

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS

UNIVERSIDAD DON BOSCO



**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD APLICADO A INDUSTRIA DE GASES DE EL SALVADOR”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA
LA FACULTAD DE POSTGRADOS UCA
Y
FACULTAD DE INGENIERÍA UDB**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRA/O EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

POR

**DANNY STEVE GUZMÁN MENDOZA
KELIA YOLANDA OSORIO DE AYALA
WALTER YOBANI RAMÍREZ ARTIGA**

SEPTIEMBRE 2021

ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.

Rectores

Andreu Oliva de la Esperanza, S.J.

Mario Rafael Olmos Argueta, SDB.

Secretarias Generales

Silvia Elinor Azucena de Fernández

Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

Decana de Postgrados UCA

Nelly Arely Chévez Reynosa

Decano de Postgrado UDB

Mario Guillermo Juárez Pérez

Directores de la Maestría en Gerencia de Mantenimiento Industrial

Diana Carolina Cruz UCA

José Luis Martínez UDB

Director de Tesis

Mario Ernesto Martínez Rivas

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a la Empresa de Gases de El Salvador por su apertura, confianza y contribución en la realización del trabajo de investigación, así también a sus representantes que ofrecieron amablemente sus conocimientos y tiempo en atendernos.

Al mismo tiempo, agradecemos al Ing. José Luis Martínez, Director de la Maestría en Gerencia Industrial quien nos brindó todo su apoyo en las gestiones para poder desarrollar este proceso de maestría.

Y a todas las aquellas personas que de forma directa o indirecta aportaron su granito de arena al éxito de nuestra maestría.

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar este esfuerzo a Dios y la Virgen por permitirme finalizar este importante proceso de formación académica en mi vida y agradecer cada una de las bendiciones que recibí.

Dedicar a mi amada esposa Griss, por estar siempre en cada momento apoyándome y motivándome a creer que todo es posible en esta vida, fue el ingrediente perfecto para no perder el rumbo de este logro. Y a toda mi gran familia Romero que de una u otra manera me motivaron en este caminar, a todos ustedes mil gracias.

A mi querida familia, mi madre María Esperanza por su admirable ejemplo y apostarle a la educación de sus hijos, quien sin importarle los sacrificios por hacer, siempre estuvo firme para que pudiéramos salir adelante, Gracias Madrecita. A mi padre Miguel Ángel, que desde el cielo siempre está protegiéndome e iluminando mí camino, ya puedes decirle a Dios y a Don Guille con mucho orgullo que tu hijo es Ingeniero y Maestro. A mis hermanos Edwin Antonio y José Amílcar, quienes han sido mis ejemplos para seguir, dándome su apoyo, consejos y confianza en todo momento.

A mi colega y amigo Danny Guzmán por caminar juntos en este gran proyecto que se miraba interminable, pero lo logramos vieja y a mi colega Kelia Osorio por permitir hacer este trabajo en su empresa ya que sin ello no hubiese sido posible culminar este sueño. Gracias, compañeros!

Y a todas aquellas personas que me motivaron y apoyaron de una o de otra manera, mil gracias por todo.

Walter Ramírez

DEDICATORIA

Fue un largo camino recorrido hasta este momento de una de las metas que me había propuesto hace años y que fui postergando, pero al fin tome la decisión y creo que esto solo es un peldaño más de donde quiero llegar.

Dedico este trabajo primeramente a Dios ya que sin su guía estaría perdido, él es el centro de mi vida. También dedico este trabajo a mi padre Oscar (Q.D.D.G) que siempre me motivo a seguirme preparando a no dejarme vencer por las adversidades, a mi esposa Violeta a quien amo con todo mi corazón y es el motor que me impulsa a seguir adelante, aun en medio de las dificultades siempre tiene palabras de aliento, a mis hijos Daniel y Emanuel que son las dos razones para luchar en esta vida y a quienes espero poder ver pronto coronar sus carreras, gracias a ellos por entender el sacrificio de no dedicarles el tiempo que ellos se merecen.

A mi compañera Kelia por darme la oportunidad de hacer equipo con ella y hacer un trabajo de aplicación real, a mi compañero Walter por las incontables horas que trabajamos juntos durante toda esta aventura, no tengo como agradecerle amigo, a mi familia y amigos en general que siempre me han apoyado en todo y que están siempre orando por mí.

Y a todos aquellos que me apoyaron de una o de otra manera, mil gracias por todo, siempre los llevaré en mi corazón.

Danny Guzmán

DEDICATORIA

El deseo de superación y crecimiento han sido mi motivación a seguir con mis estudios. Trabajando en una empresa única en el país, me ha permitido desarrollarme de manera personal y profesional, sirviendo a los demás de manera honesta y empática, teniendo de referencia en mi vida a Madre Teresa de Calcuta.

La presente Tesis fue una prueba que, con dedicación y disciplina siempre es posible lograr tus sueños. *“La disciplina es el puente entre las metas y los logros” (Madre Teresa)*. Quiero agradecer a Dios y Virgen María por haberme guiado a lo largo de la carrera, siendo mi fortaleza y mi fuerza en los momentos más difíciles, dedico y agradezco a mi familia, mi esposo Manuel, mis hijas Adriana y Valentina, mi cuñada Lorena por su paciencia y comprensión durante jornadas de trabajo largas, ya que sin ello no lo hubiera logrado, hice mi mejor esfuerzo para que valiera la pena. A mi madre Manuela, por su apoyo incondicional en cada proyecto en mi vida, a mis hermanos que amo mucho Julissa y Juan Diego, a mi tía Magdalena por sus enseñanzas que me han servido a lo largo de mi vida y ser un ejemplo a seguir. *“La mejor forma de predecir el futuro es creándolo” (Peter Drucker)*

Un agradecimiento especial al Ing. Aldo Hernández, por su ejemplo de liderazgo, quién me motivó en esta carrera y estuvo pendiente de que finalizara este proyecto, a mis colegas Danny Guzmán y Walter Ramírez, excelentes profesionales y amigos de jornadas maratónicas, a sus familias por el apoyo incondicional y creer en este proyecto. Agradezco a la empresa por permitirme realizar este proyecto de investigación en ella. Gracias a todos.

Kelia Osorio

RESUMEN

La presente tesis tiene como propósito elaborar una propuesta de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad basado en el Modelo de Gestión del Mantenimiento, con lo que se busca tener mayor disponibilidad de los equipos en la planta de industria de gases.

Actualmente la empresa cuenta con planes de mantenimientos preventivos, pero el objetivo es brindar un aporte que ayude a mejorar los mantenimientos actuales con actividades específicas, frecuencias de paro, tiempos de paro y tiempos de reparación para mejorar la disponibilidad de los equipos.

Es importante aclarar que actualmente no se lleva el control de información como: tiempos promedio entre fallas, tiempo promedio entre reparaciones, costos por indisponibilidad, etc. Por lo que esta propuesta de elaboración de un plan de mantenimiento aportará información necesaria como la identificación de equipos críticos, a través de una metodología que lo sustente por medio de la recopilación de indicadores claves para ello.

La propuesta inicia con la creación de indicadores que estén en línea con los objetivos del plan de negocio, utilizando la metodología de cuadro de control de mando, luego se realiza un análisis de la situación actual de la planta de mantenimiento de cilindros por medio de la aplicación de la auditoria AMORMS.

Como siguiente paso se aplica la metodología de análisis de criticidad, con el objetivo de generar una tabla que por medio de ponderaciones numéricas ayuden a clasificar los equipos con baja, media, alta y muy alta criticidad, estos datos fueron obtenidos con la ayuda del personal involucrado.

Una vez definidas las criticidades de los equipos, se seleccionaron los que estuvieran en la categoría de alta y muy alta criticidad, estos son la base para aplicar la metodología análisis de modos de fallos y efectos que sirvieron para elaborar la propuesta del plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

INDICE GENERAL

RESUMEN	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ABREVIATURAS	xiii
CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.2. Distribución en planta de la empresa.	2
1.3. Descripción del proceso productivo.	3
1.4. Selección de las áreas en estudio.....	5
1.5. Planteamiento del problema	5
1.6. Objetivos	6
1.7. Alcances.....	7
1.8. Limitantes.....	7
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO	8
2.1. Gestión del Mantenimiento.....	8
2.1.1. Principios básicos en la definición de estrategias de mantenimiento.	9
2.1.2. Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)	10
2.2. Cuadro de Mando Integral (BSC).....	13
2.3. Indicadores (KPIs).....	15
2.3.1. Indicadores de fiabilidad: TPO (Tiempo Promedio Operativo hasta el fallo) = MTTF (Mean Time to Failure).....	15
2.3.2. Indicador de Fiabilidad: FF (Frecuencia de Fallos)	15
2.3.3. Indicador de Mantenibilidad: TPF (Tiempo Promedio Fuera de Servicio) = MDT (Mean Down Time).....	16
2.3.4. Indicador de Costos: CIF (Costos de Indisponibilidad por Fallos).	16
2.3.5. Indicador Operacional: D (Disponibilidad del proceso de producción)	17
2.3.6. Indicador Financiero: VEA (Valor Económico Agregado) (nivel de ganancias) ..	17
2.4. Técnicas de auditoría en el área de mantenimiento	18
2.4.1. Auditoria Matriz Cualitativa de Excelencia en Mantenimiento.	19

2.4.2.	Auditoria Maintenance Effectiveness Survey (MES)	20
2.4.3.	Auditoria Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS).....	21
2.4.4.	Consideraciones sobre la aplicación de auditorías en mantenimiento.	22
2.5.	Técnica de jerarquización de activos (Análisis de Criticidad).	23
2.5.1.	Método de flujograma de análisis de criticidad (Cualitativo)	24
2.5.2.	Modelo de Criticidad Semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total por Riesgo).	26
2.5.3.	Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” (Matriz de Criticidad por Riesgo).	28
2.6.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).	31
2.6.1.	Aspectos teóricos básicos del MCC.	32
2.6.2.	Proceso de implantación del RCM.....	32
2.6.3.	Formación del equipo natural de trabajo del MCC.....	33
2.6.4.	Selección del sistema y definición del contexto operacional.....	34
2.6.5.	Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de MCC.	36
2.6.6.	Análisis del contexto operacional.....	37
2.6.7.	Desarrollo de análisis de modos y efectos de Fallo (AMEF).....	38
2.6.8.	Desarrollo de análisis de modos y efectos de Fallo (AMEF).....	39
CAPITULO III – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.		41
3.1.	Tipo de Investigación.	41
3.2.	Técnicas de investigación.....	41
3.3.	Instrumentos de investigación.....	41
CAPITULO IV – PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		42
4.1.	Situación actual del mantenimiento.	42
4.2.	Procedimiento para elaboración del plan de mantenimiento.....	43
4.2.1.	Aplicación del modelo BSC en la Industria de Gases.....	43
4.2.2.	Visión del departamento de mantenimiento.....	43
4.2.3.	Misión del departamento de mantenimiento.....	43
4.2.4.	Política del departamento de mantenimiento.....	43
4.2.5.	Planteamiento de los objetivos estratégicos de la organización.	44
4.2.6.	Planteamiento de los objetivos operacionales del mantenimiento.	44
4.3.	Cálculo de KPIs.	46

4.4.	Aplicación de Auditoria AMORMS a los procesos de la industria de gases.....	47
4.5.	Aplicación de Matriz de Criticidad a los sistemas de la planta.	49
4.6.	Desarrollo del AMEF de los equipos críticos.	53
4.6.1.	Aplicación del AMEF – Sistema 1 (Compresor Horizontal).....	54
4.6.2.	Aplicación del AMEF – Sistema 1 (Compresor vertical)	56
4.6.3	Aplicación del AMEF – Sistema 3 (Desvalvuladora Automática de Cilindros 1).58	
4.6.4.	Aplicación del AMEF – Sistema 5 (Shotblasting Externo).....	61
4.6.5.	Aplicación del AMEF – Sistema 7 (Equipo de PH).....	64
4.6.6.	Aplicación del AMEF – Sistema 7 (Bomba de PH).	67
4.6.7.	Resultados generales de aplicación del AMEF.	70
4.7.	Plan de Mantenimiento.	71
CAPITULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		76
CITAS Y REFERENCIAS.....		78
ANEXOS		80
	Anexo 1. Auditoria AMORMS.	80
	Anexo 2. Análisis de criticidad y jerarquización de equipos (Completo).	88
	Anexo 3. Análisis de modo de efecto y falla (completo).....	89
	Anexo 4. Procedimientos internos de mantenimiento de equipos.	137

