sistema de accionamiento y compresión CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE			TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			SUBSISTEMA:										SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN			
F	FF	FM	H				H1	H2	H3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA			
				S			S1	S2	S3							
						O	O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Verificar y corregir inversión de líneas	-	Elec.
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar engrase rodamientos de motor cada 4000 horas	4000 h	Elec.
1	A	3	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones de manera trimestral	3 meses	Mec.
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corregir ingreso de energía al motor	-	Elec.
1	A	5	S	N	N	S	N	S		-	-	-	R.C.	Realizar megado de motor cada 2000 horas	2000 h	Elec.
1	A	6	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	S.C.	Realizar cambio de copla motor compresor cada 16000 horas	16000 h	Mec.
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Verificar rpm y frecuencia de ingreso a la red, comunicar al encargado del suministro de energía	-	Mec.
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Verificar rpm y frecuencia de ingreso a la red, comunicar al encargado del suministro de energía	-	Mec.
1	B	9	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Comunicar al encargado de suministro de energía	-	Elec.
1	B	10	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Comunicar al encargado de suministro de energía	-	Elec.
1	B	11	S	N	N	S	N	N	S	-	-	-	R.C.	Realizar engrase rodamientos de motor cada 4000 horas	4000 h	Elec.

Fuente: (Equipo RCM)

**Tabla 3.44.** Continuación, hoja de decisión RCM – sistema de accionamiento y compresión CPT 15

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE CONSECUENCIAS						ACCION A FALTA DE					TIPO DE TAREA	FACILITADOR:	JOEL LUNA TURPO	INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR
			H	S					H1	H2	H3	S1	S2		S3	SUBSISTEMA:		
F	FF	FM	E			O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA					
						N1	N2	N3										
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Corroborar información técnica de motor en caso de cambio	-			
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N	-	-	-	A.C.	Comunicar al encargado de suministro de energía	-			
2	A	3	S	N	N	S	N	S	-	-	-	-	R.C.	Reajusta chaveta motor compresor cada 2000 horas	2000 h	Mec.		
2	A	4	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones de manera trimestral	3 meses	Mec.		
2	A	5	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones al airend de manera trimestral	3 meses	Mec.		
2	A	6	N	-	-	-	S	-	-	-	-	-	T.C.	Realizar análisis de vibraciones al motor	3 meses	Mec.		

Fuente: (Equipo RCM)





<b>SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL</b>									
025	Realizar la inspección visual cámara de la válvula de admisión	PM	-	-	-	-	-	-	MEC
026	Verificar estado de mangueras neumáticas y realizar pruebas de paso de aire	PM	-	-	-	-	-	-	MEC
027	Reajustar soporte y conectores de la válvula de carga	PM	-	-	-	-	-	-	ELEC
028	Cambiar solenoide de carga	PM	1089 0621 24		Válvula solenoide de carga	1	Pza		ELEC
029	Cambiar kit de mantenimiento de válvula de admisión	PM	2906 0563 00		Kit de válvula de admisión	1	Kit		MEC
030	Realizar limpieza general de todos los sensores de presión y temperatura	PM							ELEC
031	Cambiar wire harness del sistema de control	PM	1621 0921 00		Wire Harness	1	Pza		ELEC
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE AIRE Y ACEITE</b>									
032	Realizar muestreo de aceite	MPd	-	-	-	-	-	-	MEC
033	Cambiar filtros de aceite	PM	1202 8040 90	30201555	Filtros de aceite	3	Pza		MEC
034	Cambiar filtro de aire	PM	2914 5077 00	30277199	Filtro de aire	1	Pza		MEC
035	Realizar cambio de aceite	PM	2901 1701 00	30257080	Aceite Duty Xtend	20	Gal		MEC
036	Realizar limpieza y/o lavado de enfriadores	PM	-	-	-	-	-	-	MEC
037	Realizar mantenimiento a los separadores de agua	PM	2901 0749 00	-	Kit trampa de agua	1	Kit		MEC
038	Cambiar enfriador de aceite	PM	1621 9044 00	-	Enfriador de aceite	2	Pza		MEC
<b>SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y COMPRESIÓN</b>									
039	Realizar análisis de vibraciones al motor	MPd	-	-	-	-	-	-	MEC
040	Realizar análisis de vibraciones o pulso choque al airend elemento 01	MPd	-	-	-	-	-	-	MEC
041	Realizar engrase rodamientos de motor principal	PM	-	-	Grasa polirex	4	g		ELEC
042	Realizar megado de motor principal	PM	-	-	-	-	-	-	ELEC
043	Reajustar chaveta motor compresor	PM	-	-	-	-	-	-	MEC
044	Realizar cambio de copla motor compresor	PM	1614873900	30194025	Copla flexible	1	Pza		MEC
<b>SISTEMA DESCARGA</b>									
045	Realizar mantenimiento a la válvula de presión mínima	PM	2906 0095 00		Kit válvula de presión mínima	1	Kit		MEC
046	Realizar mantenimiento a la válvula oil stop	PM	2906 0094 00		Kit válvula oil stop	1	Kit		MEC
047	Cambiar elemento separador aire-aceite	PM	2906 0638 00		Elemento separador de aceite	1	Pza		MEC
048	Realizar reajuste de bridas de descarga	PM							MEC

**Fuente:** (Elaboración propia)

### 3.7.7. Lista de partes críticas del compresor CPT 15:

Para extraer el listado de partes críticas del equipo se considerará dos situaciones:

- Consideración 1, se tomará la criticidad del componente o consumible para que se catalogue y sea ingresado al SAP.
- Consideración 2, aquí se considerará que si el componente tiene una criticidad INACEPTABLE y sea tarea a condición de falla para que se tenga un stock mínimo, para los cambios de componentes por horas se debe realizar el planeamiento anticipado para que se asegure que el trabajo se realice dentro de los periodos dados por el fabricante y con la modificación del RCM.

Tomando como condición los modos de fallas inaceptables y al no poder ser predecible su falla se observa que hay 7 repuestos que deberían de estar en stock ante cualquier emergencia pues la suma de su monto \$ 8553.87, considerando que de ellos los contactores y el controlador MK III son compatibles con los compresores CPT 12, CPT 14 y CPT 15, se considera razonable el tenerlos en Stock; puesto que, si para el compresor CPT 15 por cada hora de parada la planta concentradora deja de realizar el secado de 2 vagones de concentrado (376320 kg) considerando que cada uno contiene 21 metros cúbicos de concentradora de cobre.

**Tabla 3.46.** Lista de repuestos críticos compresor CPT 15

#	REPUESTO / CONSUMIBLES	CANTIDAD EN EQUIPO	N° PARTE ATLAS COPCO	N° PARTE ALTERNATIVO	CONSIDERACIÓN 1 (EN ALMACEN)	Stock	OBSERVACIÓN PARA CAMBIO	PRECIO
1	Contactador principal	1	1089 9415 82	3RT1064-6AF36	Catalogar	1	Condición	\$851.17
2	Contactador delta	1	1089 9415 82	3RT1064-6AF36	Catalogar	1	Condición	\$851.13
3	Contactador estrella	1	1089 9415 61	3RT1055-6AF36	Catalogar	1	Condición	\$851.13
4	Overload relay	1	1089 9446 22	3RB2066-1GC2	Catalogar	No	Condición	\$283.50
5	Circuito breaker	1	1089 9416 81		Catalogar	No	Condición	\$150.40
6	Contacto auxiliares	8	1089 9415 09	3RH1921-1DA11	Catalogar	4	4000 horas	\$12.99
7	Válvula solenoide	1	1089 0621 24		Catalogar	1	8000 horas	\$230.00
8	Válvula termostática	1	1619 7560 00		Catalogar	1	8000 horas	\$185.00
9	Dp filtro de aire	1	1089 0575 33		Catalogar	No	Condición	\$512.85
10	Transductor inyección de presión	1	1089 9625 13		Catalogar	No	Condición	\$415.00
11	Dp separador	1	1089 9625 01		Catalogar	No	Condición	\$716.00
12	Contactador de ventilador	1	1089 9415 24	3RT1024-1AK60	Catalogar	1	16000 Horas	\$122.13
13	Wire harnes	1	1621 0921 00		Catalogar	No	16000 Horas	\$508.50
14	Sensor de presión	1	1089 0575 11		Catalogar	No	Condición	\$80.93
15	Módulo de expansión	1	1088 0031 13		Catalogar	1	Condición	\$251.13
16	Controlador elektronikon MK III	1	1900 0710 31		Catalogar	1	Condición	\$1,613.00
17	Sensor de temperatura elementos	4			Catalogar	1	Condición	\$250.00
18	Sensor de temperatura RTD de motor	2			Catalogar	1	Condición	\$262.31
19	Ventilador	2	1614 9287 00		Catalogar	1	Condición	\$612.00
20	Motor ventilador	2	1080 4034 12		Catalogar	1	Condición	\$3,012.00
21	Enfriador de aceite	2	1621 9044 00		Catalogar	No	12000	\$8,305.50
22	Coupling	1	1614 8739 00		Catalogar	No	16000	\$452.20
23	Kit válvula de presión mínima	1	2906 0095 00		Catalogar	No	4000	\$540.12
24	Kit válvula oil stop	1	2906 0094 00		Catalogar	No	4000	\$532.88
25	Elemento separador de aceite	1	2906 0638 00		Catalogar	No	8000	\$681.82

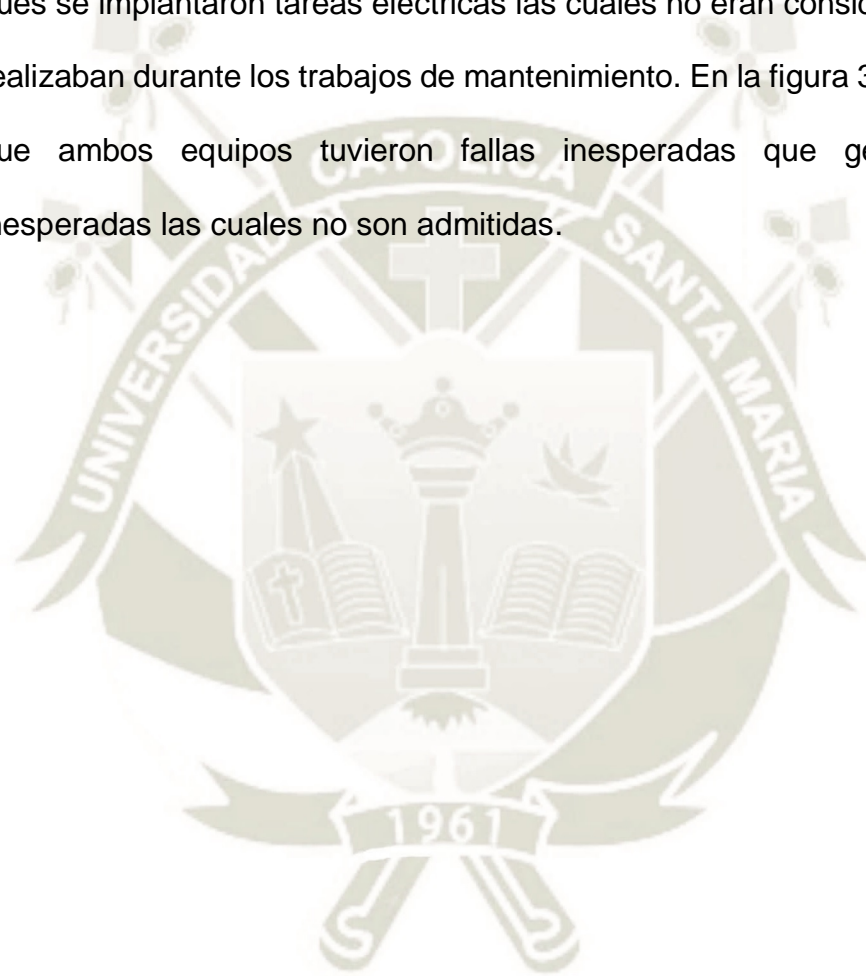
*Fuente: (Elaboración propia)*

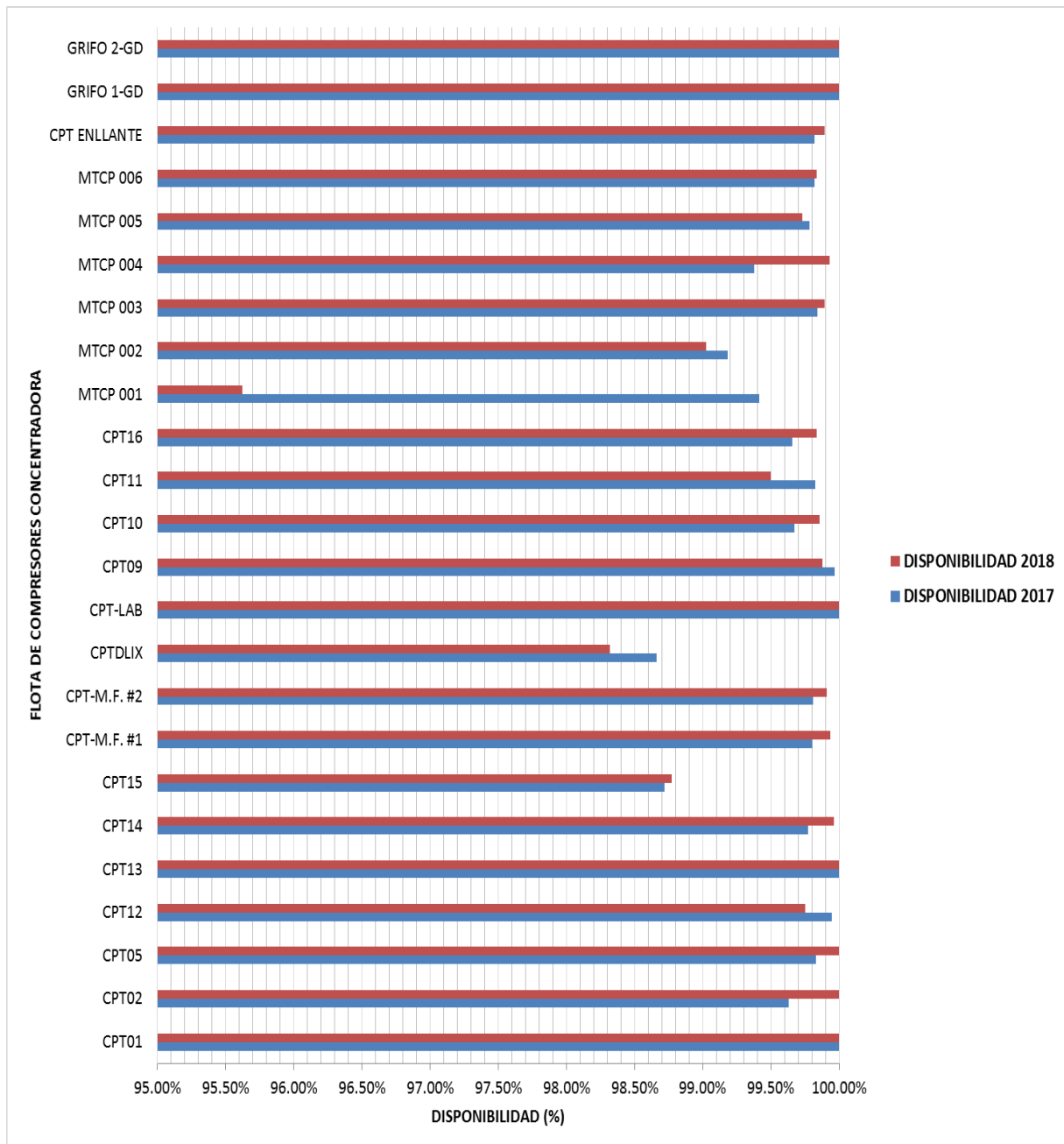
## CAPITULO IV

### 4. Discusión de resultados

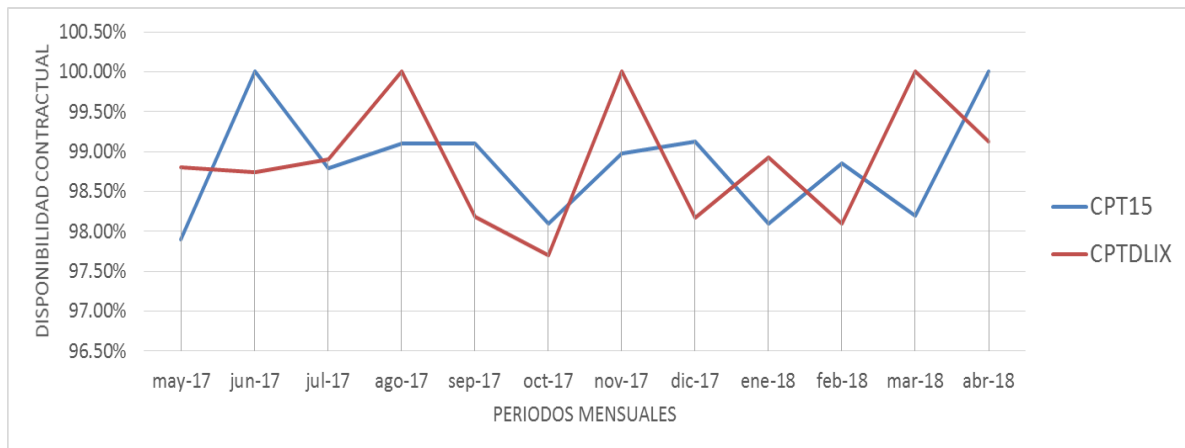
- Se realizó el análisis de criticidad a los 24 de compresores estacionarios de planta concentradora que se tienen en contrato, se pudo determinar que los dos compresores con mayor criticidad son el compresor de Depósitos Lixiviables y el compresor de alta presión de Filtro Larox, los cuales no deberían de parar de manera inesperada.
- Al realizar el análisis de criticidad se pudo determinar que los sistemas más críticos son el sistema eléctrico y de adquisición de datos y control, cabe indicar que en este punto los compresores paran la mayoría de veces por fallas eléctricas de las cuales el 32.1% son fallas inaceptables, es claro que todos los fabricantes siempre se centran en la disposición de planes de mantenimientos genéricos para sistemas mecánicos mas no para sistemas eléctricos o de instrumentación.
- Según estimación de la disponibilidad proyectada en un año (periodos 2017 y 2018) para el compresor CPT 15 considerando que en dicha oportunidad el ratio de trabajo diario era de 15 horas al día, se estimó que su disponibilidad estaba debajo de lo prevista la cual debió ser 99.60% solo por intervención preventiva y se tenía paradas inesperadas entre mantenimientos preventivos, como especialistas en compresores se debe tener cero paradas imprevistas porque el equipo no tiene Back up al ser el único de alta presión, en la figura 3.16 se muestra los indicadores totales de la flota de compresores, donde se observa que la disponibilidad contractual anual de los compresores CPT 15 Y

CPT DLIX están en 98.85% y 98.89% respectivamente, adicional en el periodo de muestreo de datos se encontró que se tuvo 14 paradas imprevistas en el compresor CPT 15 y 17 paradas imprevistas en el compresor CPT DLIX. Con el reciente estudio integral a los compresores se debe garantizar una disponibilidad de 99.65% y 99.70% además de cero paradas inesperadas, pues se implantaron tareas eléctricas las cuales no eran considerados y no se realizaban durante los trabajos de mantenimiento. En la figura 3.7 nos muestra que ambos equipos tuvieron fallas inesperadas que generó paradas inesperadas las cuales no son admitidas.