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado - Compresos Horizontal.....	55
Gráfica 2.	Ahorro Potencial – Compresor Horizontal.....	55
Gráfica 3.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Compresor Vertical	57
Gráfica 4.	Ahorro Potencial – Compresor Vertical.....	57
Gráfica 5.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado–Desválvuladora Automática de Cilindros.	60
Gráfica 6.	Ahorro Potencial – Desválvuladora Automática de Cilindros.....	60
Gráfica 7.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Shotblasting Externo.	63
Gráfica 8.	Ahorro Potencial – Shotblasting Externo.....	63
Gráfica 9.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Equipo de PH.	66
Gráfica 10.	Ahorro Potencial – Equipo de PH.....	66
Gráfica 11.	Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Bomba de PH.....	69
Gráfica 12.	Ahorro Potencial – Bomba de PH.	69
Gráfica 13.	Resultados económicos de la aplicación del AMEF.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución en planta de la empresa industrial de gases.	2
Figura 2.	Esquema de flujo del proceso productivo de los cilindros.	4
Figura 3.	Modelo para la definición de la estrategia de Mantenimiento.	9
Figura 4.	Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).	10
Figura 5.	MGM con herramientas de aplicación en cada fase.	13
Figura 6.	Modelo de flujograma de criticidad.	24
Figura 7.	Flujograma de implantación del MCC.	33
Figura 8.	Integrantes de un equipo natural de trabajo de MCC.	34
Figura 9.	Diagrama de Entrada-Proceso-Salida.	37
Figura 10.	Esquema de análisis de los modos y efectos de fallos.	39
Figura 11.	Lógica de selección de estrategias de mantenimiento: enfoque MCC.	40
Figura 12.	Diagrama radial que muestra el estado actual de la empresa.	49
Figura 13.	Compresor horizontal.	54
Figura 14.	Compresor vertical.	56
Figura 15.	Diagrama de proceso desválvuladora automática de cilindros 1.	59
Figura 16.	Diagrama de proceso shotblasting externo.	62
Figura 17.	Equipo de PH.	65
Figura 18.	Bomba de PH.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard – BSC).....	14
Tabla 2.	Auditoria Matriz Cualitativa en Mantenimiento.	20
Tabla 3.	Ejemplo de aplicación Auditoria MES.....	21
Tabla 4.	Ejemplo de aplicación de método de flujograma de análisis de criticidad. ...	25
Tabla 5.	Matriz de criticidad total por riesgo CTR.....	28
Tabla 6.	Matriz de criticidad por riesgo (MCR).	31
Tabla 7.	BSC aplicada a la empresa.	45
Tabla 8.	Resultados de la auditoria AMORMS.....	48
Tabla 9.	Análisis de criticidad aplicada a planta de mantenimiento de cilindros.	52
Tabla 10.	Resultados económicos de la aplicación del AMEF.	70
Tabla 11.	Plan de mantenimiento diario.	71
Tabla 12.	Plan de mantenimiento semanal.....	71
Tabla 13.	Plan de mantenimiento mensual.....	71
Tabla 14.	Plan de mantenimiento trimestral	73
Tabla 15.	Plan de mantenimiento cuatrimestral.....	75
Tabla 16.	Plan de mantenimiento Semestral.	75
Tabla 17.	Plan de mantenimiento anual.	75
Tabla 18.	Formato de auditoria AMORMS.	80
Tabla 19.	Análisis de criticidad y jerarquización de equipos (Completo).....	88
Tabla 20.	AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 1 y 2).	89
Tabla 21.	AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 3 y 4).	92
Tabla 22.	AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 5 y 6).	95
Tabla 23.	AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 7 y 8).	98
Tabla 24.	AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 9 y 10).	101
Tabla 25.	AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 1 y 2).....	103
Tabla 26.	AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 3 y 4).....	106
Tabla 27.	AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 5 y 6).....	109
Tabla 28.	AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 7 y 8).....	112
Tabla 29.	AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 9 y 10).....	115

Tabla 30.	AMEF - Sistema 3 (Desválvuladora automática de cilindros 1 – falla funcional 1 y 2).	117
Tabla 31.	AMEF - Sistema 3 (Desválvuladora automática de cilindros 1 – falla funcional 3).	120
Tabla 32.	AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 1 y 2).	122
Tabla 33.	AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 3, 4 y 5).	125
Tabla 34.	AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 6).	128
Tabla 35.	AMEF - Sistema 7 (Equipo de PH – falla funcional 1 y 2).	130
Tabla 36.	AMEF - Sistema 7 (Bomba de PH – falla funcional 1).	133
Tabla 37.	AMEF - Sistema 7 (Bomba de PH – falla funcional 2).	136

ABREVIATURAS

A = Alta Criticidad

ACR = Análisis Causa Raíz

AMEF = Análisis de Modo de Efecto de Falla

AMORMS = *Asset Management Operational Reliability & Maintenance Survey*

= Encuesta sobre la gestión de activos, la fiabilidad operativa y el mantenimiento

B = Baja Criticidad

BM = Baja Mantenibilidad

BSC = *Balanced Scorecard* = Cuadro de Mandos

C = Consecuencia de los eventos de Fallos

C = Críticos

CD = Costos Directos

CF = Costos Fijos

CIF = Costos de Indisponibilidad por Fallos

CM = Costos de Mantenimiento

CMC = Costos de Mantenimiento Correctivo

CMP = Costos de Mantenimiento Preventivo

CO = Costos Operacionales

CP = Cantidad de Producción

CP = Costos de Penalización

CTR = Criticidad Total por Riesgo

D = Disponibilidad

DT = Tiempos Fuera de Servicio

EPS = Entrada-Proceso-Salida

FF = Frecuencia de Fallos

FMEA = *Failure Mode and Effect Analysis* = Análisis de Modo de Efecto de Falla

FO = Flexibilidad Operacional

G = Gastos

IC = Impacto en Calidad

IP = Impacto en la Producción

IR = Ingresos Reales

KPI = *Key Performance Indicators* = Indicadores Claves de Rendimiento

M = Media Criticidad

MA = Muy Alta Criticidad

MC = Media Criticidad

MCC = Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

MCR = Matriz de Criticidad por Riesgo

MDT = *Mean Down Time* = Tiempo Promedio Fuera de Servicio

MES = *Maintenance Effectiveness Survey* = Encuesta sobre la eficacia del mantenimiento

MGM = Modelo de Gestión del Mantenimiento

MTTF = *Mean Time to Failure* = Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo

NC = No Críticos

R = Riesgo

RCA = *Root Cause Analysis* = Análisis Causa Raíz

RCM = *Reliability Centered Maintenance* = Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

SHA = Seguridad, Higiene y Ambiente

TPF = Tiempo Promedio Fuera de Servicio

TPO = Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo

TTF = Tiempos Operativos hasta el Fallo

VEA = Valor Económico Agregado

VP = Valor de Venta

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes de la empresa

La empresa nace como un negocio familiar y asociados, fue fundada alrededor de 1960, por personas visionarias y emprendedoras, quienes deciden invertir en un negocio nuevo, tomando los riesgos que conlleva y con liderazgo en nuevo rubro en el país.

En sus inicios la empresa contaba con un pequeño local y desarrollaba sus operaciones con diez empleados entre administrativos y operativos, su actividad laboral era la producción y distribución de gases. Con el tiempo y con el fin de satisfacer las necesidades de la industria del país, la empresa creció al incluir la comercialización de líneas de productos, maquinaria y otros equipos.

Cerca del año 1980, la empresa de gases se independizó, con el tiempo se van creando divisiones de servicios con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes, con nuevas alianzas estratégicas en el área de gases con empresas extranjeras, gracias a esta alianza surge la empresa que es hoy en día con su marca comercial, consolidada como la mayor y mejor proveedora de gases de la región, distribuyendo gases industriales y siendo distribuidor exclusivo de varios fabricantes.

La empresa cuenta con varias décadas de servicio en El Salvador en el rubro de fabricación, acondicionamiento, almacenamiento y distribución de gases, brindando la mejor calidad en cada producto, respaldado por procesos certificados.

1.2. Distribución en planta de la empresa.

La empresa cuenta con una distribución de áreas acorde al flujo de producción y está representada como se muestra en la figura 1.

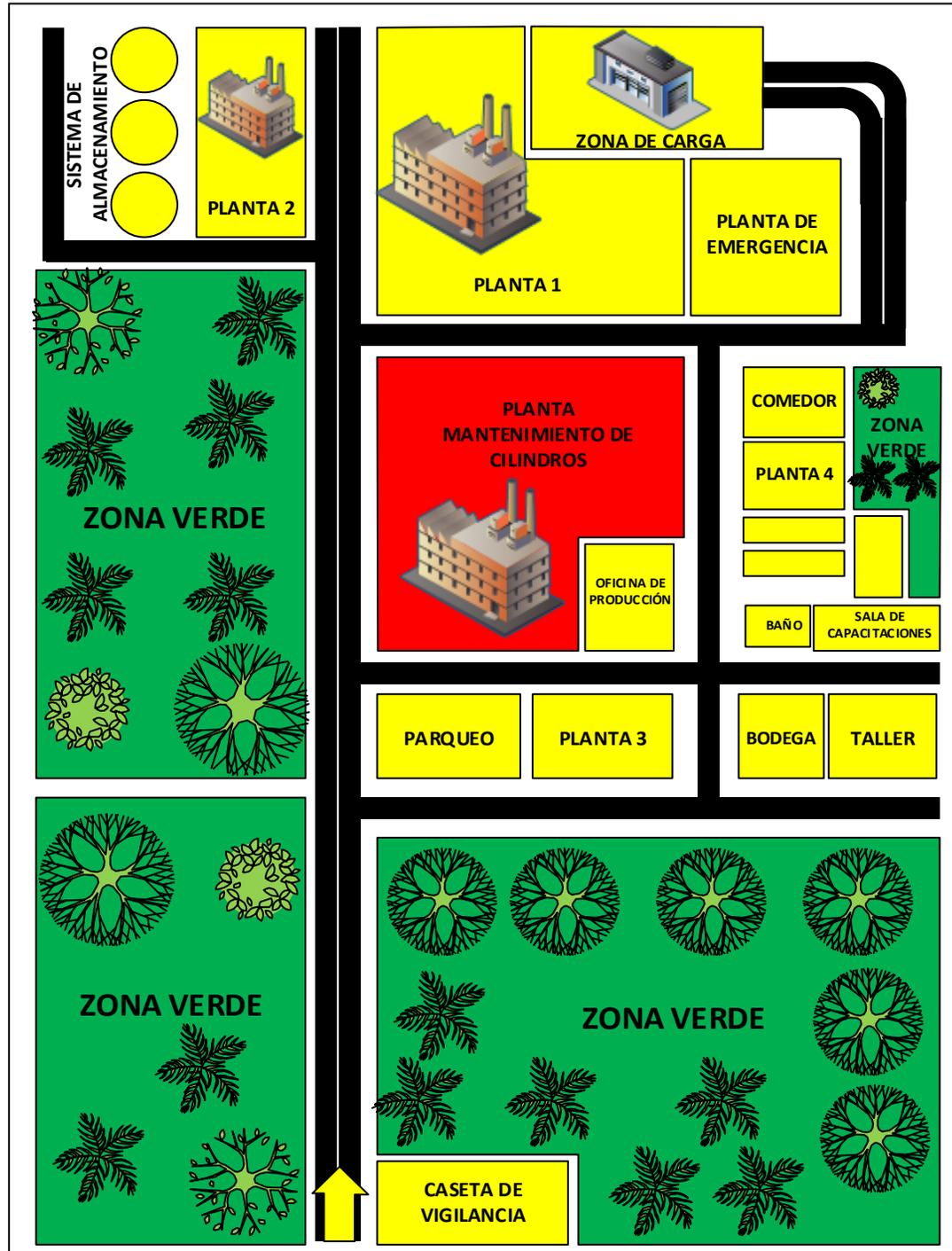


Figura 1. Distribución en planta de la empresa industrial de gases.

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Descripción del proceso productivo.

La investigación se centra en la planta de mantenimiento de cilindros, en esta área se brinda el mantenimiento a todos los envases utilizados para el almacenamiento de gas producido a una presión requerida.

El proceso inicia con el área de producción, donde el personal inspecciona minuciosamente cada cilindro para su aprobación, si su estado cumple los parámetros establecidos, pasa al área de almacén del área de producción donde esperará su turno para ser llenado, pero si su estado no cumple los parámetros, pasa al almacén del área de mantenimiento donde será inspeccionado para determinar el grado de deterioro y decidir si puede ser integrado al proceso productivo o tiene que ser intervenido por el área de mantenimiento de cilindros, si este último fuera el caso, el cilindro será intervenido para posteriormente someterlo a las respectivas pruebas, donde se decidirá si el cilindro regresa al proceso productivo o tendrá que ser descartado del inventario por deterioro.

Almacenar el producto dentro de los envases con calidad y seguridad, es de mucha importancia para la empresa y los clientes, por lo que este departamento de mantenimiento de cilindros es el encargado de brindar los mantenimientos y pruebas requeridas que garanticen la seguridad en el llenado, traslado y uso de ellos. Cada cilindro puede requerir trabajos de inspección, pintura o pruebas sometidas a presión, para ello es necesario contar con el equipo adecuado.

A continuación, se muestra en la figura 2 el flujograma del proceso:

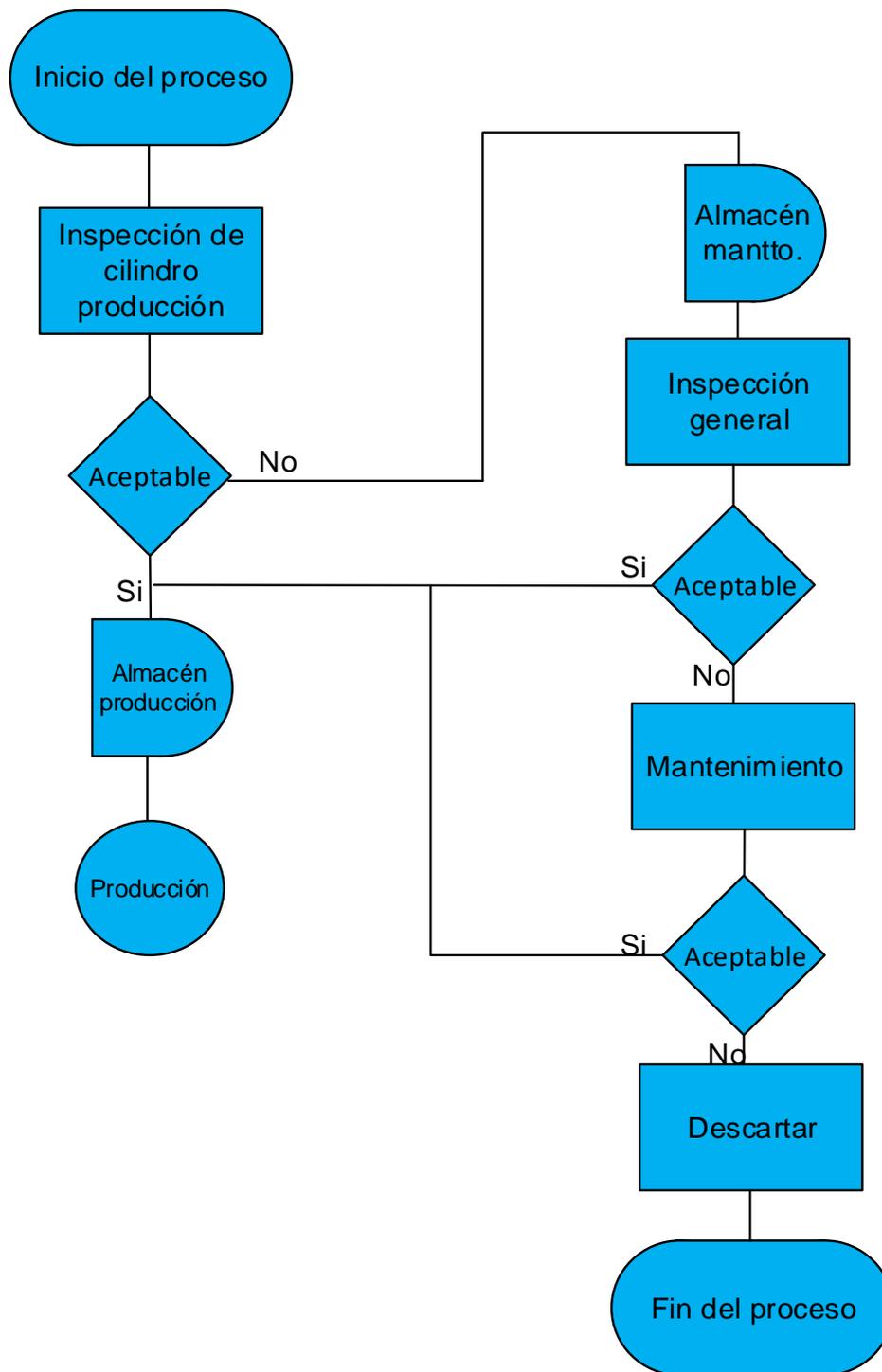


Figura 2. Esquema de flujo del proceso productivo de los cilindros.
Fuente: Elaboración propia.

1.4. Selección de las áreas en estudio.

La investigación se centra en la planta de mantenimiento de cilindros, con base a la criticidad que este departamento representa al proceso productivo:

- Mantenimiento al 100% de los envases de las plantas que necesiten intervención.

1.5. Planteamiento del problema

En la industria salvadoreña no existen referentes de mantenimientos centrados en la confiabilidad aplicados a equipos de este rubro, ni se cuenta con bases de datos que tengan toda la información necesaria de cada equipo, esto puede ocasionar a mediano o largo plazo problemas con los equipos generando pérdidas en producción, ventas y utilidades de la compañía y alto costo de mantenimiento, por lo que surge la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

La empresa de industria de gases tiene sus propios parámetros de trabajo, cumpliendo con estándares de calidad y de producción, teniendo en cuenta que para esto deben operar las líneas de producción con estabilidad. Se ha identificado que en la empresa de gases no se ha implementado el AMEF como herramienta para las mejoras de sus procesos.

La investigación en curso “Elaboración de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Aplicado a Industria de Gases de El Salvador” es un punto de partida para implementar esta metodología en sus plantas.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Presentar propuesta de plan de mantenimiento para la planta de mantenimiento de cilindros, basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

1.6.2. Objetivos específicos

- Seleccionar la planta y equipos a trabajar de la empresa de gases.
- Obtener el fundamento teórico para desarrollar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- Definir la metodología a utilizar para elaborar el plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad con base al análisis del proceso productivo y el histórico de mantenimientos aplicados.
- Elaborar propuesta de plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad aplicado a equipos de la planta de mantenimiento de cilindros.

1.7. Alcances

Dentro de los alcances se tienen:

- De todos los procesos que posee la empresa, se tomará como unidad de estudio los equipos productivos de planta de mantenimiento de cilindros.
- La elaboración del plan de mantenimiento se realizará para los equipos que presenten mayor criticidad según el análisis realizado.
- Del modelo de gestión del mantenimiento solo se desarrollará hasta la Fase 4, que corresponde al diseño de los planes de mantenimiento aplicando MCC.
- Proponer la misión, visión y políticas del departamento de mantenimiento.

1.8. Limitantes

Dentro de las limitaciones se tienen:

- La empresa, respetando sus políticas de confidencialidad, no puede proporcionar información relacionada con variables sensitivas del negocio; pese a que los autores firmaron un convenio de confidencialidad con la empresa en estudio.
- Para el registro de histórico de los mantenimientos se utilizarán los datos archivados por la empresa de forma física ya que no se cuenta con la información en digital.
- Por el momento no se cuenta con la misión, visión y políticas del departamento de mantenimiento.

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

En El Salvador las empresas que se dedican al rubro de gases puros y mezclas de gases especiales son limitadas, por tal motivo encontrar información referente a mantenimiento en esta área se vuelve un poco complicado.

Para poder diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) aplicado a equipos de la planta de mantenimiento de cilindros, nos apoyaremos en literatura de autores como los Doctores. Carlos Parra y Adolfo Crespo [1] que presentan el fundamento teórico que resalta la importancia de aplicar metodologías que agregan valor a las empresas.

A continuación, se presentan los argumentos que respaldaran la investigación:

2.1. Gestión del Mantenimiento.

La norma española EN 13306:2002 [2] incluye las actividades de gestión que: determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades en la gestión tomando en cuenta todos aquellos aspectos económicos relevantes para la organización. Para lograr una gestión eficaz y eficiente, se deben tener una serie de pasos a seguir y una estructura básica con herramientas para su aplicación.

El proceso de gestión de mantenimiento se puede dividir en 2 partes:

- a- La definición de la estrategia de mantenimiento.** Se definen los objetivos, los cuales deben de estar alineados con el plan de negocio.
- b- La implementación de la estrategia del mantenimiento.** Está relacionada con la formación del personal, preparación del trabajo y la selección de herramientas adecuadas para la ejecución de tareas.

2.1.1. Principios básicos en la definición de estrategias de mantenimiento.

El proceso de definición de una estrategia de mantenimiento puede describirse utilizando métodos estándar propuesto por Crespo [3] (ver figura 3).

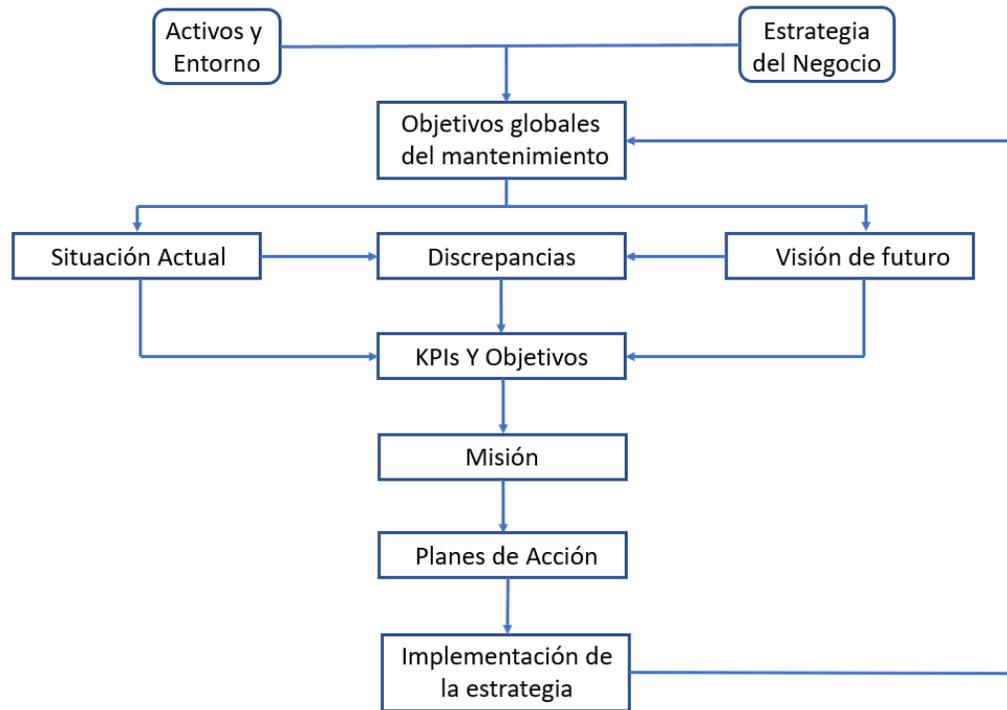


Figura 3. Modelo para la definición de la estrategia de Mantenimiento.

Fuente: Crespo, A. (2007) [3]

Del modelo mostrado en la figura 3 para la planificación de estrategias incluye lo siguiente:

- Obtención, partiendo de los objetivos corporativos del negocio, los objetivos y políticas de mantenimiento al más alto nivel. Estos objetivos pueden incluir, por ejemplo, valores estimados y realistas para las siguientes variables: Disponibilidad de equipos, fiabilidad, seguridad, riesgo, presupuesto de mantenimiento, etc.; a su vez, estos objetivos deben de ser comunicados a todo el personal que está involucrado en mantenimiento, incluyendo terceras partes.
- Determinación del desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas.
- Determinación de los medidores claves a considerar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (Key Performance Indicators —KPIs). Las mejoras para perseguir se

basarán en esta serie de medidores aceptados por la dirección de operaciones y de mantenimiento.