**Figura 3. 16.** Disponibilidades de la flota de compresores Marzo 2017 a Febrero 2019  
*Fuente: (Elaboración propia)*



**Figura 3. 17.** Tendencia disponibilidad contractual del CPT DLIX Y CPT 15

*Fuente: (Elaboración propia)*

- Los dos compresores de mayor criticidad de la flota son equipos marca Atlas Copco de modelos diferentes para el compresor de Depósitos Lixiviables es un modelo GA160 y para el de Filtros Larox es un GR 200, la principal diferencia es que este último es un compresor de alta presión el cual hace que tenga doble etapa pero en sus demás sistemas son similares en funcionamiento los cuales deberían tener cero fallas.
- Como se pudo observar al momento de evaluar la criticidad de los sistemas de cada equipo el compresor de Atlas Copco GR 200 nos mostró que era necesario evaluar 4 subsistemas, hecho que generó que se pudieran apreciar más modos de fallas y extraer mayores tareas proactivas, teniendo el principio de los programas de mantenimiento básico del fabricante se podría asumir que dichas tareas también podrían ser asignadas al compresor GA 160 según evaluación del grupo RCM.
- En el compresor GA 160 se pudieron hallar 47 modos de falla de los cuales el 32% son modos de falla inaceptables, así mismo se tiene 7 repuestos que son críticos y deben mantenerse en stock en almacén.

- En el compresor GR 200 de filtros larox se observaron 78 modos de falla de los cuales el 37% son inaceptables, así mismo son 10 repuestos los que deben permanecer en stock ante cualquier falla.
- Para las frecuencias mínimas de mantenimiento se realiza un análisis de confiabilidad según el historial de fallas que se tienen en los equipos en el Anexo 01 se muestra el desarrollo, donde se halla que para el compresor CPT DLIX el intervalo de intervención será cada 4000 también considerando que es un múltiplo al pm habitual del equipo teniendo la probabilidad de un 90% que el equipo trabaje sin fallar el cual es aceptable pues según Thomas indica que si se considera un valor de alrededor de 90% es un nivel muy elevado.

Tabla 3.47: Periodo de intervención para tareas inspección y reajuste – CPT DLIX

R(t)	90%	Horas Trabajo /día	Días	Semanas	Meses
Periodo intervención	4013.393	24	168	24	5.5

Fuente: (Elaboración propia)

- También se realizó el análisis para el compresor CPT 15 el cual será desde las 2000 horas.

Tabla 3. 48. Periodo de intervención para tareas inspección y reajuste – CPT 15

R(t)	90%	Horas Trabajo /día	Días	Semanas	Meses
Periodo intervención.	2309.325	20	115	16	4

Fuente: (Elaboración propia)

- A los compresores CPT DLIX Y CPT 15 se le ejecutó el mantenimiento según lo estipulado en el plan de mantenimiento basado en el RCM en Marzo y Abril respectivamente, al cierre de Agosto 2019 aún no se presentaron paradas inesperadas los cuales se muestran en la figura 3.18. manteniéndose una disponibilidad por encima de lo previsto.

**Tabla 3.49.** Cálculo de disponibilidad contractual y proyectado luego de implementación RCM – CPT DLIX

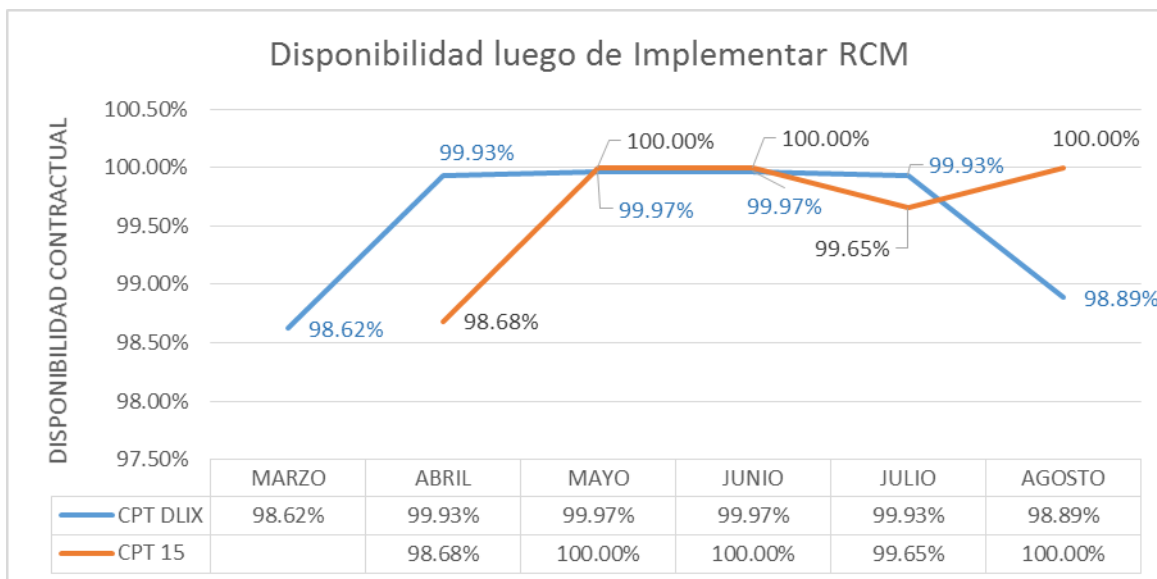
PERIODO	TIEMPO CALENDARIO	DEMORAS POR MANTENIMIENTOS	DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL	OBSERVACIÓN
MARZO	672	9.25	98.62%	EJECUTADO
ABRIL	744	0.5	99.93%	EJECUTADO
MAYO	720	0.25	99.97%	EJECUTADO
JUNIO	744	0.25	99.97%	EJECUTADO
JULIO	720	0.5	99.93%	EJECUTADO
AGOSTO	744	8.26	98.89%	EJECUTADO
SEPTIEMBRE	744	0.25	99.97%	PROYECTADO
OCTUBRE	720	0.25	99.97%	PROYECTADO
NOVIEMBRE	744	0.5	99.93%	PROYECTADO
DICIEMBRE	720	0.25	99.97%	PROYECTADO
ENERO	744	0.5	99.93%	PROYECTADO
FEBRERO	744	9.29	98.76%	PROYECTADO
<b>DISPONIBILIDAD PROYECTADA ANUAL 2020</b>			<b>99.65%</b>	

*Fuente: (Elaboración propia)*

**Tabla 3.50.** Cálculo de disponibilidad contractual y proyectado luego de implementación RCM – CPT 15

PERIODO	TIEMPO CALENDARIO	DEMORAS POR MANTENIMIENTOS	DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL	OBSERVACIÓN
ABRIL	744	9.8	98.68%	EJECUTADO
MAYO	720	0	100.00%	EJECUTADO
JUNIO	744	0	100.00%	EJECUTADO
JULIO	720	2.5	99.65%	EJECUTADO
AGOSTO	744	0	100.00%	EJECUTADO
SEPTIEMBRE	744	0	100.00%	PROYECTADO
OCTUBRE	720	11.7	98.38%	PROYECTADO
NOVIEMBRE	744	0	100.00%	PROYECTADO
DICIEMBRE	720	0	100.00%	PROYECTADO
ENERO	744	0	100.00%	PROYECTADO
FEBRERO	744	2.5	99.66%	PROYECTADO
MARZO	696	0	100.00%	PROYECTADO
<b>DISPONIBILIDAD PROYECTADA ANUAL 2020</b>			<b>99.70%</b>	

*Fuente: (Elaboración propia)*



**Figura 3. 18.** Tendencia disponibilidad contractual a Agosto 2019

*Fuente: (Elaboración propia- Base de datos Crubher Toquepala)*

- De los repuestos críticos hallados en el compresor CPT DLIX son 7 los que deberían de estar en stock pues su cambio sería a condición siendo el costo de estos \$ 8041.56 lo cual es despreciable frente a la hora de parada del proceso pues en el hipotético caso que sucediera pasarían 45 minutos para que empiece a parar las fajas transportadoras y lo mecanismos de la chancadora por falta de lubricación y engrase además de la desactivación de todos los instrumentos de control neumático del edificio de Chancado Depósitos Lixiviables , además que dichos repuestos también podrían servir para los compresores CPT 12, CPT 14 y CPT 15 por ser de la misma marca y similar modelo.
- De igual manera el costo de los repuestos para el compresor CPT 15 suma a \$ 8553.57, que también es insignificante frente a los 376320 kg. de concentrado de cobre /hora que dejaría de secar debido a la parada del compresor.

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- Se realizó el análisis de criticidad a toda la flota de compresores estacionarios de planta concentradora (24 equipos) que se tienen en contrato, se pudo determinar que los compresores de mayor criticidad son el de Chancadora Depósitos Lixiviables y el compresor de alta presión de Filtros Larox que pese a tener una disponibilidad contractual por encima de lo estipulado en el contrato (>98%) con la minera su impacto de parada inesperada es relevante puesto que son equipo que no tienen equipo de reemplazo.
- Se pudo realizar el análisis de las funciones a los sistemas críticos que están afectando directamente a la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, cabe indicar que luego del análisis se pudo entender que hay modos de fallas asociados que causan diferentes fallas funcionales, lo cual ayudó a disminuir las tareas de mantenimiento repetidas. Finalmente en este punto se determinó que las fallas eléctricas se dan en un 32.1 % las cuales son inaceptables y no estaba considerado en ninguna tarea preventiva.
- Se pudo determinar que para la realización de tareas rutinarias en el compresor CPT DLIX y CPT 15 debe ser de manera semanal y quincenal respectivamente con un total de 2.3 horas hombre los cuales deben ser considerados en las programaciones semanales de inspecciones rutinarias las cuales se realizarán sin parar el equipo, adicional a eso se determinó la frecuencia mínima de intervención al equipo mediante los MTBF hallados con los parámetros de

Weibull determinando que para el Compresor CPT DLIX el mínimo tiempo será 4000 horas y para el CPT 15 son 2000 horas pues hay tareas de inspección y conservación que se deberían realizar junto con los mantenimientos preventivos. Cabe indicar que este puede ser un valor de referencia para los demás equipos de la flota como son el compresor CPT 14, CPT 12, MTCP 006 y MTCP 005.

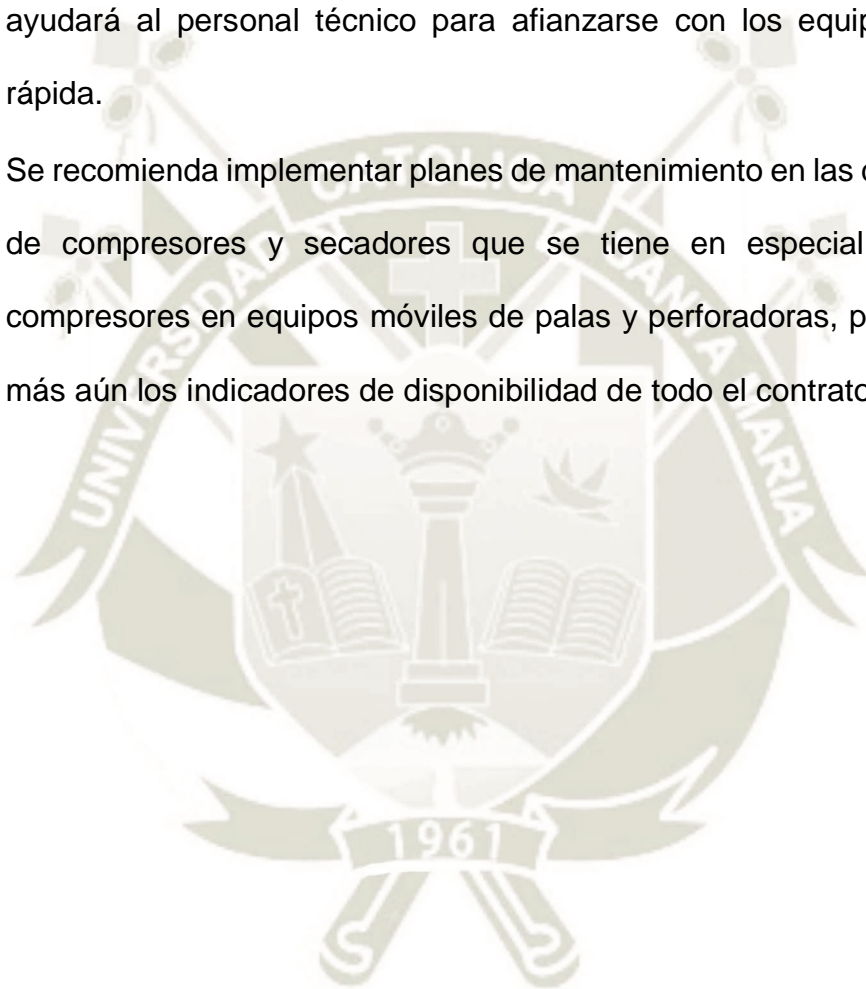
- Se determinó la lista de repuestos críticos, para esto se tomó en cuenta que los modos de falla que no pueden ser detectados y merezcan acciones correctivas además que sean inaceptables o deseables deben de tener stock mínimo en almacén, encontrando que en el equipo CPT DLIX (GA 160) se tienen 7 repuestos críticos que económicamente son \$ 8041.56 y para el compresor CPT 15 (GR 200) suman \$ 8553.87 los cuales deberían permanecer en Stock para evitar una parada total de la Chancadora de Depósitos Lixiviables o de Filtros Larox.
- Se implementó dos planes de mantenimiento a compresores de modelo GA 160 y GR 200 de la marca Atlas Copco por ser los más críticos, se aprecia que en comparación con las rutinas de mantenimiento que te da el fabricante, según los datos históricos los compresores estacionarios a tornillo lubricado tienen mayor incidencia de fallas eléctricas, los cuales si son considerados en los planes de mantenimiento implementados mediante el RCM, pues se observó que antes de la implementación la disponibilidad anual del compresor CPT 15 era 98.85% y 14 paradas imprevistas, luego de la implementación la disponibilidad proyectada subiría a 99.70% y cero paradas imprevistas. Así mismo en el compresor CPT DLIX la disponibilidad anual anterior era 98.89%

y 17 paradas imprevistas pero luego de la implementación la disponibilidad proyectada anual subiría a 99.65% y cero paradas imprevistas.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una sinergia de los planes de mantenimientos implementados mediante el RCM con los planes de mantenimientos básicos que se tienen en los demás compresores de similar modelo, pero considerando el contexto operacional que generalmente hará que la frecuencia de cambio de los filtros de aire varíen.
- Se recomienda que las tareas predictivas como muestreo de aceite, análisis de vibraciones al motor principal, análisis de pulso choque del compresor se implementen a los compresores que tengan capacidad mayor a 100 Kw.
- Se recomienda tomar acción en cuanto a tener el stock mínimo en almacén y realizar la evaluación junto con equipos equivalentes que puedan tener los repuestos similares por ser de la misma marca, se debe tomar como sustento el presente estudio ante el cliente para su aceptación.
- Se recomienda la evaluación con el cliente sobre tener en Stock enfriadores de aceite a partir de las 16000 horas de funcionamiento, puesto que según el análisis de Weibull se determinó que ese es el MTBF que se estuvo presentando en los equipos y que su costo estimado promedio es de \$ 18500, pues partiría de un tema de política de gestión de mantenimiento de la gerencia de mantenimiento, pero como especialistas se debe de hacer la recomendación necesaria.

- Se recomienda capacitar al personal técnico en la filosofía de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para darle un valor agregado al servicio de la empresa contratista; puesto que, en la actualidad se observa que personal técnico nuevo no tiene una noción clara del funcionamiento de los compresores pero mediante la identificación y enseñanza de nuestro análisis ayudará al personal técnico para afianzarse con los equipos de manera rápida.
- Se recomienda implementar planes de mantenimiento en las diferentes flotas de compresores y secadores que se tiene en especial a la flota de compresores en equipos móviles de palas y perforadoras, para así mejorar más aún los indicadores de disponibilidad de todo el contrato.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fundación Wikimedia, Inc. (29 de Agosto de 2018). *Mina de Toquepala*. Obtenido de

Mina de Toquepala: Fundación Wikimedia, Inc.

Brastalén, M., & Orriols, R. (2004). Análisis modal de fallos y efectos. *Guía de buena práctica*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

COPCO, A. (2004). *Manual de Instrucciones Compresor GR 200 de Atlas Copco*.

COPCO, A. (2019). [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com). Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/Rental/Industries/Mining>:  
<https://www.atlascopco.com/es-pe/Rental/Industries/Mining>

García Garrido, S. (2018). *Artículos sobre plan de mantenimiento*. Obtenido de Renovetec: <http://renovetec.com/component/content/category/112-planes-de-mantenimiento>

García Garrido, S. (2008 de Julio de 25). *Ingeniería del mantenimiento*. Obtenido de XING: <https://www.xing.com/communities/posts/las-cinco-generaciones-de-mantenimiento-1004976130>

Grupo Nova Góngora. (29 de 11 de 2017). *El aire comprimido en la industria, fuente de energía segura, rápida y sostenible*. Obtenido de Interempresas: <http://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/204941-El-aire-comprimido-en-la-industria-fuente-de-energia-segura-rapida-y-sostenible.html>

Kececioglu. (1991). *Reliability Engineering Handbook*. Prentice Hall.

- MAntilla, A. y. (2008). *DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS Y RECIPROCANTES, COMPRESORES Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA PLANTA DE INYECCIÓN DE AGUA CASABE, PLANTA DE REINYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL CANTAGALLO Y ESTACIÓN 2 DE RECOLEC.* Colombia.
- Mena Guzmán, J. A. (2015). *BENEFICIOS DEL RCM ALCANZADO EN EQUIPO COMPRESOR COMPAÑÍA MINERA SINCHI WAYRA S.A.* Bolivia.
- Mesa, D. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* Scientia et Technica.
- MESA, D. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* Scientia et Technica.
- MESA, D., ORTIZ, Y., & PINZÓN, M. (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento.* Scientia et.
- Moreno Aguirre, E. M. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centradora en la confiabilidad (MCC) al compresor estacionario de tornillo de una etapa de la empresa metamecánica FAMECA SAC.* Trujillo.
- Moubray, J. (1991). RCM II. En J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad* (pág. 433). Carolina del Norte: Aladon LLC.
- Nayhua Gamarra, J. A. (2018). *DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20 EN LA EMPRESA EXPLODRILLING.* Arequipa.

Poveda, A. (2011). *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantemiento*. Ecuador.

reliabilityweb. (2015). *El Camino hacia el RCM*. Obtenido de reliabilityweb.com:  
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>



## ANEXOS

**ANEXO 01:** DATOS HISTÓRICOS DE FALLA PARA EL COMPRESOR CPT DLIX

**ANEXO 02:** DATOS HISTÓRICOS DE FALLA PARA EL COMPRESOR CPT 15

**ANEXO 03:** CÁLCULO PARA HALLAR LA FRECUENCIA DE CAMBIO DE  
VÁLVULAS SOLENOIDES DE CARGA DE COMPRESORES ATLAS  
COPCO

**ANEXO 04:** CÁLCULO PARA HALLAR LA FRECUENCIA DE FALLAS DE  
ENFRIADORES EN COMPRESOR A TORNILLO

**ANEXO 05:** PLANES DE MANTENIMIENTO HABITUALES SEGÚN MANUAL ATLAS  
COPCO PARA COMPRESORES GR 200 Y GA 160

**ANEXO 06:** LISTA DE PARTES DE COMPRESORES ATLAS COPCO GA160 Y  
GR200

**ANEXO 07:** AJUSTES PROGRAMABLES COMPRESOR ATLAS COPCO GR200

**ANEXO 08:** CIRCUITO ELÉCTRICO Y PROGRAMAS DE CONTROL  
COMPRESOR ATLAS COPCO GR200

**ANEXO 09:** HOJAS DE DECISIÓN DE CRÍTICIDAD BASADO EN EL RIESGO

**ANEXO 10:** HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS 2019

**ANEXO 01: DATOS HISTÓRICOS DE FALLA PARA EL COMPRESOR CPT DLIX**

EQUIPO	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	Correctivo	TIPO MANTTO	Hora de ingreso (LLEGADA)	Horas de Intervención	Horometro	Horas Acumuladas - Toma inicial
CPT DLIX	Fuga de aceite por enfriador	1	CORR	09:00 a.m.	4.00	84579	2579
CPT DLIX	Mantenimiento correctivo, Falla en el módulo de expansión	1	CORR	03:00 p.m.	4.00	88535	6575
CPT DLIX	Mantenimiento, válvula de admisión trabada	1	CORR	08:00 a.m.	5.00	88583	6623
CPT DLIX	Falso contacto	1	CORR	09:00 a.m.	6.00	88788	6828
CPT DLIX	Harness de control deteriorado	1	CORR	10:00 a.m.	8.00	90858	8898
CPT DLIX	Cambio de contactores por desgaste de contactos	1	CORR	09:00 a.m.	4.00	90865	8905
CPT DLIX	cambio de controlador - desconfigurado	1	CORR	08:00 a.m.	4.00	91823	9863
CPT DLIX	contacto de realimentación abierta	1	CORR	10:00 a.m.	3.00	91865	9905
CPT DLIX	Indicador de aceite averiado	1	CORR	10:00 a.m.	2.50	93410	11450
CPT DLIX	Falsa señal al controlador	1	CORR	10:00 AM	2.50	98565	16605
CPT DLIX	Válvula solenoide no acciona	1	CORR	02:00 PM	4.00	99269	17309
CPT DLIX	Compresor apagado, por contactor auxiliar en mal estado	1	CORR	02:00 PM	4.00	100608	18648
CPT DLIX	Correctivo, baja presión de aire	1	CORR	08:00 AM	4.50	105186	23226

## ANEXO 02: DATOS HISTÓRICOS DE FALLA PARA EL COMPRESOR CPT 15

EQUIPO	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	TIPO MANTTO	Horas De Trabajo	Horometro	Hora Acum.Falla
CPT 15	Correctivo, fuga de aceite por enfriador	<b>CORR</b>	6.00	75190	
CPT 15	CAMBIO DE MANGUERA DE CONTROL	<b>CORR</b>	4.00	77377	2187
CPT 15	Baja presión, evaluación / Mantenimiento correctivo	<b>CORR</b>	5.00	78175	2985
CPT 15	Falso contacto en contacto de arranque	<b>CORR</b>	3.00	82932	7742
CPT 15	Equipo apagado por presentar falla de sensor de temperatura de elemento 2	<b>CORR</b>	5.50	84978	9788
CPT 15	Baja presión de aire, equipo se encontró apagado	<b>CORR</b>	5.50	85705	10515
CPT 15	Correctivo, fuga de aceite por enfriador	<b>CORR</b>	3.00	88946	13756
CPT 15	Corectivo, fuga por enfriador	<b>CORR</b>	5.00	88979	13789
CPT 15	Correctivo, fisura de enfriador	<b>CORR</b>	2.50	89049	13859

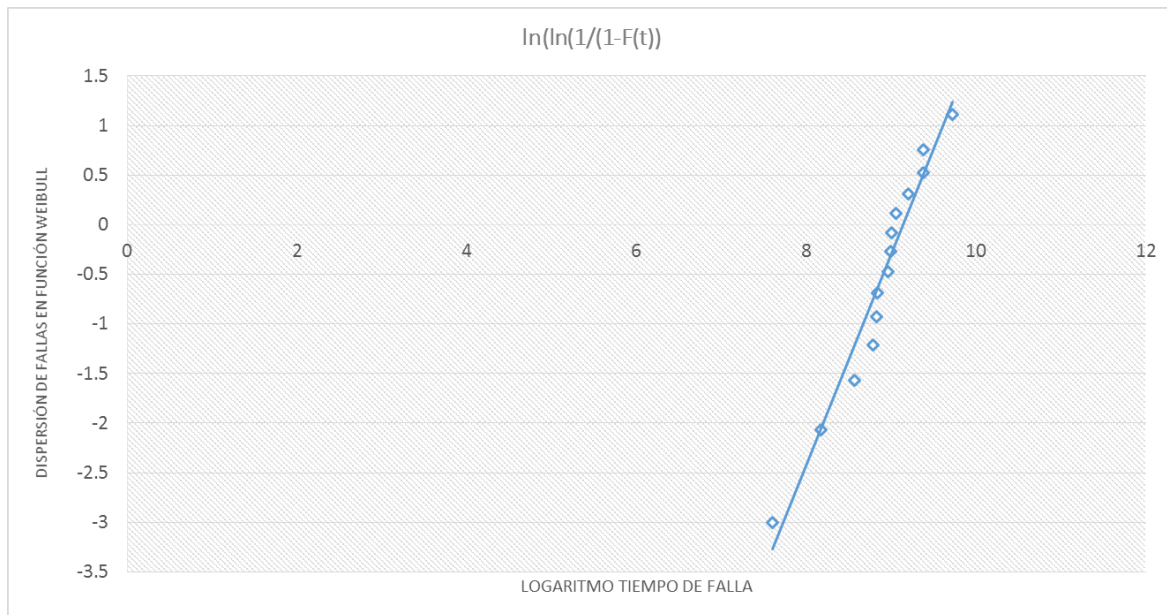
### ANEXO 03: CÁLCULO PARA HALLAR LA FRECUENCIA DE CAMBIO DE VÁLVULAS SOLENOIDES DE CARGA DE COMPRESORES ATLAS COPCO

EQUIPO	Descripción del trabajo	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	TIPO MANTTO	fecha ingreso	Hora Inicio	Hora Término	Horas De Trabajo	Horometro	Horas Cambio
MTCP 002	Se realiza el drenado del condensado, se realizó el de	Compresor No carga	CORR	20-jun-17	09:00 a.m.	06:00 p.m.	9.00	11832	11832
MTCP 001	Cambio filtro de aire, cambio de filtros de aceite (2),	Compresor No carga	CORR	06-jul-17	09:00 a.m.	04:00 p.m.	7.00	8118	8118
CPTZT1490	Mantenimiento Preventivo, cambio filtro de aceite (2)	Compresor No carga	CORR	2-ene-18	09:00 AM	04:00 PM	7.00	15042	16852
MTCP 006	Mantenimiento Programado, cambio filtro de aire, ca	Compresor No carga	CORR	8-ene-18	09:30 AM	11:00 AM	1.50	7027	8220
MTCP 005	Mantenimiento Programado, cambio filtro de aire, in	Válvula solenoide no acciona	CORR	8-ene-18	08:00 AM	09:30 AM	1.50	11012	6589
CPTZT1489	Mantenimiento Preventivo, cambio filtro de aire, can	Válvula solenoide no acciona, PM 4000	CORR	9-ene-18	09:00 AM	05:00 PM	8.00	4443	10008
CPTZT1490	Cambio filtro de aire, cambio filtros de aceite, cambi	Válvula solenoide no acciona	CORR	14-may-18	09:00 AM	10:00 AM	2.00	18109	3585
CPT 11	Cambio de solenoide de carga (usada CPT 10)	Compresor No carga	CORR	1-jun-18	10:00 AM	11:00 AM	1.00	71150	2018
CPT 12	Atención de emergencia, se desarmo la valvula solen	Compresor No carga	CORR	15-sep-18	09:30 AM	12:00 PM	2.50	74446	6852
MTCP 006	Cambio de válvula de alivio, se revisó el solenoide de	Válvula solenoide no acciona	CORR	10-dic-18	02:00 PM	05:00 PM	3.00	10403	11856
MTCP 005	Se inspeccionó area de trabajo, se inspecciona solen	Válvula solenoide no acciona	CORR	8-ene-19	02:00 PM	06:00 PM	4.00	15737	5258
CPT 11	Se inspeccionó el area de trabajo, se realizo limpieza	Compresor no controla presión, PM 80	CORR	9-ene-19	08:00 AM	05:30 PM	9.50	76525	6900
CPT 15	Se inspeccionó el area de trabajo, se realizo limpieza	Compresor no controla presión	CORR	10-ene-19	09:00 AM	03:00 PM	6.00	87309	8562
CPT DLUX	Se realizó la limpieza general del equipo, se drenó y	Compresor no controla presión y PM	CORR	7-abr-19	08:00 AM	06:00 PM	10.00	104763	7852

- Ordenando en forma ascendente las fallas y graficando.

# FALLAS	FALLAS Hrs	F(T)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))
1	2018	4.86%	7.61	-3.00
2	3585	11.81%	8.18	-2.07
3	5258	18.75%	8.57	-1.57
4	6589	25.69%	8.79	-1.21
5	6852	32.64%	8.83	-0.93
6	6900	39.58%	8.84	-0.69
7	7852	46.53%	8.97	-0.47
8	8118	53.47%	9.00	-0.27
9	8220	60.42%	9.01	-0.08
10	8562	67.36%	9.06	0.11
11	10008	74.31%	9.21	0.31
12	11832	81.25%	9.38	0.52
13	11856	88.19%	9.38	0.76
14	16852	95.14%	9.73	1.11

- A continuación se tiene el ploteo de las fallas y la estimación de su tendencia.



- Los parámetros de Weibull serían

$\beta$	2.1260
$\eta$	9407.449
$\gamma$	0

- Sabiendo que:  $MTBF = \gamma + \eta * \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$

$$MTBF = 0 + 9407.449 * \Gamma(1 + \frac{1}{2.1260})$$

$$MTBF = 8331.57 \text{ Horas/falla}$$

- Por lo tanto es correcto considerar que para un múltiplo de los mantenimientos preventivos habituales de los compresores sería razonable cambiar dicha válvula cada 8000 horas.

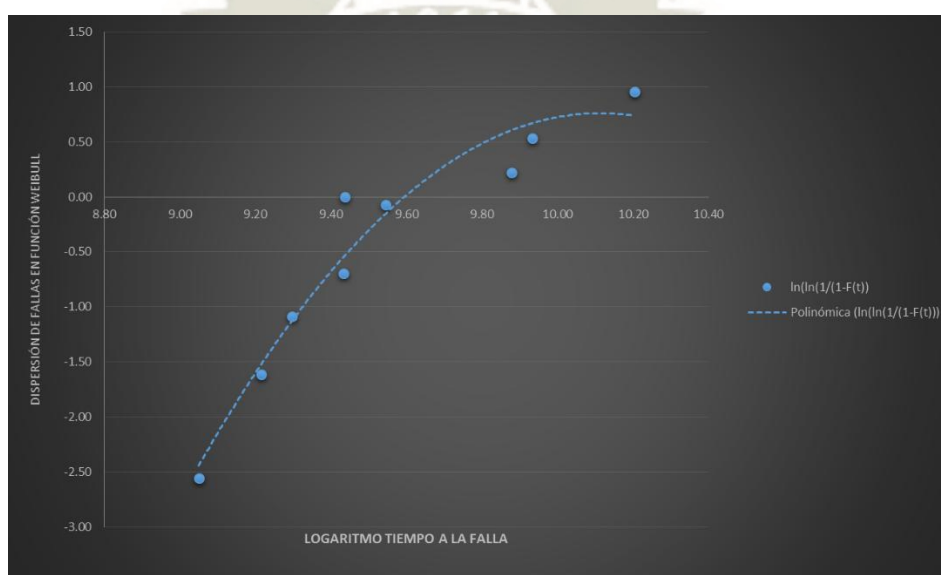
### ANEXO 04: CÁLCULO PARA HALLAR LA FRECUENCIA DE FALLAS DE ENFRIADORES EN COMPRESOR A TORNILLO

EQUIPO	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	TIPO MANTTO	fecha ingreso	Hora Inicio	Hora Término	Horas De Trabajo	Horometro
CPT 14	Cambio de enfriador de aceite correctivo	PM	03-ene-16	09:00 a.m.	12:30 p.m.	3.50	12508
CPT DLIX	Cambio de enfriador del compresor mantenimiento	PM	27-feb-16	08:00 a.m.	06:00 p.m.	10.00	20587
PAT 4	Mantenimiento programado mantenimiento	PM	23-abr-16	08:00 a.m.	02:00 p.m.	6.00	13970
CPT 15	Cambio de enfriador de aceite correctivo	CORR	25-oct-16	09:30 a.m.	11:30 a.m.	2.00	10896
CPT 2M	Mantenimiento preventivo, S Instalación de enfriador, Mantenimiento preventivo	PM	13-may-17	08:00 a.m.	06:00 p.m.	10.00	26983
PAT 1	Mantenimiento Preventivo, c Mantenimiento Preventivo	PM	31-ene-18	11:00 AM	06:30 PM	7.50	19507
PAT 8	Se realizo limpieza general de Mantenimiento Preventivo	PM	30-dic-18	10:30 AM	04:00 PM	5.50	8518
CPTZT1501	Mantenimiento Correctivo, Ca Correctivo, por cambio de enfriador y ventilador	CORR	29-mar-19	08:00 AM	06:00 PM	10.00	10056
PAT 7	Cambio de filtro de aire, cam Mantenimiento preventivo	PM	29-abr-19	09:00 AM	05:30 PM	8.50	12552

- Ordenando en forma ascendente las fallas para graficarlo.