- Establecimiento de una serie de principios que conducirán la implementación de la estrategia, y que condicionarán la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

2.1.2. Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)

Para realizar una Gestión del Mantenimiento se utilizará el modelo presentado por Crespo [3], el cual es una propuesta de modelo genérico que cuenta e integra muchos de los modelos encontrados en la literatura hasta la fecha o modelos empleados en la práctica en empresa de amplia tradición y excelencia en este campo. [4]

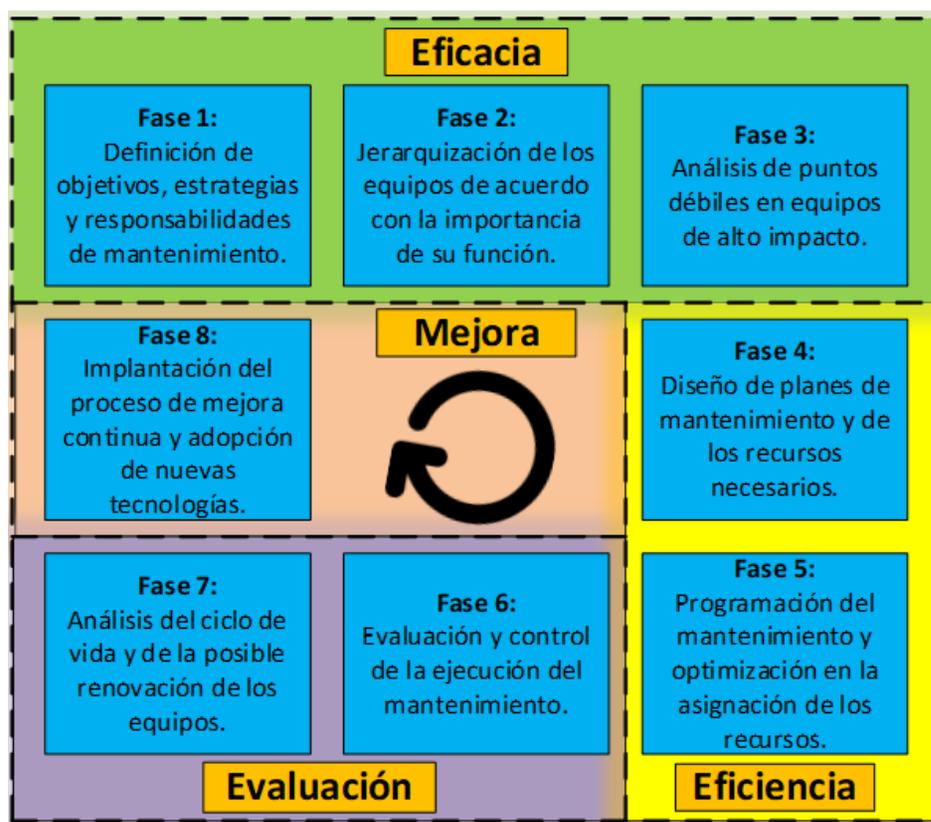


Figura 4. Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

El modelo de gestión del mantenimiento (MGM) (ver figura 4) está compuesto por 8 bloques, que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo.

Cada una de las fases del modelo incluye la utilización de algunas herramientas comerciales relacionadas con el área de Ingeniería de la Fiabilidad.

A continuación, se realizará una breve descripción de las fases y las herramientas que pueden ser utilizadas en cada una de ellas, las cuales se resumen en la figura 5. [1]

Fase 1. Técnicas para definir la estrategia de gestión de mantenimiento. Para poder asegurar que los objetivos operacionales de mantenimiento y la estrategia no son inconsistentes con los objetivos generales del negocio podemos introducir e implementar en el área de mantenimiento técnicas como el Cuadro de Mandos Integral (The Balanced Scorecard –BSC- [5]. El BSC es específico para la organización para la cual es desarrollado y permite la creación de una serie de indicadores claves de rendimiento (KPIs) para medir el desempeño de la gestión de mantenimiento, que están alineados con los objetivos estratégicos de la organización. De esta forma, las medidas de rendimiento de la función mantenimiento se ligan con el éxito de la organización al completo.

Fase 2. Técnicas para jerarquizar los activos de producción. Cuando los objetivos y estrategias de mantenimiento están definidos, existen un número importante de técnicas cualitativas y cuantitativas que nos ofrecen una base sistemática sobre la cual basar nuestras decisiones a la hora de clasificar los activos productivos en base a la importancia de su función para la consecución de los objetivos del negocio Los activos con índice mayor serán los primeros en ser analizados

Fase 3. Herramientas para eliminar los puntos débiles en equipos/sistemas de alto impacto, en activos críticos, antes de pasar a desarrollar las acciones a incluir en los planes de

mantenimiento, es muy conveniente analizar posibles fallos repetitivos. Existen diferentes métodos para realizar este análisis de puntos débiles en activos críticos, una de los más conocidos es el del análisis de causa raíz de fallos (Root Cause Analysis – RCA). Este método consiste en una serie de acciones que son tomadas para encontrar la razón por la cual existe un determinado modo de fallo y la forma de corregirla.

Fase 4. Soporte para la correcta definición de un plan adecuado de mantenimiento preventivo. El diseño del plan de mantenimiento preventivo para un determinado sistema requiere la identificación de sus funciones y de la forma en que estas funciones dejan de cumplirse, además del establecimiento de una serie de tareas efectivas y eficientes de mantenimiento, basadas en consideraciones que tienen que ver con la seguridad y la economía de nuestro sistema. Un método formal para la consecución de este objetivo es el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM - Reliability Centered Maintenance) o conocido también como (MCC - Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).

Fase 5. Técnicas de optimización para la mejora de los programas de mantenimiento. La optimización de los planes y programas de mantenimiento puede ser realizada para mejorar la eficacia y eficiencia de las políticas de mantenimiento que resultan de un diseño inicial del plan y del programa de tareas. Los modelos para aplicar dependen, por lo general, del horizonte de tiempo elegido para el análisis.

Fase 6. Control y supervisión de las operaciones de mantenimiento. La ejecución de las actividades de mantenimiento — una vez diseñadas, planificadas y programadas tal y como se ha descrito en apartados anteriores — tiene que ser evaluada y las desviaciones controladas para perseguir continuamente los objetivos de negocio y los valores estipulados para KPIs (técnicos y económicos) de mantenimiento seleccionados por la organización.

Fase 7. Instrumentos para análisis de costos de ciclo de vida del activo y para su control. Un análisis de costos de ciclo de vida calcula el costo de un activo durante su vida útil. El análisis

de un activo típico podría incluir costos de planificación, investigación y desarrollo, producción, operación, mantenimiento y retirada del equipo.

Fase 8. Técnicas para la mejora continua del mantenimiento. La mejora continua de la gestión de mantenimiento será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en fases anteriores de nuestro proceso de gestión.

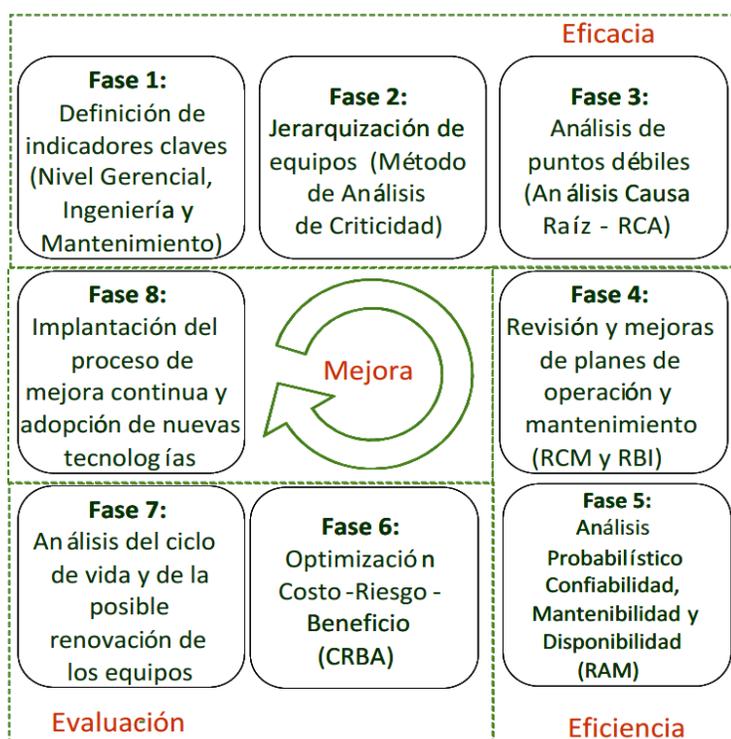


Figura 5. MGM con herramientas de aplicación en cada fase.

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

2.2. Cuadro de Mando Integral (BSC)

Como ya se describió en la sección anterior la fase 1 del modelo del proceso de gestión del mantenimiento (ver figura 6) corresponde a la definición de indicadores claves (KPIs) a Nivel Gerencial y para ello puede hacerse uso del Cuadro de Mando Integral (Balanced Scorecard – BSC) [5] y el cual es un modelo que traduce la misión de una unidad de negocio y la estrategia utilizada a un conjunto de objetivos e indicadores cuantificables que deben estar

alineados con los objetivos de la alta gerencia de la empresa, para ello es necesario que el departamento de mantenimiento cuente con una misión, visión y políticas propias.

El BSC se construye con base a cuatro perspectivas. (ver tabla 1)

- 1- Financiera (punto de vista del inversor).
- 2- Cliente (atributos de rendimiento valorados por los clientes).
- 3- Procesos internos (procedimientos y medios para alcanzar los objetivos financieros y de los clientes).
- 4- El aprendizaje y el crecimiento (capacidad de mejora continua y creación de valor).

Tabla 1. Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard – BSC).

Misión y Estrategia	Objetivos Estratégicos	Medidas (KPI's)	Metas	Planes de Acción	Perspectiva
					Financiera
					Clientes
					Procesos Internos
					Aprendizaje

Fuente: Kaplan, R. Norton, D; (1992). [5]

La experiencia de las organizaciones que han implementado el BSC indican que la metodología tiene un mayor impacto en el rendimiento del negocio si es utilizado para conducir un proceso de cambio ya que proporciona un marco integral para el establecimiento de un sistema de gestión del rendimiento.

Este proceso requiere de por lo menos los siguientes pasos:

- 1- Formular la estrategia para la operación de mantenimiento. Aquí se consideran las mejores opciones de mantenimiento como el caso de la aplicación de mantenimiento basado en la confiabilidad.
- 2- Poner en práctica la estrategia. Tomado en cuenta a los stakeholders internos y externos se definen los diferentes indicadores de rendimiento (KPI).

- 3- Desarrollar los planes de acción. Se buscan los medios para conseguir llegar a los objetivos.
- 4- Revisión periódica del rendimiento y la estrategia. Se realiza un seguimiento para ver los progresos y si es necesario se hace una reformulación de las estrategias.

2.3. Indicadores (KPIs)

La buena selección de indicadores claves para el rendimiento es fundamentales para la toma de decisiones importantes y deben estar alineados con los objetivos de máximo nivel de la organización y estos deben de desarrollarse en las zonas donde se desea mejorar.

Existen diversos indicadores utilizados en la industria, pero los más comunes son los que emplean para medir la fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y costos económicos y su valoración puede realizarse en 3 niveles: componentes, sistemas y plantas.

A continuación, se muestran los indicadores de mantenimiento habituales utilizados en la metodología de cuadro de mando (BSC):

2.3.1. Indicadores de fiabilidad: TPO (Tiempo Promedio Operativo hasta el fallo) = MTTF (Mean Time to Failure).

El cual mide el tiempo promedio que es capaz de operar un equipo sin interrupciones.

Unidad de medida: tiempo (horas, días, meses, etc.).

Expresión de cálculo.

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTF_i}{n} \quad Ec(2.1)$$

Donde:

TTF_i = tiempos operativos hasta el fallo.

n = número total de fallos en periodo evaluado.

2.3.2. Indicador de Fiabilidad: FF (Frecuencia de Fallos)

Indicador que sirve para medir el número de fallos que se presentan en un periodo. Unidad de medida: fallo/tiempo (fallos/año, fallos/mes, fallos/semana, fallos/horas)

Expresión de cálculo.

$$FF = \frac{1}{MTTF} \quad Ec(2.2)$$

Donde:

MTTF = Tiempo promedio operativo hasta el fallo.

Los indicadores de fiabilidad sirven para medir la continuidad operacional y la tasa de aumento o disminución de fallos.

2.3.3. Indicador de Mantenibilidad: TPF (Tiempo Promedio Fuera de Servicio) = MDT (Mean Down Time).

Indicador que sirve para medir el tiempo promedio que se tarda en sustituir un componente a una condición adecuada de operación después de un fallo). Unidad de medida: tiempo (horas, días, semanas, etc.).