N falla	Horas	F(T)	ln(t)	ln(ln(1/(1-F(t))))
1	8518	7.45%	9.05	-2.56
2	10056	18.09%	9.22	-1.61
3	10896	28.72%	9.30	-1.08
4	12508	39.36%	9.43	-0.69
5	12552	50.00%	9.44	-0.37
6	13970	60.64%	9.54	-0.07
7	19507	71.28%	9.88	0.22
8	20587	81.91%	9.93	0.54
9	26983	92.55%	10.20	0.95

- En la siguiente figura se observa que la tendencia no es lineal por lo que con ayuda de SOLVER en Excel se procede a realizar la linealización.



- Luego de aplicar SOLVER se obtiene los valores de Weibull y los nuevos valores para el ploteo de la tendencia.

$\beta$	1.1255
$\gamma$	7701.9255 (Valor Hallado con ayuda de Solver)
$\eta$	8195.6993
Coef Corr	0.9900
R	1.0000
Diferencia	0.0100

N	T-y(hrs)	F(T)	Ln(t-y)	ln(Ln(1/(1-F(t))))
1	816.1	7.45%	6.70	-2.56
2	2354.1	18.09%	7.76	-1.61
3	3194.1	28.72%	8.07	-1.08
4	4806.1	39.36%	8.48	-0.69
5	4850.1	50.00%	8.49	-0.37
6	6268.1	60.64%	8.74	-0.07
7	11805.1	71.28%	9.38	0.22
8	12885.1	81.91%	9.46	0.54
9	19281.1	92.55%	9.87	0.95



- Sabiendo que:  $MTBF = \gamma + \eta * \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$

$$MTBF = 7701.9255 + 8195.70 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.13}\right)$$

$$MTBF = 15552.48 \text{ Horas/falla}$$

- Como se puede observar que según datos históricos el compresor podría tener una falla por fuga de aceite por el enfriador a partir de las 15552 Horas, para el cual se debería prever stock del componente ante cualquier evento.



## ANEXO 05: PLANES DE MANTENIMIENTO HABITUALES SEGÚN MANUAL ATLAS COPCO PARA COMPRESORES GR 200 Y GA 160

### Programa de mantenimiento preventivo

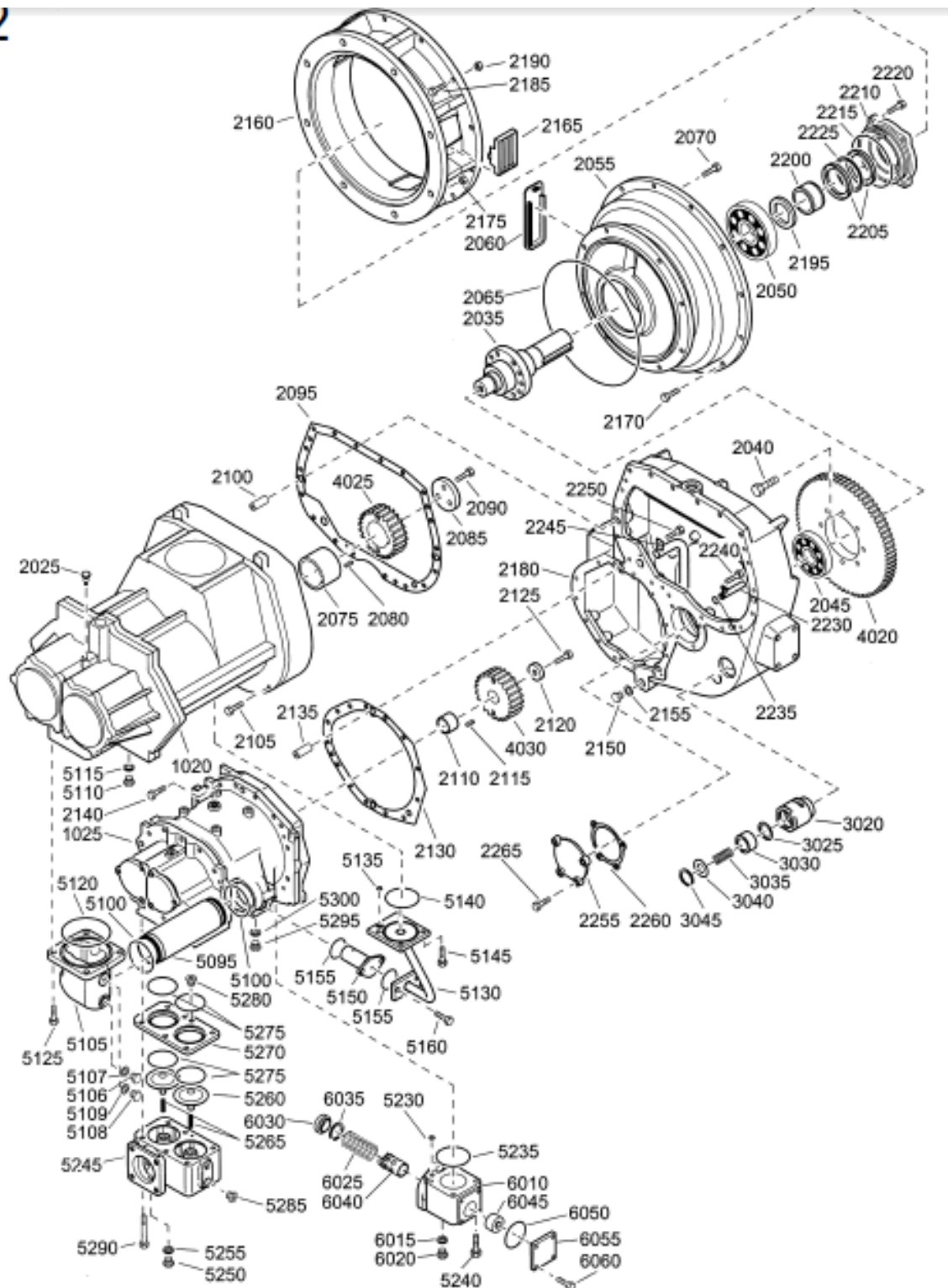
Periodo	Horas de funcionamiento	Operación
A diario	8	Compruebe las indicaciones en el display.
A diario	8	Compruebe que se descarga el condensado durante la carga.
A diario	8	Compruebe el nivel de aceite. Antes de arrancar, el nivel tiene que estar en el centro de la mirilla.
Semanalmente	--	Vacíe el condensado del depósito de aire, si está instalado
Cada 3 meses	--	Limpie el compresor.
Cada 3 meses	--	Compruebe si hay fugas.
Cada 3 meses	500	Compruebe los refrigeradores; límpielos si es necesario. Vea la sección <a href="#">Refrigeradores</a> .
Cada 3 meses	--	Desmunte los cartuchos de los filtros de aire e inspecciónelos
Anualmente	--	Haga probar la válvula de seguridad
Anualmente	--	Haga inspeccionar todas las tuberías flexibles
Anualmente	4000	Cambie los filtros de aceite
Cada 2 años	8000	Haga cambiar el elemento separador de aceite
Cuando aparezca	--	Lleve a cabo las acciones de servicio de acuerdo con los planes de servicio mostrados.

### Programa de mantenimiento preventivo

Periodo	Horas de funcionamiento	Funcionamiento
A diario	8	Compruebe las lecturas del display.
A diario	8	Compruebe que se descarga el condensado mientras la unidad funciona en carga.
A diario	8	Compruebe el nivel de aceite. Antes de arrancar, el nivel tiene que estar en el centro de la mirilla.
Semanalmente	--	Compruebe la limpieza de los filtros del armario. Cámbielos o límpielos si están sucios.
Semanalmente	--	Purgue el condensado del depósito de aire, si está instalado
Cada 3 meses	--	Limpie el compresor.
Cada 3 meses	--	Compruebe si hay fugas.
Cada 3 meses	500	Compruebe los refrigeradores y límpielos si es necesario. Consulte la sección <a href="#">Refrigeradores</a> .
Cada 3 meses	--	Desmunte los cartuchos de los filtros de aire e inspecciónelos.
Anualmente	--	Compruebe la válvula de seguridad.
Anualmente	--	Compruebe todas las mangueras flexibles.