Expresión de cálculo.

$$MDT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DT_i}{n} \quad Ec(2.3)$$

Dónde:

DT_i = tiempos fuera de servicio.

n = número total de fallos en el periodo evaluado.

El indicador MDT representa la mantenibilidad (tiempos de restauración de los eventos que generan indisponibilidad).

2.3.4. Indicador de Costos: CIF (Costos de Indisponibilidad por Fallos).

Indicador que sirve para medir el impacto económico ocasionado por los efectos que trae consigo un modo de fallo en un periodo de tiempo específico, en otras palabras, representa el impacto económico de los fallos. Unidad de medida: dinero/tiempo (dólares/año, dólares/mes, etc.).

Expresión de cálculo.

$$CIF = FF \times MDT \times (CD + CP) \quad Ec(2.4)$$

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos.

MDT = tiempo promedio fuera de servicio.

CD = costos directos de corrección por fallos por hora (incluye los costos de materiales y mano de obra).

CP = costos por penalización por hora (incluye los costos de oportunidad provocados por paradas de plantas, retrasos de producción, productos deteriorados, baja calidad, reprocesos, impacto en seguridad y medio ambiente, etc.).

2.3.5. Indicador Operacional: D (Disponibilidad del proceso de producción)

Es un indicador técnico que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que un equipo está en condiciones para cumplir su función requerida en otras palabras representa el porcentaje de tiempo disponible de los activos. Unidad de medida: % (relación de tiempos operativos y tiempos fuera de servicio).

Expresión de cálculo.

$$D = \frac{MTTF}{(MTTF + MDT)} \cdot 100\% \quad Ec(2.5)$$

Dónde:

MTTF = mean time to failure (tiempo promedio operativo hasta la falla).

MDT = mean down time (tiempo promedio fuera de servicio).

2.3.6. Indicador Financiero: VEA (Valor Económico Agregado) (nivel de ganancias)

Es el resultado que se obtiene al calcular la diferencia entre la rentabilidad de los activos y su costo de financiación. Este indicador resume la ganancia obtenida una vez que la empresa es capaz de cubrir todos sus costos, incluyendo los costos de capital. Unidad de medida: dinero/tiempo (dólares/año, etc.).

Expresión de cálculo.

$$VEA = IR - G \quad Ec(2.6)$$

$$IR = CP \times VP \times D \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad Ec(2.7)$$

$$G = CF + CO + CMP + CMC \quad Ec(2.8)$$

Dónde:

IR = Ingresos reales del proceso de producción al año (dólares/año).

G = Gastos del proceso de producción al año (dólares/año).

CP = Cantidad de producción al día (autos/día, cilindros/día, etc.).

VP = Valor de venta unitario del producto (dólares/auto, dólares/cilindros, etc.).

D = Disponibilidad promedio real de la planta de operación por día (%).

CF = Costos fijos (dólares/año).

CO = Costos operacionales (dólares/año).

CMP = Costos de mantenimiento preventivo (dólares/año).

CMC = Costos de mantenimiento correctivo (dólares/año).

2.4. Técnicas de auditoría en el área de mantenimiento

Tomando de referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) mostrado en la figura 5, en la fase 1 que está relacionada con la ingeniería de mantenimiento una técnica que es muy aplicable para tener una radiografía del estado actual son las técnicas de auditoría [1] [6] y [7].

La efectividad de un buen plan de mantenimiento debe ser evaluada y medida para poder mejorarse tomando como base una variedad de factores que los afecta, para ello se puede hacer uso de una auditoría que es una revisión sistemática de una actividad para evaluar el cumplimiento de los objetivos que se quieren alcanzar.

Los procesos de auditorías deben de cumplir una serie de pasos y estas pueden variar según sea lo que se quiere medir y debe ser flexible para poder adaptarlo a la realidad de cada empresa y el objetivo es que nos ayude a mejorar los procesos y para la toma de decisiones.

A continuación, se citan algunos objetivos claves comunes del área de mantenimiento que deben conseguir la aplicación de una auditoría.

- Mejorar la fiabilidad garantizando valores aceptables de riesgo operacional de los activos de producción.
- Mejorar la mantenibilidad, recuperando de forma eficiente la tolerancia de los sistemas.
- Mejorar la disponibilidad optimizando la continuidad operacional a lo largo de su ciclo de vida.

Una vez identificados los objetivos claves del plan de mantenimiento se deben identificar las áreas de mayor oportunidad las cuales pueden ser: recursos, sistemas de información, tecnologías aplicadas al mantenimiento, procesos, control de calidad y soporte, fiabilidad, etc.

Las auditorías deben de poseer las siguientes características:

- Deben proporcionar datos cualitativos y cuantitativos que sirvan de insumos para la toma de decisiones.
- Deben agregar valor al negocio.
- Deben combinar lenguajes económicos (financieros) y técnicos (ingeniería).
- Su aplicación debe ser rápida y entendible.
- Los resultados deben generar acciones que mejoren la rentabilidad del negocio.

A continuación, se presentan algunas técnicas de auditorías más utilizadas en los diferentes procesos de gestión de mantenimiento.

2.4.1. Auditoría Matriz Cualitativa de Excelencia en Mantenimiento.

Es una matriz de 5 x 7 que se aplica a nivel personal a través de una lluvia de ideas y a la mayor cantidad de involucrados y consta de las siguientes partes (ver tabla 2):

- Eje horizontal (5 etapas de mejora de mantenimiento: incertidumbre, conciencia, entendimiento, madurez y excelencia).

- Eje vertical (7 factores a evaluar: aptitud de la alta gerencia, estatus de la organización mantenimiento, costos del mantenimiento, formas de resolver los problemas de mantenimiento, calificación y entrenamiento del personal de mantenimiento, manejo de la información y toma de decisión y posición de la organización en relación con el mantenimiento).

Tabla 2. Auditoria Matriz Cualitativa en Mantenimiento.

Criterios	Incertidumbre	Conciencia	Entendimiento	Madurez	Excelencia
Aptitud gerencial					
Estatus de la organización mantenimiento					
Costos totales de mantenimiento/producción					
Formas de resolver los problemas					
Calificación y adiestramiento del personal					
Manejo de la información y proceso de toma de decisiones					
Posición de la organización en relación con el mantenimiento					

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

2.4.2. Auditoria Maintenance Effectiveness Survey (MES)

Es una auditoria propuesta por el instituto Marshall (<http://www.marshallinstitute.com>) [7] y está basada en un cuestionario de evaluación de 60 preguntas repartidas en 5 áreas del mantenimiento las cuales se ponderan del 1 al 5.

Las áreas de evaluación son:

- Recursos Gerenciales.
- Gerencia de la información (software de gestión del mantenimiento).
- Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo.
- Planificación y ejecución.
- Soporte, Calidad y Motivación.

Las puntuaciones totales se suman, promedian y finalmente se estima la posición del mantenimiento en función de los siguientes rangos.

- 261 - 300: Categoría “Clase mundial” / Nivel de excelencia.
- 201 - 260: Categoría “Muy buena” / Nivel de buenas prácticas.
- 141 - 200: Categoría “Por arriba del nivel promedio” / Nivel aceptable.
- 81 - 140: Categoría “Por debajo del promedio” / Nivel con oportunidades para mejora.
- Menos de 80: Categoría “Muy por debajo del promedio” / Nivel muy malo con muchas oportunidades para mejora.

En la tabla 3 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de una auditoría MES, en donde fueron 27 personas evaluadas a través de entrevistas.

Tabla 3. Ejemplo de aplicación Auditoría MES.

Resultados por áreas	Valor máximo esperado por áreas 60 puntos	Desv. est
Recursos Gerenciales	34.65	5.81
Gerencia de la información	31.76	8.33
Equipos y técnicas de Mantenimiento Preventivo	36.29	5.74
Planificación y ejecución	3.00	3.26
Soporte, calidad y motivación	32.27	7.37
Totales	166.18	

Fuente: Marshall Institute. <http://www.marshallinstitute.com> [7]

2.4.3. Auditoría Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS).

La Herramienta AMORMS, está basada en el modelo de Gestión del Mantenimiento y Confiabilidad desarrollado en el libro: Ingeniería de Fiabilidad y Mantenimiento aplicada en la Gestión de Activos. [1] y [6], y está compuesta por 150 preguntas que están divididas en 8 categorías:

- Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIs) y Organización de Soporte.
- Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos).

- Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz).
- Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones.
- Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad.
- Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM).
- Procesos de Análisis de Costos de Ciclo de Vida.
- Proceso de revisión y mejora continua.

Las 150 preguntas de las que consta la autoría AMORMS puede verse en el **Anexo 1**.

2.4.4. Consideraciones sobre la aplicación de auditorías en mantenimiento.

Las auditorías de diagnóstico en mantenimiento están diseñadas para hacer más rentable una empresa identificando las oportunidades de mejora y conforman la línea base proporcionando herramientas para la toma de decisiones y la implementación de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad.

Y en términos generales las empresas que utilicen las auditorías como herramienta deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Tener bien claro los factores a evaluar.
- Tener en cuenta que no una metodología única y debe de aplicarse en los casos que sea necesarios.
- Aplicar auditorías que evalúen aspectos técnicos y económicos.
- Las auditorías cualitativas / cuantitativas solo reflejan parte de la realidad y no son perfectas.
- La inexperiencia en el dominio de la auditorías puede limitar el alcance.
- El éxito de la implementación depende del recurso humano involucrado en el desarrollo de esta.

2.5. Técnica de jerarquización de activos (Análisis de Criticidad).

Tomando de referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de las 8 fases propuesto en la (Figura 4), las técnicas de jerarquización y criticidad pertenecen a la fase 2.

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas útiles que permiten identificar y jerarquizar los activos en base a su importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan [1] y [3].

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer una metodología que ayude a jerarquizar procesos, sistemas y equipos dentro de un proceso más complejo subdividiéndolo de manera tal que pueda ser controlable y auditable.

A continuación, se muestran algunos criterios utilizables en un proceso de jerarquización:

- Flexibilidad operacional.
- Efectos de la continuidad operacional / capacidad de producción.
- Efecto en la calidad del producto.
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene.
- Costos por paros y mantenimientos.
- Frecuencia de fallas / confiabilidad.
- Condiciones físicas de operación.
- Flexibilidad y accesibilidad para inspecciones y mantenimientos.
- Disponibilidad de presupuestos.

Existen varias metodologías de análisis de criticidad sustentados en teorías del riesgo, fiabilidad (frecuencia de fallos) y del factor de severidad / consecuencia del fallo (impacto en seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.). Pero es importante que el análisis seleccionado sirva de materia prima para la optimización de procesos.

A continuación, se presentan 3 métodos de jerarquización basados en la evaluación del riesgo y orientados a identificar equipos críticos de un sistema de producción.

2.5.1. Método de flujograma de análisis de criticidad (Cualitativo)

Este método de análisis de criticidad es cualitativo y nos ayuda a la jerarquización de equipos de un sistema de producción por medio de la clasificación de tres categorías: A, B y C siendo los equipos del tipo A, los que tienen mayor prioridad (ver figura 6). [3]

Para hacer la clasificación final se procede de manera secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo de trabajo y de cada pregunta existen tres respuestas posibles A, B o C.

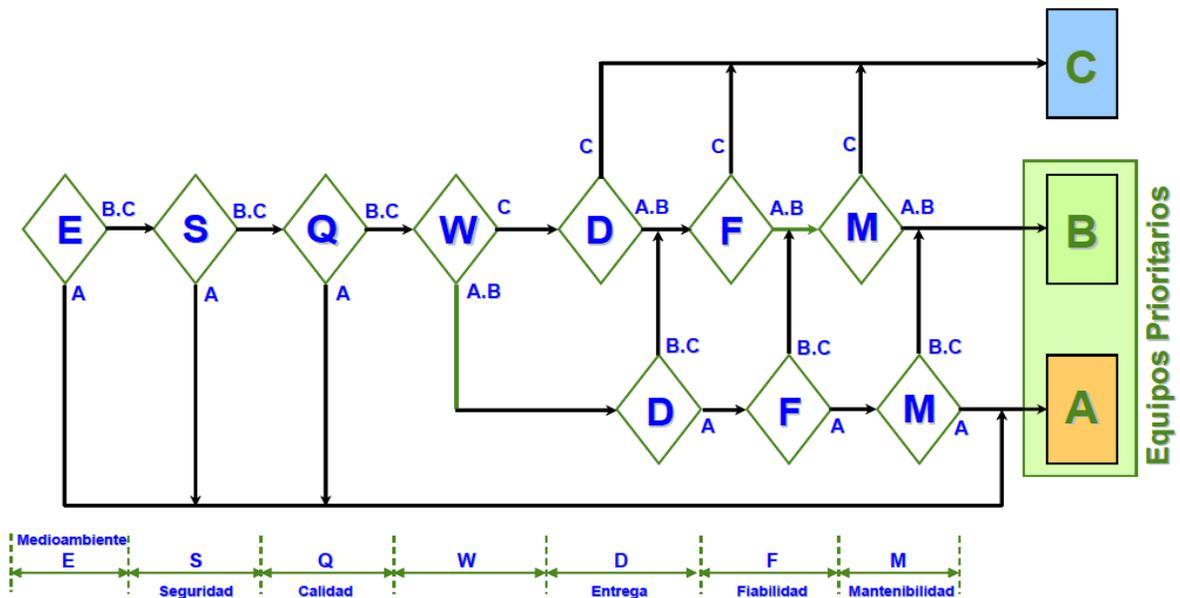


Figura 6. Modelo de flujograma de criticidad.

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

Las preguntas (E) se refiere al medio ambiente, las preguntas de (S) a seguridad, las preguntas (Q) a calidad, las preguntas (W) al tiempo de trabajo de un activo, las preguntas (D) se refiere a la entrega y es un criterio relacionado con el impacto operacional de un fallo del activo, las preguntas (F) se refieren a la fiabilidad (frecuencia del fallo) y las preguntas (D) a la mantenibilidad.

A continuación, se muestra un ejemplo en la tabla 4.

Tabla 4. Ejemplo de aplicación de método de flujograma de análisis de criticidad.

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN		
	A	B	C
(E) Medio ambiente	La empresa tiene que avisar a autoridades publicas	La afección puede gestionarse en el interior de la empresa	El fallo no produce ningún tipo de contaminación medioambiental
(S) Seguridad	El fallo produce absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo	El fallo podría causar daños menores a las personas en el lugar de trabajo, pero no produce ausencia	Los fallos no producen consecuencia a la seguridad de las personas
(Q) Calidad	El fallo produce un daño a la imagen de la empresa	El fallo produce una consecuencia interna de la empresa	Las consecuencias del fallo no producen ningún impacto
(W) Tiempo de trabajo de un activo	El activo se utiliza en todos los turnos y horas extras	El activo es utilizado en algunos de los turnos	El activo no está siendo utilizado en todos los turnos
(D) Entrega	El fallo producido detiene la producción de la empresa	Los fallos detienen la producción de una línea	Los fallos no producen una interrupción significativa en la producción
(F) Fiabilidad	La frecuencia de fallos es menor a 5h	La frecuencia de fallos esta entre 5h y 10h	La frecuencia de fallos es mayor a 10h
(M) Mantenibilidad	Se requiere un tiempo medio de reparación de más de 90 min	Se requiere un tiempo de reparación de entre 45 min y 90 min	El tiempo de reparación es menor a 45 min

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

2.5.2. Modelo de Criticidad Semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total por Riesgo).

Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y aplicado a muchas empresas y consiste en un análisis semicuantitativo entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este. [1]

A continuación, se muestran las ecuaciones matemáticas que sirven para calcular la criticidad por riesgo:

$$CTR = FF \times C \quad Ec (2.9)$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo.

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año)).

C: Consecuencia de los eventos de fallos.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad Ec (2.10)$$

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costos de mantenimiento.

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Sustituyendo la *Ec (2.10)* en la *Ec (2.9)* la ecuación queda de la siguiente manera.

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA) \quad Ec (2.11)$$

Los factores ponderados en cada uno de los criterios a ser evaluados se presentan a continuación.

- Factor de Frecuencia de Fallos (FF) (Escala 1 – 4).
 - 4: Frecuente: Mayor a 2 eventos al año.
 - 3: Promedio: 1 y 2 eventos al año.
 - 2: Bueno: Entre 0.5 y 1 evento al año.
 - 1: Excelente: Menos de 0.5 eventos al año.

- Factores de Consecuencias.
 - Impacto Operacional (IO) (Escala 1 – 10).
 - 10: Pérdidas de producción superiores al 75%.
 - 7: Pérdidas de producción entre 50 y 74%.
 - 5: Pérdidas de producción entre el 25 y el 49%.
 - 3: Pérdidas de producción entre el 10 y el 24%.
 - 1: Pérdidas de producción menores al 10%.
 - Impacto de Flexibilidad Operacional (FO) (Escala 1 – 4).
 - 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.
 - 2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
 - 1: Se cuenta con unidades de reserva de línea, tiempos de reparación y logística pequeños.
 - Impacto de Costos de Mantenimiento (CM) (Escala 1 – 2).
 - 2: Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a \$20,000.
 - 1: Costos de reparación, materiales y mano de obra inferiores a \$20,000.
 - Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (Escala 1 – 8).
 - 8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catástrofe) que exceden los límites permitidos.
 - 6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración.
 - 3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas respectivas.
 - 1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afecciones a la salud, ni daños ambientales.

La selección de las ponderaciones se realiza en reuniones de trabajo con la participación de los stakeholders involucrados en las operaciones, mantenimientos, seguridad y ambiente, haciendo uso de la ecuación 2.11 se procede a construir una matriz de 4x4 (ver tabla 5) que permite jerarquizar los sistemas en tres áreas de Sistemas: No Críticos (NC), Media Criticidad (MC) y críticos (C).

Tabla 5. Matriz de criticidad total por riesgo CTR.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

La ecuación 2.11 puede adaptarse según sea la necesidad y realidad de cada empresa por lo cual se pueden obtener variaciones de la función del riesgo.

2.5.3. Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” (Matriz de Criticidad por Riesgo)

El modelo de criticidad por riesgo toma de referencia el método diseñado para los activos Off-Shore del área de Magallanes, elaborada por ENAP SIPETROL [8], y está basado en la estimación del factor de riesgo a través de las siguientes expresiones matemáticas.

$$Riesgo = FF \times C \quad Ec(2.12)$$

Donde:

FF: Frecuencia de fallos (número de fallas en un tiempo determinado).

C: Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc. (calculado ahora conforme a Ec. 2.13).

$$C = SHA \times 0.2 + IC \times 0.2 + IP \times 0.2 + BM \times 0.2 + CM \times 0.2 \quad Ec (2.13)$$

Donde:

SHA: Impacto en Seguridad y Medio Ambiente.

IC: Impacto en Calidad.

IP: Impacto Producción.

BM: Impacto por Baja Mantenibilidad.

CM: Costo de Mantenimiento.

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de frecuencia y consecuencia de fallos.

- Factor de frecuencia de fallos (FF) (Escala 1 – 5).
 - 1: Sumamente improbable: Menos de 1 evento en 5 años.
 - 2: Improbable: 1 evento en 5 años.
 - 3: Posible: 1 evento en 3 años.
 - 4: Probable: Entre 1 y 3 eventos al año.
 - 5: Frecuente: Más de 3 eventos por año.

- Factores de consecuencias (Escala 1 – 5).
 - Impacto Seguridad y Medio Ambiente (SHA).
 - 5: Alto riesgo de vida personal, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico), derrames y fugas que exceden los límites permitidos.
 - 3: Riesgo de vida personal o daños menores a la salud del personal y/o incidente ambiental menor, derrames fáciles de contener y fugas repetitivas.
 - 1: No existe ningún riesgo de salud ni daños ambientales.

 - Impacto en Producción (IP).
 - 5: Pérdidas de producción superiores al 75% (no hay unidades de reserva)

- 4: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74% (unidades de reserva parcial).
 - 3: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%.
 - 2: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%.
 - 1: Pérdidas de producción menores al 10%.
- Impacto por Baja Mantenibilidad (BM).
 - 5: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.
 - 3: Se cuentan con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
 - 1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.
- Impacto en Costos de Mantenimiento (CM).
 - 5: Daños irreversibles al sistema, costos de reparación incluyendo materiales y HH supera en un 75% el valor del equipo.
 - 4: Costos de reposición incluyendo materiales y HH se ubican entre un 50% y el 74% del valor del equipo.
 - 3: Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 25% y el 49% del valor del equipo.
 - 2: Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican entre un 10% y el 24% del valor del equipo.
 - 1: Costos de reparación incluyendo materiales y HH, se ubican por debajo del 10% del valor del equipo.

Los resultados de la evaluación se presentan en una matriz de 5x5 (ver tabla 6) y se divide en cuatro niveles de criticidad. [3]

B = Baja Criticidad.

M = Media Criticidad.

A: Alta Criticidad.

MA = Muy Alta Criticidad.

Tabla 6. Matriz de criticidad por riesgo (MCR).

FRECUENCIA	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
		CONSECUENCIA				

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

2.6. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).

Tomando como referencia el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) de 8 fases mostrado en la figura 4 la técnica de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC por sus siglas en español o RCM por sus siglas en inglés), forma parte de la Fase 4.

El método de optimización de planes de mantenimiento denominado:

Mantenimiento Centrado en Fiabilidad, conocido comúnmente por sus siglas en inglés “RCM: Reliability Centered Maintenance”, se originó hacia el final de la década de los años 60, en un esfuerzo conjunto del gobierno y la industria aeronáutica norteamericana, a fin de establecer un proceso lógico y diseñar actividades de mantenimiento apropiadas con frecuencias óptimas para estas actividades. [1], [3] [9] y [10]

Los beneficios obtenidos por la industria aeronáutica no fueron un secreto y pronto el MCC fue adaptado y adecuado a las necesidades de otras industrias y sectores como la generación de potencia mediante energía nuclear y solar, la minería, el transporte marítimo, etc., así como el ámbito militar. En todos estos sectores se presentan exitosos resultados tras la aplicación del MCC, mediante la conservación o incremento de la disponibilidad, al mismo tiempo que se ahorra en costes de mantenimiento.

2.6.1. Aspectos teóricos básicos del MCC.

El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo natural de trabajo. El esfuerzo desarrollado por el equipo natural permite generar un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo/beneficio.

El Dr. Parra [1], define al MCC como un proceso de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallos de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

2.6.2. Proceso de implantación del RCM

Antes de comenzar el análisis de las necesidades de mantenimiento de los activos en cualquier organización, es fundamental conocer qué tipo de activos físicos existen y decidir cuáles son los que deben someterse al proceso de revisión del MCC (ver figura 7).

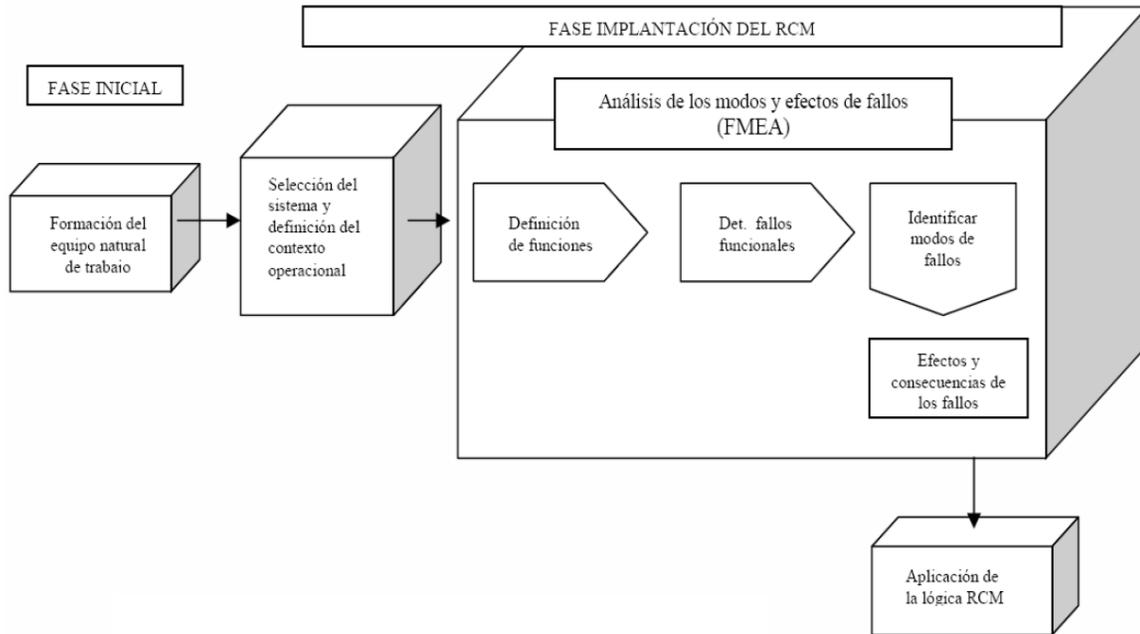


Figura 7. Flujograma de implantación del MCC
Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

Se observan en el flujograma dos grandes fases del proceso de implantación del MCC:

I FASE INICIAL:

- Formación del equipo natural de trabajo.