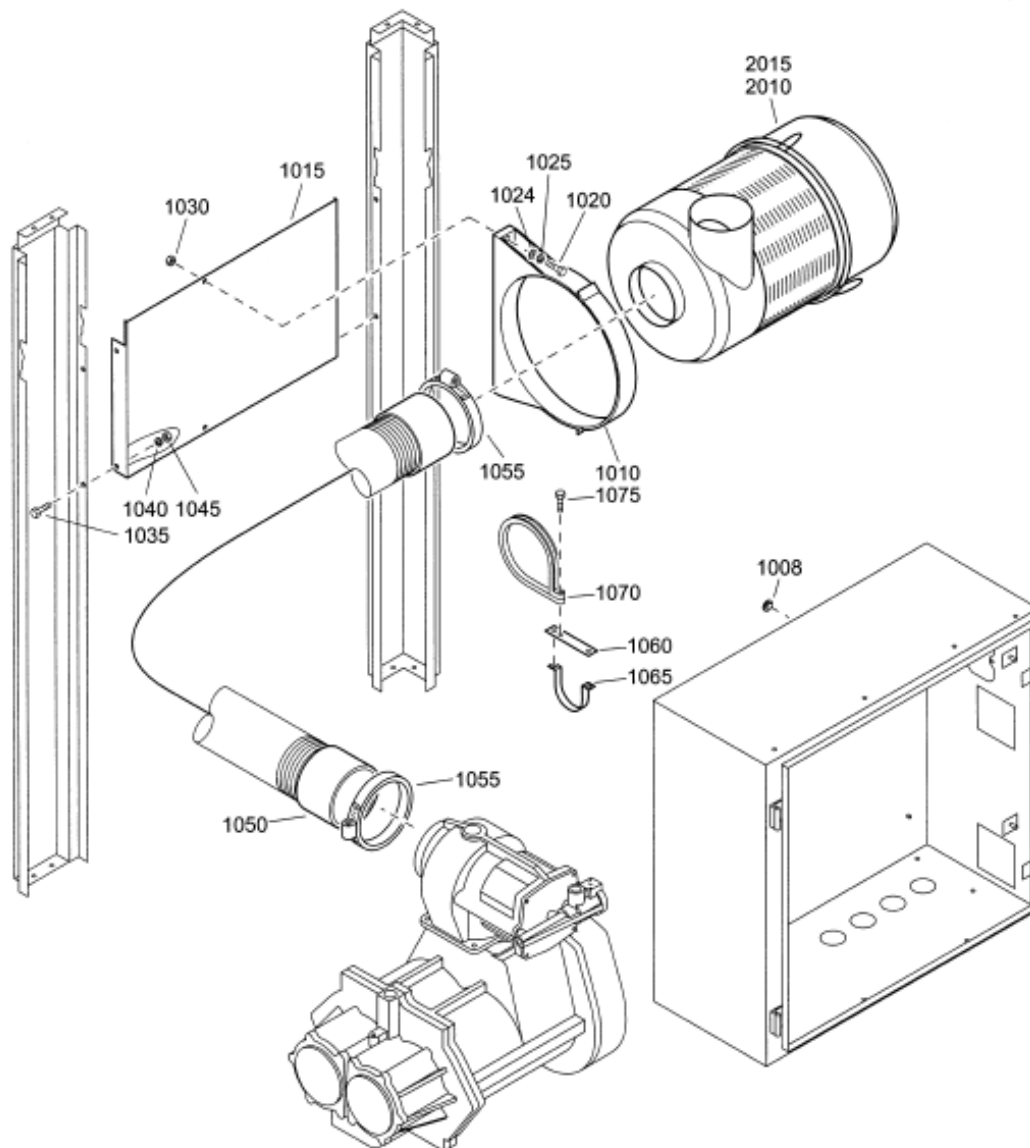
## ANEXO 06: LISTA DE PARTES PRINCIPALES COMPRESORES ATLAS COPCO

### GR 200



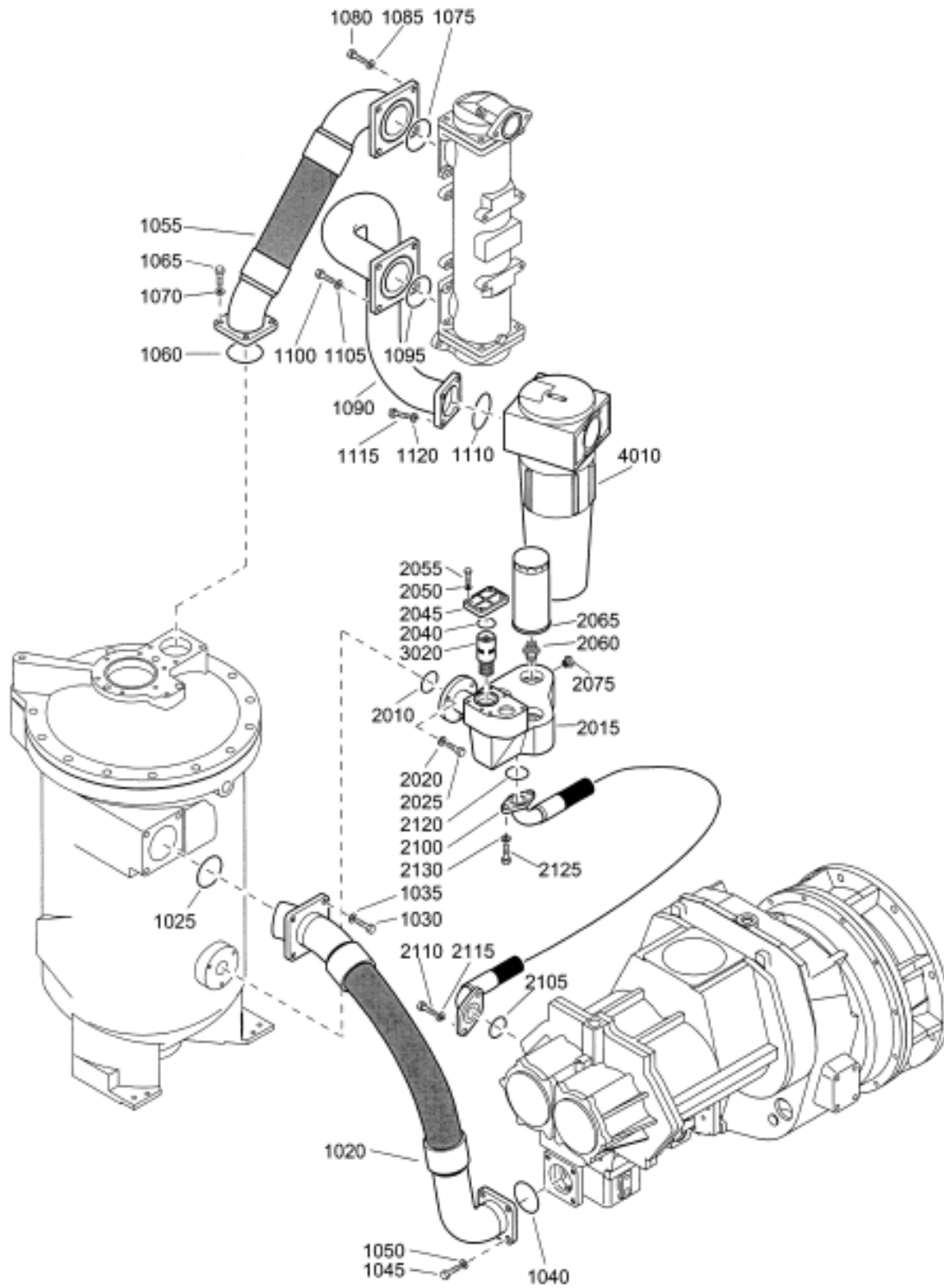
Drive arrangement

Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1 020	2934 9988 36	1	Service stage	LP	4025		1	Gear wheel	
1 025	1616 7098 91	1	Service stage	HP		1615 6811 00		GR200 13bar	
2 025	1619 6032 00	1	Nipple			1616 5651 00		GR160 13bar, GR200 200psi	
2 035	2252 5484 00	1	Drive shaft			1616 5656 00		GR110 290psi	
2 040	0211 1407 00	10	Cap screw			1616 5659 00		GR132 13bar	
2 045	0506 5109 00	1	Roller bearing			1616 6402 00		GR200 290psi	
2 050	0506 0100 08	1	Roller bearing			1621 9060 00		GR110 20bar, GR110 200psi	
2 055	2252 5485 00	1	Adaptor			1621 9063 00		GR200 20bar	
2 060	1614 7949 00	1	Protection			1202 8269 00		GR110 13bar	
2 065	0663 7177 00	1	O-ring			2254 1720 00		GR160 200psi	
2 070	0147 1365 03	8	Bolt		4030		1	Gear wheel	
2 075	2254 8831 00	1	Bushing			1615 6812 00		GR200 13bar	
2 080	0337 6074 00	1	Parallel key			1616 5652 00		GR160 13bar, GR200 200psi	
2 085	2252 5470 00	1	Washer			1616 5655 00		GR110 290psi	
2 090	0211 1409 00	3	Cap screw			1616 5658 00		GR132 13bar	
2 095	1202 7009 00	1	Gasket			1616 6403 00		GR200 290psi	
2 100	0101 1626 00	2	Pin			1621 9061 00		GR110 20bar, GR110 200psi	
2 105	0147 1380 03	18	Bolt			1621 9064 00		GR200 20bar	
2 110	2252 8448 00	1	Bushing			1202 8270 00		GR110 13bar	
2 115	0337 5194 00	1	Parallel key			1615 6393 00		GR160 200psi	
2 120	1613 2197 00	1	Washer		5095	2252 8450 11	1	Connection	
2 125	0147 1409 03	1	Bolt			5100 0663 2106 13	2	O-ring	
2 130	1202 7010 00	1	Gasket			5105 2252 8449 11	1	Housing	
2 135	0101 1626 00	2	Pin			5106 0686 3716 01	1	Plug	
2 140	0147 1371 03	13	Bolt			5107 0661 1000 25	1	Seal washer	
2 150	0686 3716 02	1	Plug			5108 0686 4201 03	1	Plug	
2 155	0661 1000 27	1	Seal washer			5109 0653 1046 00	1	Flat gasket	
2 160		1	Coupling housing			5110 0686 4201 03	1	Plug	
	1614 6792 00	1	GR110 ABB motor IEC 50Hz			5115 0653 1046 00	1	Flat gasket	
	1614 6794 00	1	GR110 SIEMENS motor 60Hz			5120 0663 2106 20	1	O-ring	
	1614 6798 00	1	GR160 SIEMENS motor 60Hz			5125 0147 1962 31	4	Bolt	
	1614 6796 00	1	Others			5130 2252 9814 11	1	Connection	
2 165	1614 6611 00	3	Grating			5135 0663 3120 00	1	O-ring	
2 170		8	Bolt			5140 0663 2106 15	1	O-ring	
	0147 1482 03		GR110 ABB motor IEC 50Hz			5145 0147 1962 29	4	Bolt	
	0147 1555 03		Others			5150	1	Nozzle	
2 175		8	Nut			2252 8934 05		GR110 13bar, GR110 20bar, GR110 200psi, GR110 290psi, GR132 13bar	
	0266 2114 00		GR110 ABB motor IEC 50Hz					GR200 20bar, GR200 290psi, GR160 13bar, GR160 200psi, GR200 13bar, GR200 200psi	
	0266 2116 00		Others						
2 180	2252 5483 00	1	Gear casing			2252 8934 07			
2 185	0147 1367 03	12	Bolt			2252 8934 09			
2 190	0266 2111 00	12	Nut						
2 195	2252 5477 00	1	Washer			5155 0663 2106 10	2	O-ring	
2 200	2252 5478 00	1	Bushing			5160 0147 1364 03	2	Bolt	
2 205	1619 5177 00	2	Sealing ring			5230 0663 3120 00	1	O-ring	
2 210	2252 5479 00	1	Retainer			5235 0663 2106 15	1	O-ring	
2 215	0663 2107 76	1	O-ring			5240 0147 1379 03	4	Bolt	
2 220	0147 1366 03	4	Bolt			5245 2252 8455 11	1	Valve housing	
2 225	2254 7604 00	1	Ring			5250 0686 3716 02	1	Plug	
2 230	2252 5489 00	2	Oil nozzle			5255 0661 1000 27	1	Seal washer	
2 235	0663 3117 00	2	O-ring			5260 2253 9671 00	2	Valve	
2 240	0147 1244 03	2	Bolt			5265 2254 8075 00	2	Compr.spring	
2 245	2252 5492 00	1	Drain pipe			5270 2253 1298 00	1	Valve seat	
2 250	0147 1244 03	1	Bolt			5275 0663 2106 15	4	O-ring	
2 255	2252 5487 00	1	Cover			5280 0211 1244 00	1	Cap screw	
2 260	1202 7011 00	1	Gasket			5285 1614 7864 00	1	Bushing	
2 265	0147 1364 03	4	Bolt			5290 0147 1381 03	6	Bolt	
	2253 2423 80	1	Safety valve			5295 0686 3716 02	1	Plug	
3 020	2253 2423 00	•	Valve housing			5300 0653 1124 00	1	Flat gasket	
3 025	2253 3033 00	•	Seal			1614 9185 80	1	Oil stop valve	
3 030	2253 2424 00	•	Valve			6010 1614 9185 00	•	Valve housing	
3 035	2253 1809 00	•	Spring			6015 0661 1000 25	•	Seal washer	
3 040	2253 2425 00	•	Spacer			6020 0686 3716 01	•	Plug	
3 045	0335 2145 00	•	Int.circlip			6025 2254 9868 00	•	Compr.spring	
4 020		1	Gear wheel			6030 2252 6269 00	•	Spring guide	
	1615 6810 00		GR200 13bar			6035 0335 2145 00	•	Int.circlip	
	1616 5653 00		GR160 13bar, GR200 200psi			6040 2255 2751 00	•	Valve	
	1616 5654 00		GR110 290psi			6045 2255 2813 00	•	Piston	
	1616 5657 00		GR132 13bar			6050 0663 2106 12	•	O-ring	
	1616 6401 00		GR200 290psi			6055 1614 9120 00	•	Cover	
	1621 9059 00		GR110 20bar, GR110 200psi			6060 0147 1325 03	•	Bolt	
	1621 9062 00		GR200 20bar						
	2253 0013 00		GR110 13bar						
	2254 1719 00		GR160 200psi						



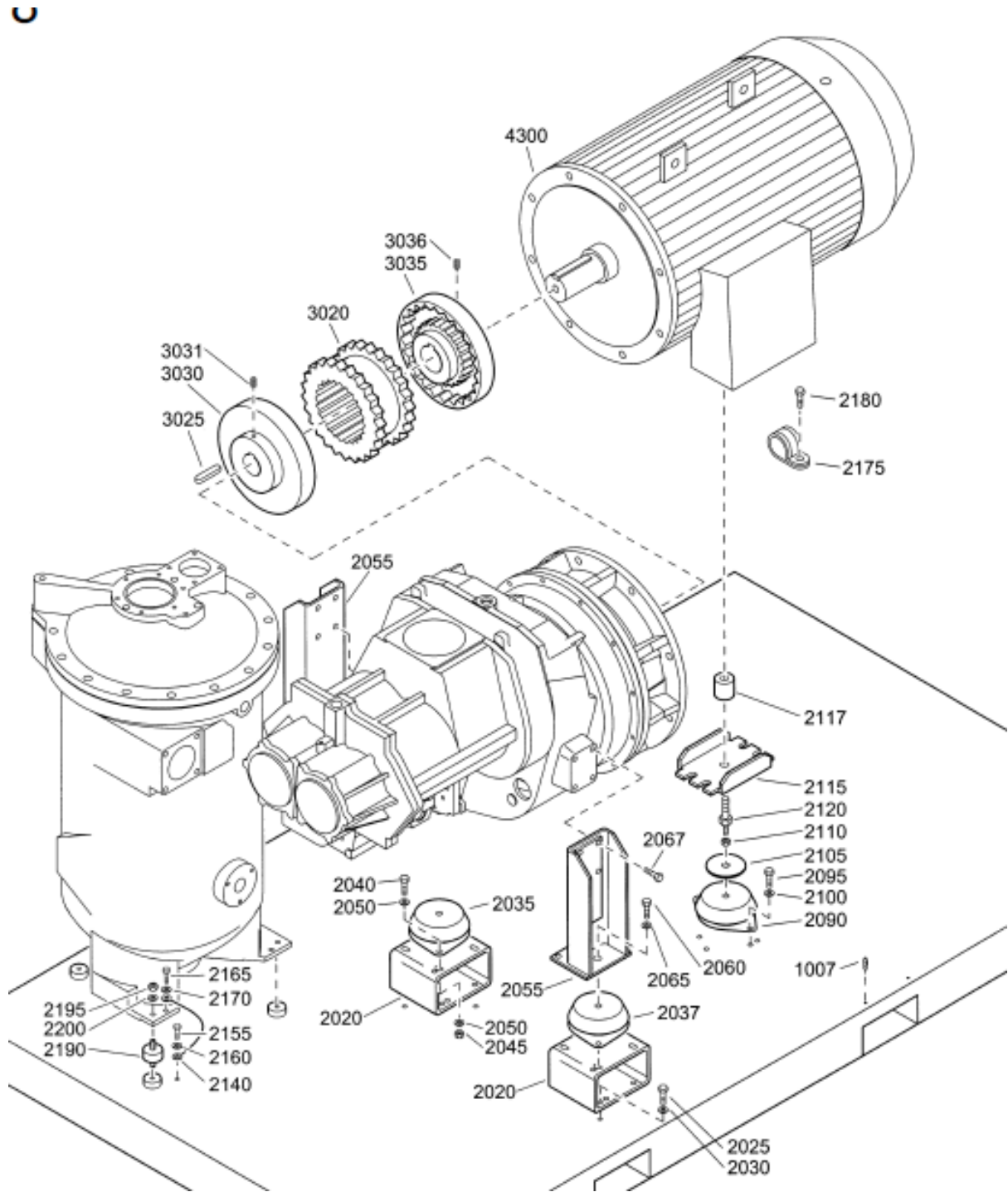
Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1008	1616 2987 00	8	Plug		1050	1614 9376 00	1	Hose assembly	
1010	1614 9368 00	1	Clamp		1055	0347 6100 45	2	Hose clamp	
1015	1614 9187 00	1	Support		1060	1614 9873 00	1	Support	
1020	0147 1327 03	2	Bolt		1065	1614 9299 00	1	Support	
1024	0301 2335 00	2	Washer		1070	0346 1000 27	1	Pipe clamp	
1025	0333 3227 00	2	Lock washer		1075	1619 2766 00	3	Bolt	
1030	0266 2110 00	2	Nut			<b>1614 9367 00</b>	<b>1</b>	<b>Air filter</b>	
1035	0147 1322 03	4	Bolt		2010		• 1	Filter housing	
1040	0333 3227 00	4	Lock washer		2015	2914 5017 00	• 1	Filter element	
1045	0266 2110 00	4	Nut						

U

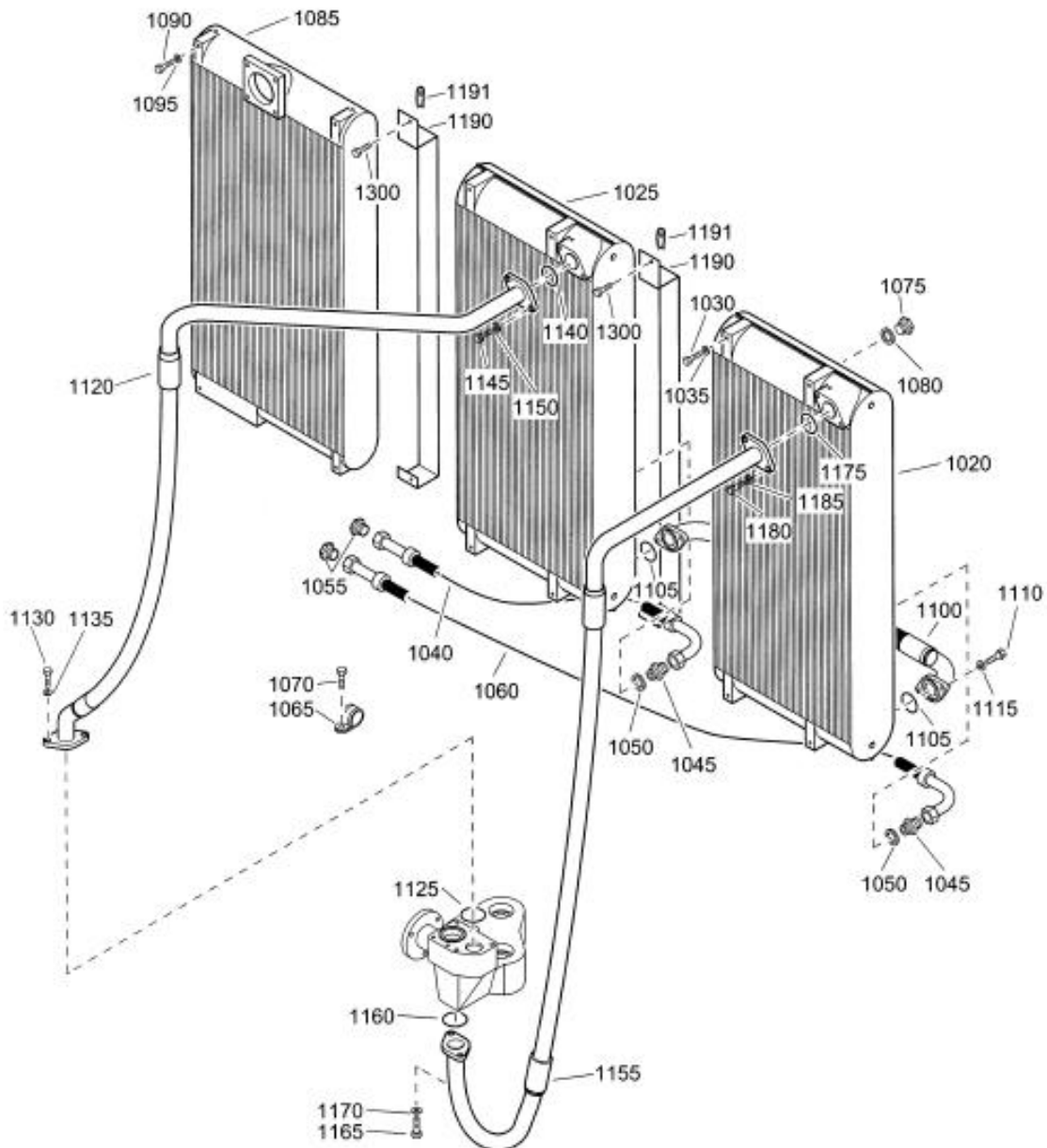


Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1020	1621 9050 00	1	Hose assembly		2075	1621 9349 00	1	Socket	
1025	0663 2106 18	1	O-ring		2100	1621 9140 00	1	Hose assembly	
1030	0147 1403 03	4	Bolt		2105	0663 2106 11	1	O-ring	
1035	0301 2358 00	4	Washer		2110	0147 1401 03	2	Bolt	
1040	0663 2106 17	1	O-ring		2115	0301 2358 00	2	Washer	
1045	0147 1403 03	4	Bolt		2120	0663 2109 68	1	O-ring	
1050	0301 2358 00	4	Washer		2125	0147 1362 03	2	Bolt	
1055	1621 9052 00	1	Hose assembly		2130	0301 2344 00	2	Washer	
1060	0663 2106 17	1	O-ring		3020		1	Thermostatic valve	
1065	0147 1364 03	4	Bolt			1202 5869 01		GR110 20bar, GR110 290psi	
1070	0301 2344 00	4	Washer			1202 5869 02		GR132 13bar, GR132 200psi, GR160 13bar, GR160 200psi, GR200 13bar, GR200 200psi, GR200 20bar, GR200 290psi	
1075	0663 2106 17	1	O-ring					GR110 13bar, GR110 200psi, GR132 20bar, GR132 290psi, GR160 20bar, GR160 290psi	
1080	0147 1364 03	4	Bolt			1202 5869 03		Spring	
1085	0301 2344 00	4	Washer					Water separator	
1090	1614 9448 11	1	Pipe					Electronic Condensate Drain	
1095	0663 2106 15	1	O-ring					13bar, 200psi	
1100	0147 1364 03	4	Bolt					20bar, 290psi	
1105	0301 2344 00	4	Washer						
1110	0663 2109 69	1	O-ring						
1115	0211 1401 03	4	Cap screw						
1120	0301 2358 00	4	Washer						
2010	0663 2107 77	1	O-ring						
2015	1614 9006 02	1	Oil filter housing						
2020	0301 2344 00	3	Washer						
2025	0147 1363 03	3	Bolt						
2040	0663 2107 77	1	O-ring						
2045	1614 9007 00	1	Cover		4010	1202 5868 00	1		
2050	0301 2335 00	4	Washer			1613 9463 81			
2055	0147 1325 03	4	Bolt			1613 9463 80			
2060	2254 7257 00	3	Nipple			1613 9463 82			
2065	1202 8040 00	3	Oilfilter						



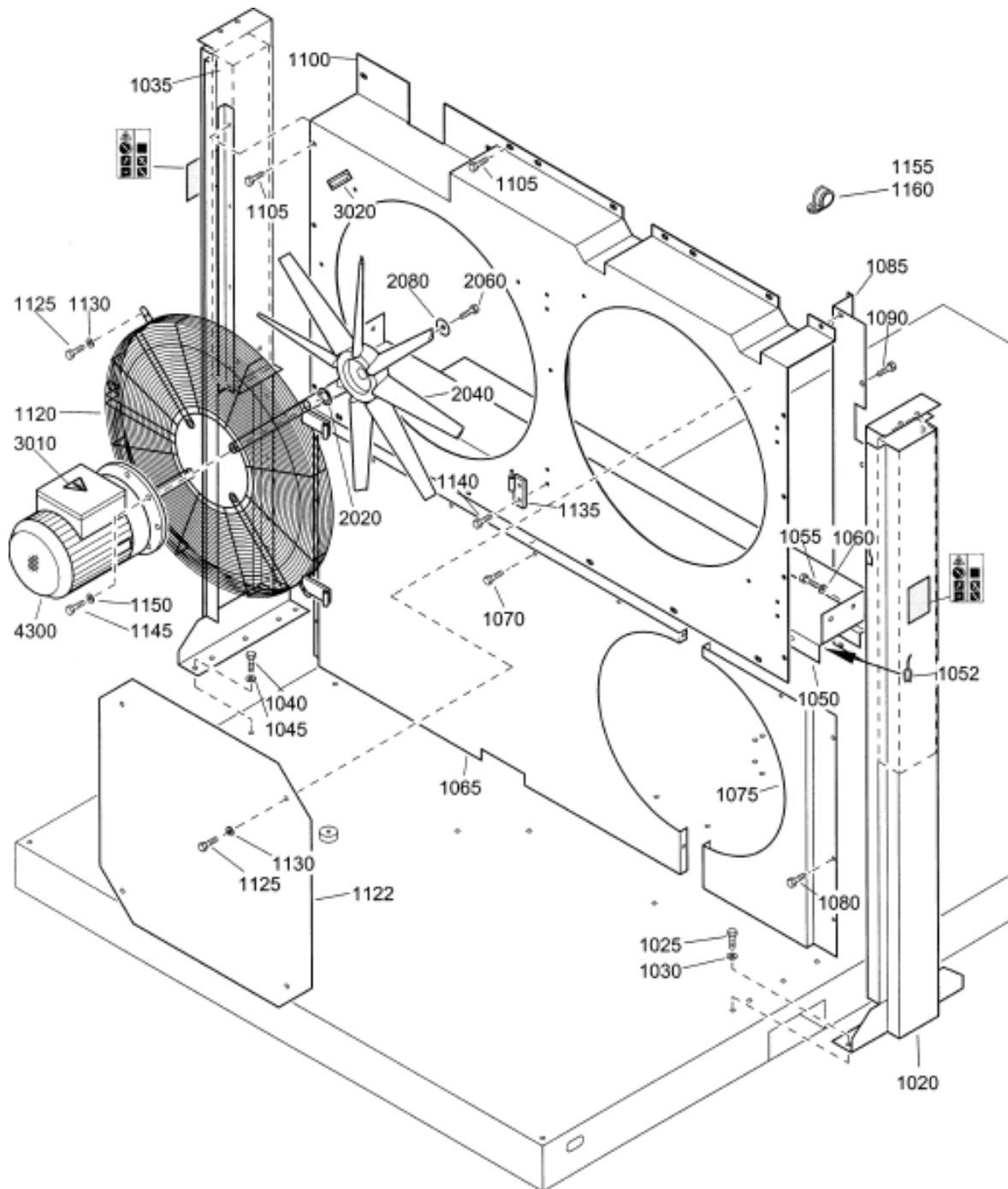


Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
	1614 9726 80	1	Frame		3020		1	Flex coupling	
1005		1	Frame		1614 8739 00			GR200	
1007	1614 9851 00	4	Pin		1614 8738 00			Others	
2020	1621 9070 00	2	Support		3025 0337 5305 00		1	Parallel key	
2025	0147 1401 03	4	Bolt		3030		1	Coupling half	
2030	0301 2358 00	4	Washer		2255 0196 01			GR200	
2035		1	Antivibration pad		2254 7357 01			Others	
	1619 5318 01		GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz, GR without motor		3031 0196 1360 00		1	Screw plug	
			Others		3035		1	Coupling half	
2037	1619 5318 02	1	Antivibration pad		2254 7357 12			GR110 ABB motor 50Hz	
	1619 5318 01		GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz, GR without motor		2254 7357 07			GR110 ABB motor 60Hz, GR132 ABB motor 50Hz, GR160 ABB motor 50Hz	
			Others		2254 7357 04			GR110 Siemens motor 60Hz	
2040	0147 1401 03	4	Bolt		2254 7357 06			GR160 Siemens motor 60Hz	
2045	0266 2112 00	4	Nut		2254 7357 03			GR110-132-160 no motor	
2050	0301 2358 00	8	Washer		2255 0196 04			GR200	
2055	1621 9068 00	2	Support		2255 0196 03			GR200 no motor	
2060	0147 1476 03	2	Bolt		3036 0196 1360 00		1	Screw plug	
2065	0333 3244 00	2	Lock washer		4300		1	Motor	
2067	0147 1401 03	8	Bolt		1080 4022 34			<b>ABB motor</b>	
2090		1	Antivibration pad		1080 4022 02			GR110 2) 230V/50Hz	
	1619 5318 01		GR200 ABB motor, GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz		1080 4022 33			GR110 1) 400V/50Hz	
			Others		1080 4022 31			GR110 2) 400V/50Hz	
2095	0147 1400 03	2	Bolt		1080 4022 31			GR110 2) 500V/50Hz	
2100	0301 2358 00	2	Washer		1080 4023 51			GR110 2) 220V/60Hz	
2105	1614 6600 00	1	Disc		1080 4023 18			GR110 1) 380V/60Hz	
2110	0261 2114 00	1	Nut		1080 4023 32			GR110 2) 380V/60Hz	
2115		1	Support		1080 4023 19			GR110 1) 440V/60Hz	
	1614 8743 00		GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz		1080 4023 52			GR110 2) 440V/60Hz	
			Others		1080 4023 54			GR132 2) 230V/50Hz	
2117	1614 6599 00	1	Spacer		1080 2857 12			GR132 1) 400V/50Hz	
	1614 8746 00		GR110 Siemens motor 60Hz		1080 2857 51			GR132 2) 500V/50Hz	
	1614 9710 00		GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz		1080 2857 53			GR160 2) 400V/50Hz	
2120		1	Stud		1080 2857 18			GR160 2) 500V/50Hz	
	1614 6597 00		GR110 ABB motor 60Hz, GR132 ABB motor 50Hz, GR160 ABB motor 50Hz, GR200 ABB motor		1080 2857 52			GR160 1) 380V/60Hz	
			GR110 ABB motor 50Hz		1080 2857 19			GR160 2) 380V/60Hz	
	1614 6659 00		GR110 Siemens motor 60Hz		1080 2857 62			GR160 2) 440V/60Hz	
	1614 8701 00		GR160 Siemens motor 60Hz, GR200 Siemens motor 60Hz		1080 2859 52			GR200 1) 400V/50Hz	
	1614 9499 00		Others		1080 2859 82			GR200 2) 400V/50Hz	
2140	0017 2071 00	AR	Cable		1080 2859 84			GR200 2) 500V/50Hz	
2155	0147 1322 03	1	Bolt		1080 2859 88			GR200 2) 380V/60Hz	
2160	0333 3227 00	1	Lock washer		1080 2859 59			GR200 1) 440V/60Hz	
2165	0147 1358 03	1	Bolt		1080 2859 89			GR200 2) 440V/60Hz	
2170	0333 3232 00	1	Lock washer		1080 4006 29			<b>SIEMENS motor CSA, UL</b>	
2175	1619 2861 04	2	Clamp		1080 4006 30			GR110 440-460V/60Hz	
2180	1619 2766 00	1	Bolt		1080 2639 09			GR160 575V/60Hz	
2190	1614 9542 00	3	Buffer		1080 2639 10			GR160 440-460V/60Hz	
2195	0266 2111 00	3	Nut		1080 4050 09			GR200 575V/60Hz	
2200	0333 3232 00	3	Lock washer		1080 4050 10			GR200 440-460V/60Hz	
								575V/60Hz	
					1)			Basic motor	
					2)			Full option motor	



Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1020	1621 9048 00	1	Oilcooler		1115	0301 2344 00	4	Washer	
	1621 9044 00		GR110		1120	1621 9137 00	1	Hose assembly	
			Others		1125	0663 2109 68	1	O-ring	
1025	1621 9047 00	1	Oilcooler		1130	0147 1362 03	2	Bolt	
	1621 9046 00		GR110		1135	0301 2344 00	2	Washer	
			Others		1140	0663 2109 68	1	O-ring	
1030	0147 1323 03	8	Bolt		1145	0147 1363 03	2	Bolt	
1035	0300 8019 00	8	Washer		1150	0301 2344 00	2	Washer	
1040	0575 0125 37	1	Hose assembly		1155	1621 9139 00	1	Hose assembly	
1045	1079 5840 15	2	Nipple		1160	0663 2109 68	1	O-ring	
1050	0661 1000 27	2	Seal washer		1165	0147 1362 03	2	Bolt	
1055	1614 9252 00	2	Plug		1170	0301 2344 00	2	Washer	
1060	0575 0125 40	1	Hose assembly		1175	0663 2109 68	1	O-ring	
1065	0346 1012 44	1	Pipe clamp		1180	0147 1363 03	2	Bolt	
1070	1619 5337 01	1	Bolt		1185	0301 2344 00	2	Washer	
1075	0686 3716 02	2	Plug		1190		2	Plate	
1080	0661 1000 27	2	Seal washer			1614 9497 00		GR110	
1085	1621 9045 00	1	Aftercooler		1191		AR	Rubber strip	
1090	0147 1323 03	4	Bolt			1619 2795 00		GR110	
1095	0300 8019 00	4	Washer		1300		4	Bolt	
1100	1621 9138 00	1	Hose assembly			1619 2766 00		GR110	
1105	0663 2109 68	2	O-ring						
1110		4	Bolt						
	0147 1362 03		GR110						
	0147 1363 03		Others						





Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1020	1614 9440 80	1	Beam assy	1)	2060			Bolt	
	1614 9442 00	1	Silencing foam		0147 1363 03	1		GR110	
	1079 9901 09	1	Label		0147 1363 03	2		GR132, GR160, GR200	
1025	0147 1362 03	5	Bolt		2080			Washer	
1030	0301 2344 00	5	Washer		1614 6456 00	1		GR110	
1035	1614 9441 80	1	Beam assy	1)	1614 6456 00	2		GR132, GR160, GR200	
	1614 9442 00	1	Silencing foam		3010	1088 1001 01	1	Warning mark	
	1079 9901 09	1	Label		3020	1503 0786 00	1	Rotation arrow	
1040	0147 1362 03	5	Bolt		4300			Motor	
1045	0301 2344 00	5	Washer		1080 4034 42	1		GR110 380V/50Hz	
1050	1614 9183 00	1	Support		1080 4034 42	1		GR110 220V/50Hz	
1052	1619 6449 00	AR	Seal		1080 4034 42	1		GR110 440V/60Hz	
1055	0147 1360 03	4	Bolt		1080 4034 44	1		GR110 500V/50Hz	
1060	0301 2344 00	4	Washer		1080 4034 44	1		GR110 575V/60Hz	
1065	1621 9043 80	1	Baffle		1080 4034 47	1		GR110 220V/60Hz	
1070	1619 2766 00	9	Bolt		1080 4034 47	1		GR110 380V/60Hz	
1075	1621 9049 80	1	Baffle		1080 4034 42	2		GR132 380V/50Hz	
	1619 6449 00	AR	Seal		1080 4034 42	2		GR132 220V/50Hz	
1080	1619 2766 00	5	Bolt		1080 4034 42	2		GR132 440V/60Hz	
1085	1614 9216 80	1	Plate		1080 4034 44	2		GR132 500V/50Hz	
	1619 2795 00	AR	Rubber strip		1080 4034 44	2		GR132 575V/60Hz	
1090	1619 2766 00	6	Bolt		1080 4034 47	2		GR132 380V/60Hz	
1100	1614 9489 00	1	Fan cowl		1080 4034 42	2		GR160 380V/50Hz	
1105	1619 2766 00	15	Bolt		1080 4034 42	2		GR160 220V/50Hz	
1120	1614 9403 00	1	Fan guard		1080 4034 42	2		GR160 440V/60Hz	
1122	1621 9066 00	1	Plate	GR110	1080 4034 44	2		GR160 500V/50Hz	
1125	0147 1363 03	10	Bolt		1080 4034 44	2		GR160 575V/60Hz	
1130	0333 3232 00	10	Lock washer		1080 4034 47	2		GR160 380V/60Hz	
1135	1614 9405 00	4	Hinge		1080 4034 12	2		GR200 380V/50Hz	
1140	1619 5337 01	8	Bolt		1080 4034 12	2		GR200 440V/60Hz	
1145	0147 1401 03	8	Bolt		1080 4034 14	2		GR200 500V/50Hz	
1150	0301 2358 00	8	Washer		1080 4034 14	2		GR200 575V/60Hz	
1155	0346 1000 15	2	Pipe clamp		1080 4034 17	2		GR200 380V/60Hz	
1160	1619 2861 01	1	Clamp						
2020			Washer		1)			Lined with / Bekleed met / Beklädd med / Ausgekleidet mit / Gamir de / Rivestido de / Allineato con / Foret med / Revestido com / Kledd med / Vuorattu : Foam: 0395 6001 69 (AR) 50 x 2040 x 1650	
	1614 6453 00	1	GR110						
	1614 6453 00	2	GR132, GR160, GR200						
2040			Fan						
	1614 9424 00	1	GR110						
	1614 9424 00	2	GR160 60Hz						
	1614 9287 00	2	GR132 50Hz, GR160 50Hz						
	1614 9287 00	2	GR200 60Hz						
	1614 9285 00	2	GR200 50Hz						





Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks	Ref.	Part number	Qty	Name	Remarks
1010	1079 9906 09	• 1	Label		1140		•	Contactora	
1015	9823 1821 01	• 1	Service diagram		1089 9415 22	1	1)	Aircooled	
1020	1613 6639 00	• 1	Data plate		1089 9415 12	1	4)7)	Aircooled	
1025	1079 9901 68	• 1	Label		1089 9415 21	1	11)	Aircooled	
1030	1089 9398 11	• 3	Terminal		1089 9415 22	2	2)3)	Aircooled	
1035	1089 0506 27	• 10	Terminal		1089 9415 12	2	5)6)8)9)	Aircooled	
1040	1089 0506 06	• 6	Terminal		1089 9415 21	2	13)14)	Aircooled	
1045	1088 0024 04	• 1	Connector		1089 9415 11	1		Watercooled	
1050	1088 0024 10	• 1	Connector		1145		•	Contact block	
1055	1088 0024 18	• 1	Connector		1089 9416 07	1	1)4)7)11)	Aircooled	
1060	1088 0000 06	• 1	Connector		1089 9416 07	2	2)3)5)6)8)9)13)14)	Aircooled	
1065	1088 0024 02	• 2	Connector					Watercooled	
1070		• 1	Overload relay		1089 9416 07	1		Watercooled	
	1089 9399 03		1)2)3)10)		1150		•	Circuit breaker	
	1089 9205 26		4)		1089 9416 71	1	1)	Aircooled	
	1089 9205 30		6)13)		1089 9416 28	1	4)7)	Aircooled	
	1089 9205 24		7)		1089 9416 69	1	11)	Aircooled	
	1089 9205 08		5)14)		1089 9416 71	2	2)3)	Aircooled	
	1089 9205 07		8)9)		1089 9416 28	2	5)6)8)9)	Aircooled	
	1089 9205 06		11)12)		1089 9416 69	2	13)14)	Aircooled	
1075		• 1	Circuit breaker		1089 9416 24	1	1)2)3)	Watercooled	
	1089 9203 11		1)2)3)5)6)10)11)12)13)14)		1089 9416 21	1	4)5)6)11)	Watercooled	
	1089 9203 21		4)7)8)9)		1089 9416 20	1	7)8)9)12)14)	Watercooled	
1080	1089 9203 04	• 2	Circuit breaker		1155		•	Connection element	
1085		•	Connecting link		1089 9416 91	1	1)11)	Aircooled	
	1089 9215 07	3	5)8)9)14)		1089 9416 06	1	4)7)	Aircooled	
	1089 9215 07	6	6)13)		1089 9416 91	2	2)3)13)14)	Aircooled	
1090		• 2	Contactora		1089 9416 06	2	5)6)8)9)	Aircooled	
	1089 9221 30		5)6)8)9)11)12)13)14)		1089 9416 06	1		Watercooled	
	1089 9221 96		1)10)		1160		•	Contactora	
	1089 9421 11		4)7)		1089 9415 12			1)2)5)6)9)10)	
	1089 9421 14		3)		1089 9415 13			3)4)7)8)11)12)	
1091	1089 9221 95	• 1	Contact block		1165	1089 9415 11	• 1	Contactora	
1095		• 1	Contactora		1170		• 1	Circuit breaker	
	1089 9421 11		1)		1089 9416 29			1)2)5)6)9)10)	
	1089 9221 30		2)10)		1089 9416 30			3)4)7)8)11)12)	
	1089 9421 12		3)		1175	1089 9416 06	• 2	Connection element	
	1089 9415 41		4)7)12)		1180	1089 9416 07	• 2	Contact block	
	1089 9415 42		5)8)9)14)		1185	1089 9416 21	• 1	Circuit breaker	
	1089 9221 03		6)13)		1190	1089 9203 23	• 1	Circuit breaker	
1096	1089 9415 70	• 1	Contact block		1195	1089 9203 23	• 1	Circuit breaker	
			4)7)8)11)14)		1200		• 1	Phase sequence relay	
1100		• 1	Circuit breaker		1089 9461 01			1)2)3)4)5)6)7)8)	
	1089 9416 26		1)10)		1089 9461 03			9)10)11)12)	
	1089 9416 27		2)		1210	1088 0024 02	• 1	Connector	
	1089 9416 22		4)						
	1089 9416 24		5)6)11)13)		1)	GR110 230V/50Hz			
	1089 9416 21		7)8)9)		2)	GR132 230V/50Hz			
	1089 9416 23		12)14)		3)	GR160 230V/50Hz			
1105	1089 0362 50	• 1	Contact block		4)	GR110 400V/50Hz			
1110	1089 0362 51	• 1	Emergency stop button		5)	GR132 400V/50Hz			
1115	1089 0362 58	• 1	Contact block		6)	GR160 400V/50Hz			
1120	1089 9082 24	• 1	Key switch		7)	GR110 500V/50Hz			
1125		• 1	Transformer		8)	GR132 500V/50Hz			
	1089 9136 98		1)5)6)10)		9)	GR160 500V/50Hz			
	1089 9136 99		2)3)		10)	GR110 220-230V/60Hz			
	1089 9136 97		4)		11)	GR110 380V/60Hz			
	1089 9436 05		7)8)9)		12)	GR110 440-460V/60Hz			
	1089 9436 07		11)12)13)14)		13)	GR160 380V/60Hz			
1130	1089 9436 11	• 1	Transformer		14)	GR160 440-460V/60Hz			
1132	1089 9388 01	• 1	Interface relay						
1135	1614 9110 00	• 1	Mounting plate						