II. FASE DE IMPLANTACIÓN:

- Selección del sistema y definición del contexto operacional.
- Análisis de los modos y efectos de fallos – AMEF (FMEA: Failure Modes and Effects Analysis).
- Aplicación de la lógica MCC (árbol de decisión de estrategias de mantenimiento).

2.6.3. Formación del equipo natural de trabajo del MCC

Para dar respuesta a las preguntas básicas del MCC, es necesario crear un equipo natural de trabajo constituido por personas con distintas funciones dentro de la organización que sean capaces de responder entre todos dichas preguntas. En la práctica, el personal de mantenimiento de la organización no puede responder a todas las preguntas por sí mismo

debido a que algunas de las respuestas deben ser proporcionadas por el personal de producción u operación, sobre todo las relacionadas con el funcionamiento deseado del equipo y las consecuencias y efectos de los fallos. Por este motivo, las personas que trabajan diariamente con los equipos son una valiosa fuente de información que no hay que ignorar en el análisis mediante la metodología MCC.

Para asegurar que todos los puntos de vista estarán contemplados a la hora de hacer el estudio, es importante que haya personas de diferentes departamentos. En general, esto no debe significar formar grupos de menos de 4 ni más de 7 personas, lo ideal es un grupo formado por 5 o 6 componentes (ver Figura 8).

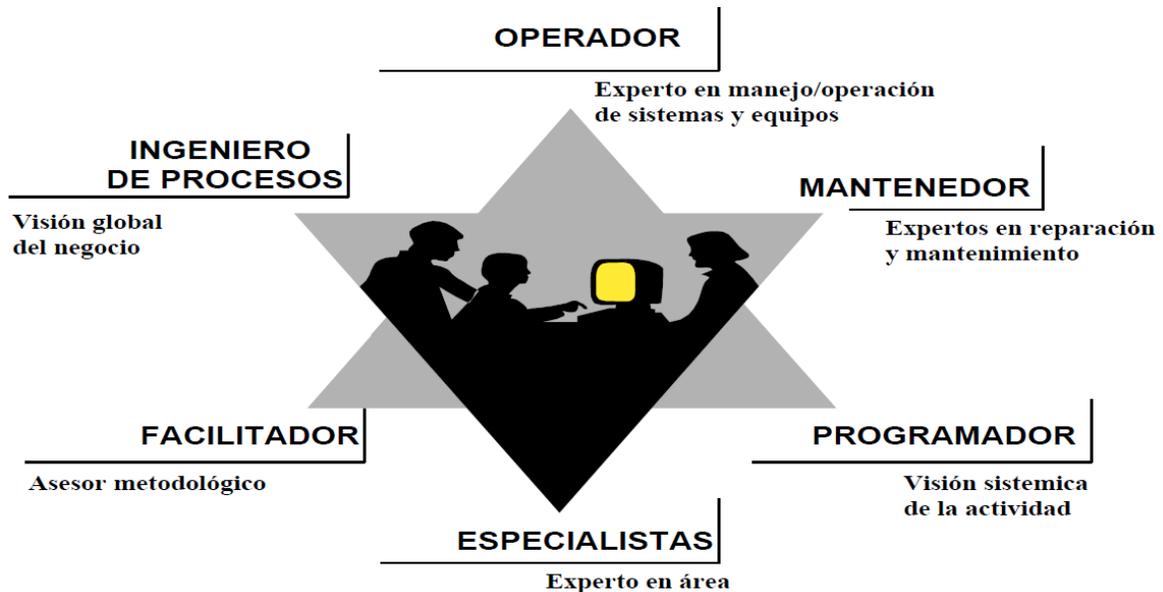


Figura 8. Integrantes de un equipo natural de trabajo de MCC.
Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

2.6.4. Selección del sistema y definición del contexto operacional.

El primer paso para dar en la implantación del MCC es la selección de los sistemas o equipos a los que se va a aplicar esta metodología. Se debe determinar la parte de nuestras instalaciones a estudiar y la parte o elementos que quedarán excluidos de ese estudio y, una vez delimitado el sistema a estudiar, determinar su composición, los elementos de nivel

inmediatamente inferior que lo constituyen y así sucesivamente, siguiendo con una estructura de árbol hasta el nivel que ya se considere como un todo indivisible desde el punto de vista del mantenimiento.

A continuación, se definen algunos términos necesarios para entender el concepto de nivel de detalle:

- Parte: representa el nivel más bajo de detalle al cual un equipo puede ser desensamblado sin que sea dañado o destruido. Ejemplos: engranajes, bolas de cojinetes, ejes, resistores, chip, etc.
- Equipo: nivel de detalle constituido por un grupo o colección de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, que cumple al menos una función relevante como ítem independiente. Ejemplos: válvulas, motores, bombas, compresores, etc.
- Sistema: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de equipos que cumplen una serie de funciones requeridas por una organización. La mayoría de los sistemas están agrupados en función de los procesos más importantes. Ejemplos: sistema de generación de vapor, de tratamiento de aguas, de condensado, de protección, etc.
- Planta: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de sistemas que funcionan en conjunto para proveer un producto o servicio por procesamiento o manipulación de materiales o recursos.
- Complejo o polígono industrial: nivel de detalle constituido por un grupo lógico de plantas que funcionan en conjunto para proveer varios productos o servicios de una misma clase o de distintas clases. Por ejemplo, un grupo de plantas de hidrógeno, azufre, etc., que constituyen un área denominada “Complejo de Refinería, Polígono Petroquímico, etc.”.

La experiencia de expertos en metodología MCC considera más eficaz el análisis de los distintos “sistemas” como nivel de detalle de la organización. Esto se debe a que en la mayoría de las organizaciones los “sistemas” son normalmente identificados y usados para los bloques funcionales, esquemas, diagramas, etc., y por tanto se tiene de ellos una información más detallada y precisa.

2.6.5. Técnicas de análisis de criticidad aplicadas en el proceso de MCC.

Las técnicas de análisis de criticidad son metodologías que permiten jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). Un método de criticidad cualitativo muy utilizado dentro de las aplicaciones de MCC, es el proceso de jerarquización de sistemas basado en matrices de criticidad, que consideran dentro de su proceso de análisis la evaluación del factor “Riesgo” [1] y [10]. Este método integra el análisis de la probabilidad (frecuencia) de que se produzca un fallo y las consecuencias (nivel de severidad) que pueden traer consigo los fallos de los sistemas a evaluar. La definición de criticidad puede tener varias interpretaciones dependiendo del objetivo que se pretenda y de las necesidades de la organización, por lo que existe una gran diversidad de herramientas de criticidad. Para realizar un análisis de criticidad es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir un alcance y propósito para el análisis de criticidad.
- Establecer criterios (atributos) de importancia.
- Seleccionar o desarrollar un método de evaluación para jerarquizar los sistemas seleccionados.

En relación con los criterios de importancia a ser considerados, estos dependerán básicamente del objetivo principal del proceso de jerarquización y del entorno organizacional y operacional. Entre los atributos más utilizados en los procesos de criticidad se encuentran: Seguridad, Ambiente, Producción, Costos (Operaciones y Mantenimiento), Frecuencia de Fallos y Tiempo promedio para reparar.

A continuación, se presentan algunas consideraciones importantes del proceso de evaluación de criticidad:

- La asignación de los pesos de importancia de cada uno de los factores (atributos) seleccionados para evaluar el factor “Consecuencias” dentro del proceso de análisis de criticidad, es una decisión propia de cada organización, que debe ser tomada, teniendo en cuenta la misión y los objetivos del negocio; y bajo el consenso de un grupo de

trabajo MCC, estos pesos podrían cambiar en el tiempo y ajustarse a las necesidades del proceso de producción.

- El adicionar o eliminar factores (atributos) dentro del modelo de criticidad a desarrollar, debe ser el resultado de un proceso de análisis específico, el cual debe realizar el grupo de trabajo encargado de aplicar el método MCC.

2.6.6. Análisis del contexto operacional.

Una vez identificados el (los) sistema(s) crítico(s), la metodología de RCM propone que se desarrolle el contexto operacional del (los) sistema(s) a evaluar. Para el desarrollo del contexto operacional hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

Una herramienta gráfica que facilita la visualización del contexto operacional es el diagrama de entrada-proceso-salida (EPS) (ver Figura 9). En estos diagramas se deben identificar las entradas, los procesos y las salidas principales del sistema.

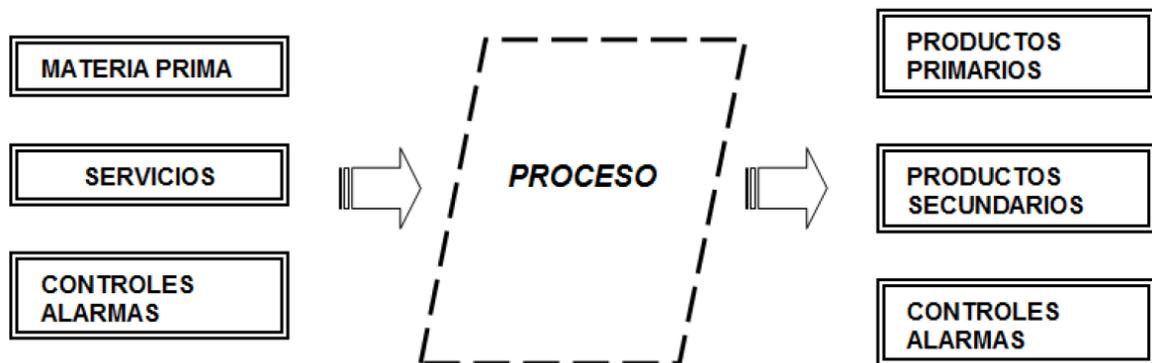


Figura 9. Diagrama de Entrada-Proceso-Salida.

Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

Las entradas pueden ser de tres tipos:

- Materia prima: son los recursos tomados directamente por el proceso (sistema/equipo) para transformarlos o convertirlos (gas, crudo, madera...).
- Servicios: son los recursos utilizados por el proceso para la transformación de la materia prima (electricidad, agua, vapor...).

- **Controles:** entrada referida a los sistemas de control y sus efectos sobre los equipos o procesos pertenecientes al área en cuestión. Normalmente, no necesitan ser registrados como una función separada ya que su fallo siempre va asociado a una pérdida de señal de salida en alguna parte del proceso.

Las salidas van a estar asociadas a las funciones inherentes al sistema y pueden ser clasificadas como:

- **Productos primarios:** Constituyen los principales propósitos del sistema, generalmente son especificados por la tasa de producción y los estándares de calidad.
- **Productos secundarios:** se derivan de funciones principales que cumple el sistema dentro del proceso. La pérdida de los productos secundarios puede causar, en la mayoría de los casos, la pérdida de las funciones primarias y sus consecuencias pueden ser catastróficas.
- **Controles y alarmas:** van asociadas a las funciones de protección y control del sistema.

2.6.7. Desarrollo de análisis de modos y efectos de Fallo (AMEF)

El Análisis de los Modos y Efectos de Fallos AMEF, (FMEA: Failures Modes and Effects Analysis) es la herramienta principal del MCC para optimizar la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. A partir del análisis realizado por los grupos de trabajo MCC a los distintos activos en su contexto operacional, se obtiene la información necesaria para prevenir las consecuencias y los efectos de los posibles fallos a partir de la selección adecuada de las actividades de mantenimiento. Estas actividades se eligen de forma que actúen sobre cada modo de fallo y sus posibles consecuencias (ver Figura 10).