## ANEXO 07: AJUSTES PROGRAMABLES COMPRESOR ATLAS COPCO GR200

### Ajustes de regulación

		Ajuste mínimo	Ajuste de fábrica	Ajuste máximo
Tiempo de marcha en estrella del motor	seg	10	10	20
Tiempo de retardo de carga (estrella-triángulo)	seg	0	0	20
Tiempo de retardo de carga (excepto estrella-triángulo)	seg	10	10	20
Número de arranques del motor (estrella-triángulo)	arranques/día	0	72	72
Número de arranques del motor (excepto estrella-triángulo)	arranques/día	0	3	3
Tiempo de parada mínimo	seg	20	20	99
Tiempo de parada programado	seg	30	30	30
Tiempo de arranque permitido	seg	0	30	255
Tiempo de restablecimiento de potencia (ARAVF)	seg	15	15	3600
Tiempo de retardo de arranque (ARAVF)	seg	0	3	255
Tiempo límite de comunicación	seg	10	20	60
Presión de descarga, GR Pack 20 bar	bar(e)	9,5	19,0	20,005
Presión de carga, GR Pack 20 bar	bar(e)	9,5	18,0	20,005

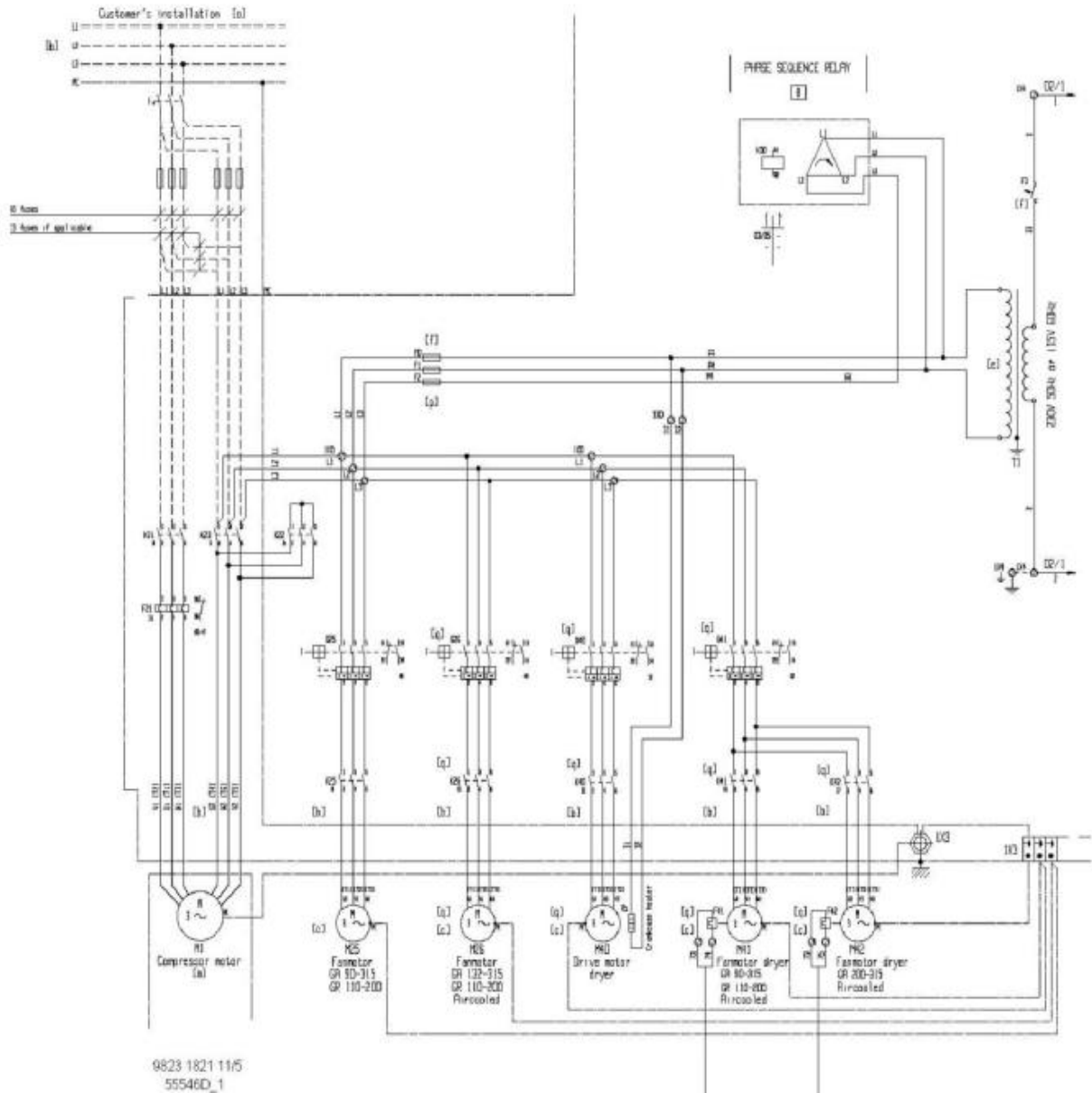
### Ajustes de protección

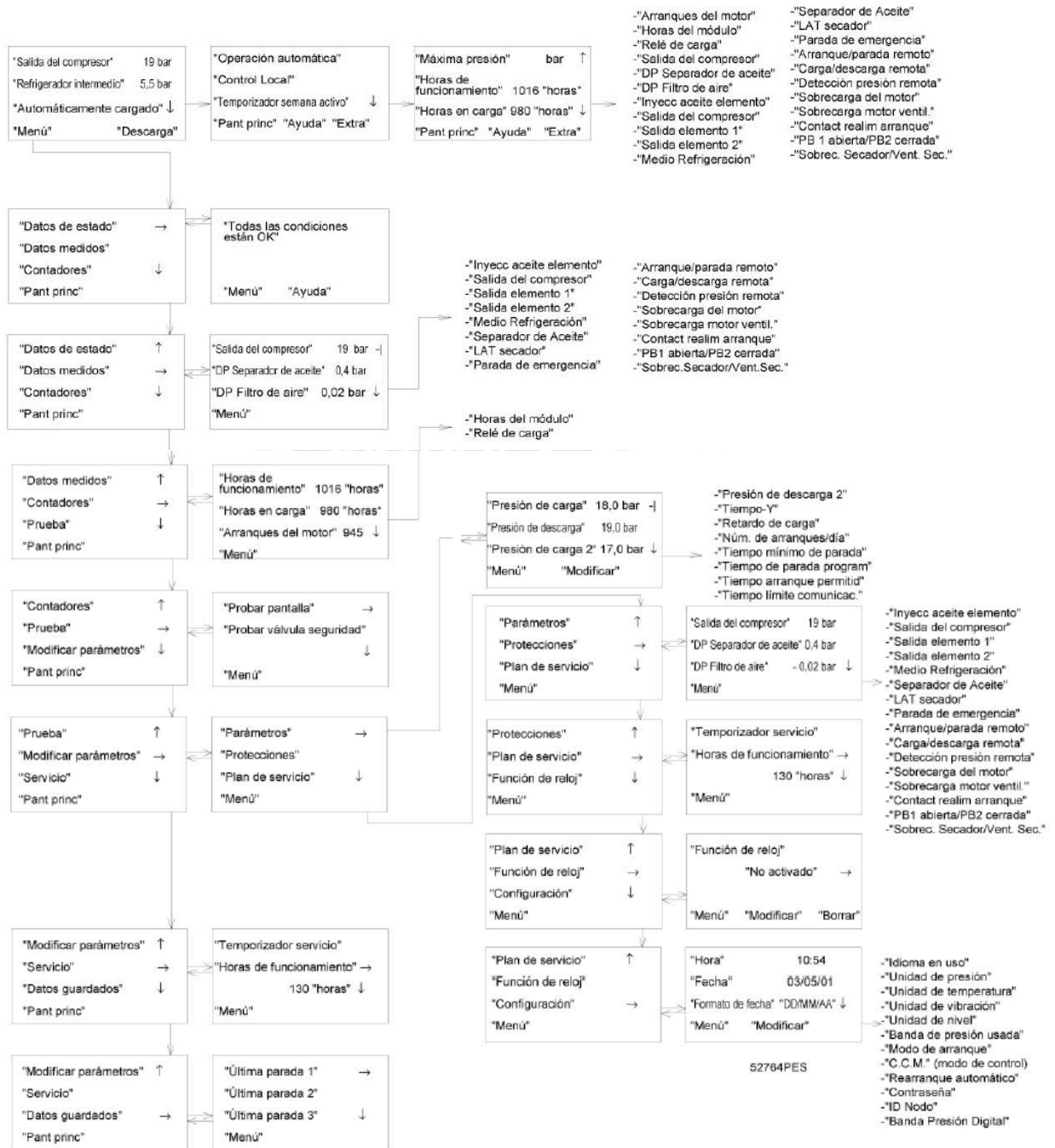
		Ajuste mínimo	Ajuste de fábrica	Ajuste máximo
Presión de salida del compresor (nivel de aviso de parada de alarma)	bar(e)	0	24,5	25,0
Presión de salida del compresor (nivel de parada de alarma)	bar(e)	0	25,0	25,0
Presión de inyección de aceite	bar(e)	2,0	2,5	13,2
Presión de inyección de aceite	psig	29,01	36,26	191,45
Temperatura de salida del elemento compresor 1 (nivel de aviso de parada de alarma)	°C	Véase la terminología	114	120

		Ajuste mínimo	Ajuste de fábrica	Ajuste máximo
Temperatura de salida del elemento compresor 1 (nivel de parada de alarma)	°C	115	120	120
Temperatura de salida del elemento compresor 2 (nivel de aviso de parada de alarma)	°C	Véase la terminología	114	120
Temperatura de salida del elemento compresor 2 (nivel de parada de alarma)	°C	115	120	120
Temperatura de salida del compresor (nivel de aviso de parada de alarma)	°C	0	66	120
Temperatura de salida del compresor (nivel de parada de alarma)	°C	67	80	120
Retardo a la señal de parada de alarma	seg	5	5	5
Temperatura del separador de aceite	°C	0	120	120
Retardo al arranque	seg	0	255	255
Retardo a la señal	seg	0	3	10
Nivel de aviso de servicio para separador de aceite	bar	0	0,8	0,8
Retardo a la señal	seg	0	60	255
Nivel de aviso de servicio para filtros de aire	bar	-0,1	-0,05	-0,05
Retardo a la señal	seg	0	60	255
Retardo a la señal	seg	0	60	255
Retardo al arranque, sobrecarga del motor	seg	0	1	3
Retardo a la señal, sobrecarga del motor	seg	0	1	3
Retardo al arranque, sobrecarga del motor del ventilador	seg	0	1	3
Retardo a la señal, sobrecarga del motor del ventilador	seg	0	1	3
Retardo al arranque, contacto de realimentación del arrancador = abierto	seg	0	13	60
Retardo a la señal, contacto de realimentación del arrancador = cerrado	seg	0	2	3
Retardo al arranque, drenaje de agua electrónico	seg	0	15	60
Retardo a la señal, drenaje de agua electrónico	seg	5	5	5
Retardo a la señal, sobrecarga del secador/ ventilador del secador	seg	0	1	3

ANEXO 08: CIRCUITO ELÉCTRICO Y PROGRAMAS DE CONTROL COMPRESOR

ATLAS COPCO GR200





ANEXO 09: HOJAS DE DECISIÓN DE CRÍTICIDAD BASADO EN EL RIESGO

**ANÁLISIS DE CRÍTICIDAD - FLOTA DE COMPRESORES ESTACIONARIOS TOQUEPALA**

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN RCM - ANÁLISIS DE CRÍTICIDAD DEL ACTIVO

Facilitador: Joel Paúl Luna Turpo

Responsable de evaluación: *Benjamín Arana*

EQUIPO	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	ÁREA	SECCIÓN	Criterio a analizar: (Marque con X, según el criterio especializado)							
						A: Frecuencia	B: Imp. Seg.	C: Imp. Amb.	D: Niv. Prod.	E: TPRR	F: Imp. Prod.	G: Imp. Mantto.	
MTCP 001	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276301	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA								X
MTCP 002	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276302	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA								X
MTCP 003	ATLAS COPCO	GA 200	APF193645	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA								X
MTCP 004	ATLAS COPCO	GA 200	APF193726	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA								X
MTCP 005	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276303	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA								X
MTCP 006	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276304	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA								X
CPT DLX	ATLAS COPCO	GA 160	S889423.01	CONCENTRADORA	DEPOSITOS LIXIVIALES								X
CPT 15	ATLAS COPCO	GR200	AIF 091617	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX								X
CPT 14	ATLAS COPCO	GA 200	AIF 091609	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX								X
CPT 12	ATLAS COPCO	GA 160	AIF 074713	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX								X
CPT 13	ATLAS COPCO	3HX2T	12039	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX								X
CPT 11	ATLAS COPCO	ZT200	S986234-01	CONCENTRADORA	INSTRUMENTACION								X
SCHULZ	SCHULZ	MSV 20 MAX	3281385	CONCENTRADORA	LABORATORIO								X
CPTMF 001	QUINCY	QSB25	BU1304020104	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER								X
CPTMF 002	QUINCY	QSB25	BU1210180139	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER								X
CPT 9	ATLAS COPCO	ZR630	S98571701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 16	ATLAS COPCO	ZR630	S98837701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 10	ATLAS COPCO	ZR630	S98801101	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 1	INGERSOLL RAND	XLE	JH1708	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 2	INGERSOLL RAND	XLE	JH1707	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 5	INGERSOLL RAND	XLE	JH6739	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS								X
CPT 2M	INGERSOLL RAND	HXPE125-2S	FF1545U98268	MINA	TALLER RESERUR PLATAFORMA								X
GRFO 1	QUINCY	QSB25	98235	MINA	TALLER TRACTORES MINA								X
GRFO 2	QUINCY	QSB30	BU1107290012	MINA	TALLER TRACTORES MINA								X

NOTA:

A.- Conceptos o criterios para la frecuencia de falla  
 B.- Conceptos o criterios para el impacto en seguridad  
 C.- Conceptos o criterios para el impacto en medio ambiente  
 D.- Conceptos o criterios para el nivel de producción

E.- Conceptos o criterios para el tiempo promedio para reparar  
 F.- Conceptos o criterios para el impacto en la producción  
 G.- Conceptos o criterios para el impacto en el mantenimiento

\* Para calificar los valores ponderados de cada criterio guiarse en la tabla "Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio"

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD - FLOTA DE COMPRESORES ESTACIONARIOS TOQUEPALA**



PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN RCM - ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL ACTIVO						Criterio a analizar: (Marque con X, según el criterio especializado)													
Facilitador: Joel Paúl Luna Turpo						A:	B:	C:	D:	E:	F:	G:							
Responsable de evaluación: <i>Poly Garibaldi Bravo - Planner</i>						<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A. Frecuencia	B. Imp. Seg.	C. Imp. Amb.	D. Niv. Prod.	E. TPR	F. Imp. Prod.	G. Imp. Manto.
EQUIPO	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	ÁREA	SECCIÓN														
MTCP 001	ATLAS COPCO	GA 180+	APFS90276301	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA	3											4		
MTCP 002	ATLAS COPCO	GA 180+	APFS90276302	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA	4											2		
MTCP 003	ATLAS COPCO	GA 200	APF 193645	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA	2											2		
MTCP 004	ATLAS COPCO	GA 200	APF 193726	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA	1											4		
MTCP 005	ATLAS COPCO	GA 180+	APFS90276303	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA	3											4		
MTCP 006	ATLAS COPCO	GA 180+	APFS90276304	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA	2											4		
CPT DLX	ATLAS COPCO	GA 180	S988423 01	CONCENTRADORA	DEPOSITOS LIXIVIALES	4											4		
CPT 15	ATLAS COPCO	GR200	AIF 091617	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX	3											2		
CPT 14	ATLAS COPCO	GA 200	AIF 091609	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX	3											2		
CPT 12	ATLAS COPCO	GA 180	AIF 074713	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX	3											2		
CPT 13	ATLAS COPCO	3HX2T	12039	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX	1											1		
CPT 11	ATLAS COPCO	ZT200	S986234-01	CONCENTRADORA	INSTRUMENTACION	3											4		
SCHULZ	SCHULZ	MSV 20 MAX	3261395	CONCENTRADORA	LABORATORIO	1											2		
CPTMF 001	QUINCY	QSB25	BU1304020104	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER	2											2		
CPTMF 002	QUINCY	QSB25	BU1210180139	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER	2											2		
CPT 9	ATLAS COPCO	ZR630	S98571701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS	2											4		
CPT 16	ATLAS COPCO	ZR630	S98837701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS	2											4		
CPT 10	ATLAS COPCO	ZR630	S98601101	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS	4											4		
CPT 1	INGERSOLL RAND	XLE	JH1708	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS	1											2		
CPT 2	INGERSOLL RAND	XLE	JH1707	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS	1											2		
CPT 5	INGERSOLL RAND	XLE	JH6739	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS	1											2		
CPT 2M	INGERSOLL RAND	HXP125-2S	FF1545U98288	MINA	TALLER RESERVA PLATAFORMA	3											4		
GRIFO 1	QUINCY	QSB25	99235	MINA	TALLER TRACTORES MINA	2											2		
GRIFO 2	QUINCY	QSB30	BU1107290012	MINA	TALLER TRACTORES MINA	2											2		

**NOTA:**

- A.- Conceptos o criterios para la frecuencia de falla
- B.- Conceptos o criterios para el impacto en seguridad
- C.- Conceptos o criterios para el impacto en medio ambiente
- D.- Conceptos o criterios para el nivel de producción
- E.- Conceptos o criterios para el tiempo promedio para reparar
- F.- Conceptos o criterios para el impacto en la producción
- G.- Conceptos o criterios para el impacto en el mantenimiento

\* Para calificar los valores ponderados de cada criterio guiarse en la tabla "Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio"

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD - FLOTA DE COMPRESORES ESTACIONARIOS TOQUEPALA**



PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN RCM - ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL ACTIVO

Facilitador: Joel Paúl Luna Turpo

Responsable de evaluación: *Carlos Mendez*

EQUIPO	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	ÁREA	SECCIÓN	Criterio a analizar: (Marque con X, según el criterio especializado)								
						A: Frecuencia	B: Imp. Seg.	C: Imp. Amb.	D: Niv. Prod.	E: TppR	F: Imp. Prod.	G: Imp. Mantto.		
MTCP 001	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276301	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA				4			4		
MTCP 002	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276302	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA				4			4		
MTCP 003	ATLAS COPCO	GA 200	APF193645	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA				6			4		
MTCP 004	ATLAS COPCO	GA 200	APF193726	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA				3			4		
MTCP 005	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276303	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA				6			4		
MTCP 006	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276304	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA				4			4		
CPT DLIX	ATLAS COPCO	GA 160	S989423 01	CONCENTRADORA	DEPOSITOS LIXIVIALES				6			4		
CPT 15	ATLAS COPCO	GR200	AIF 091617	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX				9			4		
CPT 14	ATLAS COPCO	GA 200	AIF 091609	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX				4			4		
CPT 12	ATLAS COPCO	GA 160	AIF 074713	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX				4			4		
CPT 13	ATLAS COPCO	3HX2T	12039	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX				4			4		
CPT 11	ATLAS COPCO	ZT200	S986234-01	CONCENTRADORA	INSTRUMENTACION				4			4		
SCHULZ	SCHULZ	MSV 20 MAX	3261395	CONCENTRADORA	LABORATORIO				2			4		
CPTMF 001	QUINCY	QSB25	BU1304020104	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER				6			4		
CPTMF 002	QUINCY	QSB25	BU1210180139	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER				6			4		
CPT 9	ATLAS COPCO	ZR630	S98571701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS				6			4		
CPT 16	ATLAS COPCO	ZR630	S98837701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS				6			4		
CPT 10	ATLAS COPCO	ZR630	S98601101	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS				6			4		
CPT 1	INGERSOLL RAND	XLE	JH1708	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS				4			4		
CPT 2	INGERSOLL RAND	XLE	JH1707	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS				2			4		
CPT 5	INGERSOLL RAND	XLE	JH6739	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS				2			4		
CPT 2M	INGERSOLL RAND	HXP/125-2S	FF1545U98288	MINA	TALLER RESERSUR PLATAFORMA				2			4		
GRIFO 1	QUINCY	QSB25	99235	MINA	TALLER TRACTORES MINA				2			4		
GRIFO 2	QUINCY	QSB30	BU1107290012	MINA	TALLER TRACTORES MINA				2			4		

NOTA:

- A.- Conceptos o criterios para la frecuencia de falla
- B.- Conceptos o criterios para el impacto en seguridad
- C.- Conceptos o criterios para el impacto en medio ambiente
- D.- Conceptos o criterios para el nivel de producción

- E.- Conceptos o criterios para el tiempo promedio para reparar
- F.- Conceptos o criterios para el impacto en la producción
- G.- Conceptos o criterios para el impacto en el mantenimiento

\* Para calificar los valores ponderados de cada criterio guiarse en la tabla "Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio"



ANÁLISIS DE CRITICIDAD - FLOTA DE COMPRESORES ESTACIONARIOS TOQUEPALA

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN RCM - ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL ACTIVO						Criterio a analizar: (Marque con X, según el criterio especializado)									
Facilitador: Joel Paúl Luna Turpo						A:	B:	C:	D:	E:	F:	G:			
Responsable de evaluación: <i>Joel Paúl Luna Turpo - Residente de Proyecto.</i>						A. Frecuencia	B. Imp. Seg.	C. Imp. Amb.	D. Niv. Prod.	E. TPPR	F. Imp. Prod.	G. Imp. Mantto.			
EQUIPO	MARCA	MODELO	NUMERO DE SERIE	ÁREA	SECCIÓN										
MTCP 001	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276301	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA		4	4							
MTCP 002	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276302	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA		4	4							
MTCP 003	ATLAS COPCO	GA 200	APF193845	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA		4	4							
MTCP 004	ATLAS COPCO	GA 200	APF193726	CONCENTRADORA	AREA 1200 CHANCADORA - MEJORA		4	4							
MTCP 005	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276303	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA		4	4							
MTCP 006	ATLAS COPCO	GA 160+	APFS90276304	CONCENTRADORA	AREA 2300 DOMO - MEJORA		4	4							
CPT DLX	ATLAS COPCO	GA 160	S989423 01	CONCENTRADORA	DEPOSITOS LIXIVIABLES		4	4							
CPT 15	ATLAS COPCO	GR200	AIF 091617	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX		4	4							
CPT 14	ATLAS COPCO	GA 200	AIF 091609	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX		2	4							
CPT 12	ATLAS COPCO	GA 160	AIF 074713	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX		2	4							
CPT 13	ATLAS COPCO	3HX2T	12039	CONCENTRADORA	FILTRO LAROX		2	4							
CPT 11	ATLAS COPCO	ZT200	S986234-01	CONCENTRADORA	INSTRUMENTACION		2	4							
SCHULZ	SCHULZ	MSV 20 MAX	3261395	CONCENTRADORA	LABORATORIO		1	4							
CPTMF 001	QUINCY	QSB25	BU1304020104	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER		2	4							
CPTMF 002	QUINCY	QSB25	BU1210180139	CONCENTRADORA	MOLINOS FULLER		2	4							
CPT 9	ATLAS COPCO	ZR630	S98571701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS		2	4							
CPT 16	ATLAS COPCO	ZR630	S99837701	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS		6	4							
CPT 10	ATLAS COPCO	ZR630	S98601101	CONCENTRADORA	NUEVA SALA DE COMPRESORAS		6	4							
CPT 1	INGERSOLL RAND	XLE	JH1708	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS		1	4							
CPT 2	INGERSOLL RAND	XLE	JH1707	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS		1	4							
CPT 5	INGERSOLL RAND	XLE	JH6739	CONCENTRADORA	SALA DE COMPRESORAS		1	4							
CPT 2M	INGERSOLL RAND	HXPE125-2S	FF1545U96268	MINA	TALLER RESERUR PLATAFORMA		2	4							
GRIFO 1	QUINCY	QSB25	98235	MINA	TALLER TRACTORES MINA		2	4							
GRIFO 2	QUINCY	QSB30	BU1107290012	MINA	TALLER TRACTORES MINA		2	4							

NOTA:

- A.- Conceptos o criterios para la frecuencia de falla
- B.- Conceptos o criterios para el impacto en seguridad
- C.- Conceptos o criterios para el impacto en medio ambiente
- D.- Conceptos o criterios para el nivel de producción
- E.- Conceptos o criterios para el tiempo promedio para reparar
- F.- Conceptos o criterios para el impacto en la producción
- G.- Conceptos o criterios para el impacto en el mantenimiento

\* Para calificar los valores ponderados de cada criterio guiarse en la tabla "Valores ponderados (Peso) por concepto o criterio"

## ANEXO 10: HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS 2019

EQUIPO	Descripción del trabajo	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	TIPO MANTTO	P / NP	Hora de ingreso (LLEGADA)	fecha ingreso	Hora Inicio	Hora Término	Horas De Trabajo	Horometro	Horas Carga	OT	Mecánico 1	Mecánico 2
CPT DLIX	Se realizó limpieza general al equipo	Inspección	INSP	P	10:00 AM	12-ene-19	10:00 AM	12:00 PM	2.00	102997		056388	Fredy Choquehua	Maycler Martinez
CPT DLIX	Inspección de rutina,Se realizó limpieza	Inspección	INSP	P	10:00 AM	21-ene-19	10:00 AM	11:00 AM	1.00	103178	1094	056311	Lenin Puma	Fredy Choquehua
CPT DLIX	Inspección, el equipo se encontró en	Inspección	INSP	P	09:00 AM	3-feb-19	09:00 AM	12:00 PM	3.00	103423	1110	056344	Jorge Alfaro	Fredy Choquehua
CPT DLIX	Se realizó la limpieza del equipo,se	Inspección	INSP	P	09:00 AM	11-feb-19	09:00 AM	12:00 PM	3.00	103575	1119	057280	Angel Mendoza	Jose Capacuela
CPT DLIX	Inspección de rutina, Se reviso nivel	Inspección	INSP	P	02:00 PM	18-feb-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	103729		057232	Lenin Puma	Gerardo Mamani
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	09:00 AM	22-feb-19	09:00 AM	11:00 AM	2.00	103803	1150	057053	Fredy Choquehua	Juan Alvaro
CPT DLIX	Inspección de rutina, Se realizó prueba	Inspección	INSP	P	10:00 AM	3-mar-19	10:00 AM	11:30 AM	1.50	104015		057134	Lenin Puma	Christian Cascamayta
CPT DLIX	Se realizó inspección del area y limpieza	Inspección	INSP	P	09:00 AM	11-mar-19	09:00 AM	11:00 AM	2.00	104196	1213	057127	Gerardo Mamani	Fredy Choquehua
CPT DLIX	Se inspeccionó posibles fugas, filtro	Inspección	INSP	P	09:00 AM	18-mar-19	09:00 AM	11:00 AM	2.00	104336	1231	057314	Elio Cari	Jose Capacuela
CPT DLIX	Inspección de rutina, Se realizó limpieza	Inspección	INSP	P	09:00 AM	25-mar-19	09:00 AM	10:00 AM	1.00	104487	1249	057365	Lenin Puma	Carlos Rojas
CPT DLIX	Inspección de rutina, El equipo se encontró	Inspección	INSP	P	10:00 AM	1-abr-19	10:00 AM	12:00 PM	2.00	104634	1267	057399	Jorge Alfaro	Angel Mendoza
CPT DLIX	Se realizó la limpieza general del equipo	PM 8000 Horas	PM	P	08:00 AM	7-abr-19	08:00 AM	04:30 PM	8.50	104763	1285	057595	Luis Cerna	Juan Alvaro
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	15-abr-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	104938	93140	059051	Juan Alvaro	Nestor Coaquira
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	09:00 AM	22-abr-19	09:00 AM	12:00 PM	3.00	105102	1349	059089	Angel Mendoza	Carlos Rojas
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	04:00 PM	29-abr-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	105174	93178	057618	Jose Capacuela	Nestor Coaquira
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:30 PM	13-may-19	02:30 PM	04:30 PM	2.00	105474	1412	059199	Carlos Rojas	Christian Cascamayta
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	09:30 AM	19-may-19	09:30 AM	11:20 AM	1.83	105581	1425	059550	Elio Cari	Fredy Choquehua
CPT DLIX	Inspección de rutina.	Inspección	INSP	P	03:00 PM	27-may-19	03:00 PM	05:00 PM	2.00	105704	93258	059524	Nestor Coaquira	Juan Alvaro
CPT DLIX	Inspección de rutina.	Inspección	INSP	P	08:00 AM	10-jun-19	08:00 AM	11:10 AM	3.17	106025	93306	059577	Nestor Coaquira	Juan Alvaro
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	09:30 AM	17-jun-19	09:30 AM	11:30 AM	2.00	106122	1495	059666	Carlos Rojas	Adderly Chavez
CPT DLIX	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	08:30 AM	1-jul-19	08:30 AM	10:30 AM	2.00	106403	1535	060085	Nestor Coaquira	Fredy Choquehua
CPT DLIX	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	P	08:00 AM	15-jul-19	08:00 AM	10:00 AM	2.00	106667		000035	Carlos Rojas	Benjamin Arana
CPT DLIX	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	P	09:30 AM	22-jul-19	09:30 AM	11:30 AM	2.00	106812	1572	000113	Elio Cari	Jose Capacuela
CPT DLIX	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	p	03:30 PM	26-jul-19	03:30 PM	04:30 PM	1.00	106880		000146	Douglas Cuba	Jose Capacuela
CPT DLIX	Inspección de rutina.	Inspección	INSP	P	05:00 PM	29-jul-19	05:00 PM	07:00 PM	2.00	15113	1581	000230	Angel Mendoza	Christian Cascamayta
CPT DLIX	Inspección de rutina,	Inspección	INSP	P	09:00 AM	5-ago-19	09:00 AM	11:00 AM	2.00	107085	16857	P000254	Nestor Coaquira	Carlos Rojas

EQUIPO	Descripción del trabajo	Identificación del modo de falla - O - Motivo de Intervención	TIPO MANTO	P / NP	Hora de ingreso (LLEGADA)	fecha ingreso	Hora Inicio	Hora Término	Horas De Trabajo	Horometro	OT	Mecánico 1	Mecánico 2
CPT 15	Se realizo la limpieza del equipo compresor	Inspección	INSP		09:30 AM	5-ene-19	09:30 AM	12:00 PM	2.50	87269	056367	Angel Mendoza	Jose Capacuela
CPT 15	Se realizo la limpieza del equipo compresor	Inspección	INSP		09:00 AM	10-ene-19	09:00 AM	03:00 PM	6.00	87309	056368	Jose Capacuela	
CPT 15	Se inspecciona el area de trabajo, se realiza	Inspección	INSP		09:00 AM	12-ene-19	09:00 AM	11:00 AM	2.00	87310	056392	Aderly Chavez	Jose Capacuela
CPT 15	Se realizó inspección de rutina,se inspeccio	Inspección	INSP		04:00 PM	19-ene-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	87402	056435	Aderly Chavez	
CPT 15	Inspección de rutina, Se inspeccionó y limpi	Inspección	INSP		03:00 PM	27-ene-19	03:00 PM	05:00 PM	2.00	87493	056327	Maycler Martinez	Lenin Puma
CPT 15	Inspección de rutina, Se inspeccionó y limpi	Inspección	INSP		04:00 PM	2-feb-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	87546	056347	Maycler Martinez	Jose Capacuela
CPT 15	Se inspeccionó area de trabajo, Se inspecci	Inspección	INSP		04:00 PM	9-feb-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	87650	057273	Jose Capacuela	Gerardo Mamani
CPT 15	Inspección de rutina, se tomaron parametro	Inspección	INSP		02:00 PM	16-feb-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	87664	057208	Gerardo Mamani	Lenin Puma
CPT 15	Inspección de rutina.	Inspección	INSP		02:00 PM	23-feb-19	02:00 PM	04:30 PM	2.50	87741	057055	Nestor Coaquira	Jose Capacuela
CPT 15	Inspección de rutina.	Inspección	INSP		11:00 AM	2-mar-19	09:30 AM	12:00 PM	2.50	87850	057095	Pedro Chavez	Juan Alvaro
CPT 15	Inspección de rutina.	Inspección	INSP		02:00 PM	3-mar-19	09:30 AM	12:00 PM	2.50	87903	057119	Maycler Martinez	Jorge Alfaro
CPT 15	Inspección de rutina, se realizó limpieza ge	Inspección	INSP		04:00 PM	16-mar-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	88046	057306	Christian Cascam	Maycler Martinez
CPT 15	Montaje de enfriador usado, relleno de a	Correctivo, fisura de enfri	CORR	NP	11:00 AM	30-mar-19	11:00 AM	12:30 PM	1.50	88228	057388	Fredy Choquehua	Lenin Puma
CPT 15	Cambio filtro de aire, cambio filtro de aceite	Inspección	PM	P	02:00 PM	1-abr-19	09:00 AM	04:30 PM	7.50	88333	057585	Jorge Alfaro	Maycler Martinez
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	04:00 PM	13-abr-19	04:00 PM	06:00 PM	2.00	88421	057535	Elio Cari	Jose Capacuela
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	20-abr-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	88515	059076	Pedro Chavez	Carlos Rojas
CPT 15	Inspección de rutina,	Inspección	INSP	P	02:00 PM	27-abr-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	88617	059136	Luis Cerna	Juan Alvaro
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	03:00 PM	4-may-19	03:00 PM	05:00 PM	2.00	88712	059172	Jose Capacuela	Nestor Coaquira
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	08:30 AM	11-may-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	88825	057655	Lenin Puma	Christian Cascamayta
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	11:00 AM	24-may-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	89049	059489	Juan Alvaro	Pedro Chavez
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	25-may-19	09:00 AM	04:30 PM	7.50	89066	059492	Nestor Coaquira	Jose Capacuela
CPT 15	Inspección de rutina.	Inspección	INSP	P	08:00 AM	8-jun-19	08:00 AM	10:00 AM	2.00	89273	059646	Jorge Alfaro	Douglas Cuba
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	15-jun-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	89356	052419	Angel Mendoza	Carlos Rojas
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	22-jun-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	89447	057732	Lenin Puma	Gerardo Mamani
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	01:00 PM	29-jun-19	01:00 PM	03:00 PM	2.00	89534	060073	Luis Cerna	Douglas Cuba
CPT 15	Inspección de rutina	Inspección	INSP	P	02:00 PM	6-jul-19	02:00 PM	04:00 PM	2.00	89615	059884	Douglas Cuba	Jose Capacuela
CPT 15	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	P	09:00 AM	13-jul-19	09:00 AM	10:00 AM	1.00	89710	000033	Maycler Martinez	Angel Mendoza
CPT 15	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	P	08:00 AM	20-jul-19	08:00 AM	10:00 AM	2.00	89798	000097	Luis Cerna	Christian Cascamayta
CPT 15	Inspección de rutina, limpieza	Inspección	INSP	P	08:00 AM	27-jul-19	08:00 AM	10:30 AM	2.50	89886	000202	Fredy Choquehua	Angel Mendoza
CPT 15	Inspección de rutina,	Inspección	INSP	P	01:00 PM	3-ago-19	01:00 PM	03:30 PM	2.50	90000	059923	Luis Cerna	Gerardo Mamani