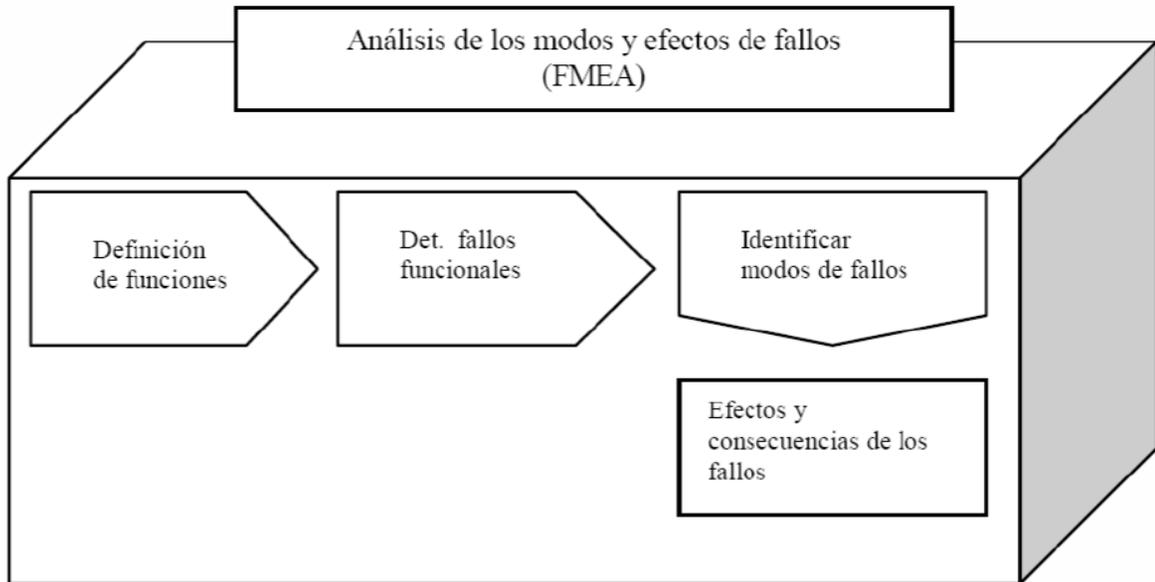


Figura 10. Esquema de análisis de los modos y efectos de fallos.
Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

El objetivo básico del AMEF es encontrar todas las formas o modos en los que puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias de los fallos en función de tres criterios básicos en el MCC: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción.

Para cumplir este objetivo, los grupos de trabajo deben realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia:

- Definir las funciones de los activos y sus respectivos estándares de operación/ejecución.
- Definir los fallos funcionales asociados a cada función del activo.
- Definir los modos de fallos asociados a cada fallo funcional.
- Establecer los efectos y consecuencias asociados a cada modo de fallo.

2.6.8. Desarrollo de análisis de modos y efectos de Fallo (AMEF).

Una vez realizado el AMEF, el equipo natural de trabajo deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de fallo previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión del MCC (herramienta

diseñada por el MCC, que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada para evitar los posibles efectos de cada modo de fallo). Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del árbol lógico de decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo de actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del MCC, es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, al ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de fallos. El equipo de trabajo debe identificar el tipo de actividad de mantenimiento, apoyándose en el árbol lógico del MCC (ver Figura 12). Tras seleccionar el tipo de actividad adecuada, se procede a especificar la acción de mantenimiento concreta a ejecutar y la frecuencia de ejecución de esta.

El MCC clasifica las actividades de mantenimiento en dos grandes grupos: las de actividades preventivas (proactivas) y las actividades correctivas, estas últimas, se ejecutarán sólo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo. Cada grupo de actividades de mantenimiento tiene sus respectivos tipos de tareas de mantenimiento, las cuales se detallan a continuación. (ver figura 11)

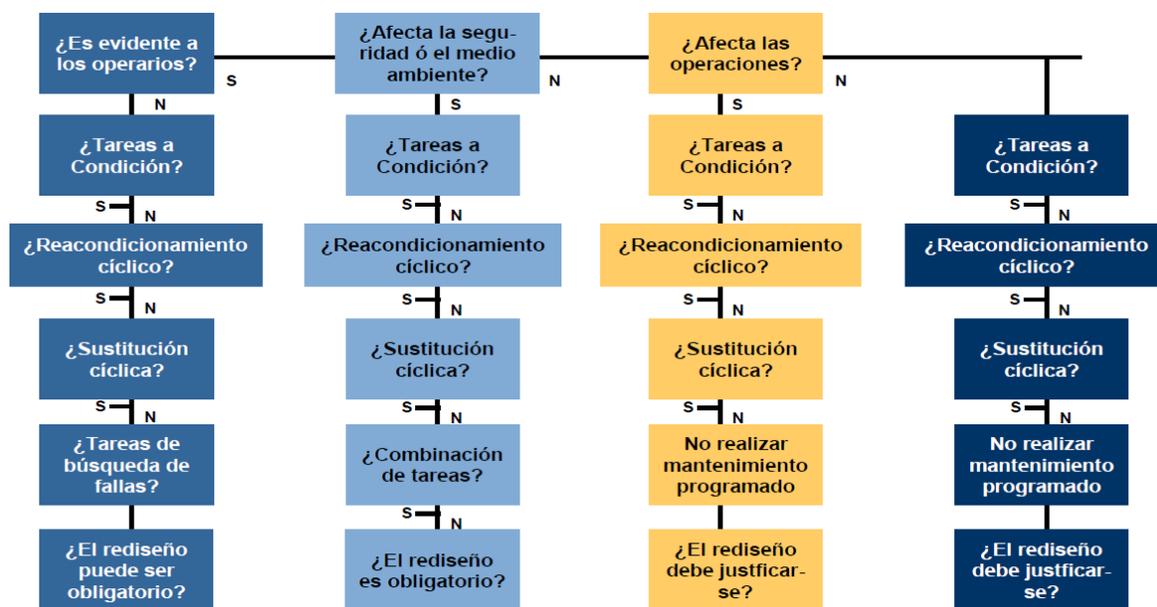


Figura 11. Lógica de selección de estrategias de mantenimiento: enfoque MCC.
Fuente: Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) [1]

CAPITULO III – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Tipo de Investigación.

La presente investigación es del tipo básica y de nivel descriptivo, el fin es elaborar un plan de mantenimiento que minimice las causas de los modos de fallas que originan que el equipo quede inoperativo, para esta investigación recopilaremos los datos de los equipos que se encuentran en cada expediente de forma escrita, además de contar con las entrevistas a los técnicos.

3.2. Técnicas de investigación.

La técnica de investigación que se utilizará es la documental y empírica mediante la observación y recolección de datos en expedientes para cada equipo.

3.3. Instrumentos de investigación.

- Histórico de reporte de falla en los equipos (mantenimiento correctivo).
- Histórico de mantenimiento preventivo.
- Metodología del Cuadro de Control de Mando (BSC) para definir KPIs.
- Herramienta para la aplicación de auditoria AMORMS.
- Herramienta para aplicación de Matriz de Criticidad.
- Herramienta de aplicación para realizar Análisis modal de fallas y efectos (AMEF).

CAPITULO IV – PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La investigación nace de la necesidad de contar con un plan de mantenimiento que pueda brindar confiabilidad al uso de equipos en planta de mantenimiento de cilindros, por lo que se mostrarán en este capítulo una serie de pasos para la implementación de un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

4.1. Situación actual del mantenimiento.

Actualmente la empresa cuenta con planes de mantenimiento preventivo y correctivo, que a lo largo de los años han funcionado, pero se ha descubierto que muchos de los paros no han sido registrados en los indicadores de mantenimiento programados (mantenimientos correctivos), ni tampoco se registra el tiempo de dicho paro y la frecuencia en que suceden. Además que muchos de los mantenimientos son adjudicados a outsourcing y no son documentados, por tal motivo y con el surgimiento de nuevas tecnologías disruptivas el mantenimiento tiene que adaptarse e implementar nuevas estrategias que brinden eficiencia y confiabilidad a los procesos por medio de una correcta gestión del mantenimiento.

Contar con una base de datos confiable es muy importante, ya que nos ayuda a identificar el estado actual de cada máquina y la criticidad de cada uno para el proceso productivo y así poder ampliar el ciclo de vida de este.

Para realizar una buena gestión del mantenimiento se necesita tener conocimientos sólidos de los equipos, procesos y variables en cada sistema instalado, por tal motivo la empresa necesita tener datos que registren especificaciones como: el nombre del equipo, tipo de mantenimiento, ubicación, modelo, serie, insumos acordes a cada tipo de mantenimiento, entre otros, que nos brinden información necesaria para un buen análisis, compra de repuestos y/o reemplazos.

Planificar y programar los mantenimientos preventivos, predictivos y minimizar los correctivos es la forma de como brindar mayor rentabilidad a la empresa. Además de tener personal técnico capacitado.

4.2. Procedimiento para elaboración del plan de mantenimiento.

4.2.1. Aplicación del modelo BSC en la Industria de Gases.

Para poder implementar el modelo BSC es necesario contar con una visión, misión y políticas del departamento de mantenimiento, si bien es cierto la empresa tiene esto de manera genérica para toda la empresa, no lo posee el departamento de mantenimiento. Por tanto, a continuación, se propone la visión, misión y política que podría el departamento de mantenimiento adoptar para que el modelo BSC pueda ser aplicado y que este en línea con los objetivos del modelo de negocio.

4.2.2. Visión del departamento de mantenimiento.

Ser el departamento referente dentro de la empresa por la capacidad de optimizar los recursos humanos y materiales, conservando los bienes productivos en condiciones seguras, garantizando la disponibilidad de equipos e implementando estrategias innovadoras de mantenimiento que generen beneficios al interior de la compañía.

4.2.3. Misión del departamento de mantenimiento.

Brindar un mantenimiento eficaz que mejore el ciclo de vida del activo, aumentando la disponibilidad y confiabilidad del equipo, manteniendo estables los procesos, con una mejora constante en las estrategias de mantenimiento que nos ayuden a minimizar fallas imprevistas, respetando normas de seguridad y certificación junto a los principios que rigen nuestra empresa.

4.2.4. Política del departamento de mantenimiento.

Comprometidos con una gestión de mantenimiento idónea y eficiente que ayude a preservar los activos de la empresa. Asumiendo el compromiso de mejorar continuamente la eficiencia y disponibilidad del equipo; apoyados en el desarrollo de nuestro recurso humano y un Sistema de Gestión de Calidad.

4.2.5. Planteamiento de los objetivos estratégicos de la organización.

Se presentan los siguientes objetivos estratégicos a cumplir por la organización los cuales ya están definidos:

1. Cumplir los requerimientos previamente convenidos con nuestros clientes.
2. Cumplir con la disponibilidad y entregas dentro de los compromisos adquiridos.
3. Mejorar continuamente la calidad.
4. Ser líderes en la industria.
5. Ser innovadores en el desarrollo del trabajo.

Las acciones necesarias para el logro de estos objetivos deberán ser abordadas principalmente por mantenimiento y los stakeholders. Otros departamentos involucrados son: Producción, Administración y Contabilidad, Aseguramiento de Calidad y Seguridad, y por supuesto la Gerencia General. Es necesario conocer como los objetivos estratégicos de la organización generan acciones que se deberán tomar en cuenta en la planta de mantenimiento de cilindros y como esto impacta en el establecimiento de los objetivos de mantenimiento.

4.2.6. Planteamiento de los objetivos operacionales del mantenimiento.

Los siguientes objetivos operacionales son un planteamiento para el mantenimiento de los equipos de la planta de mantenimiento de cilindros:

- Disminución del tiempo perdido en reparaciones y equipo fuera de línea.
- Optimizar la disponibilidad de los equipos.
- Manejo adecuado del presupuesto de mantenimiento.
- Garantizar la eficiencia en los procesos, manteniendo o aumentando el ciclo de vida de los equipos.
- Establecer la mejora continua, incluyendo capacitación de personal.
- Establecer estrategias y métodos en busca de la eficiencia energética.
- Monitorear con indicadores que muestren más información del estado de los equipos.

Tabla 7. BSC aplicada a la empresa.

MISIÓN Y ESTRATEGIA				
Objetivos estratégicos	Medidas (KPI's)	Metas	Planes de acción	Perspectiva
Manejo adecuado del presupuesto de mantenimiento.	Cumplir con presupuesto de mantenimiento (%). Reducir inventario de partes (%) (Proveedores con inventario en stock).	Generar un ahorro del 2% del presupuesto. Reducir un 3% el inventario actual.	Establecer reuniones para dar seguimiento al presupuesto. Convenio con proveedores. Rotación de inventario.	Financiera
Disminución del tiempo perdido en reparaciones y equipo fuera de línea. Garantizar la eficiencia en los procesos, manteniendo o aumentando el ciclo de vida de los equipos.	MTTF, MTTR. Disponibilidad.	Aumentar el MTTF en 5%. Reducir el MTTR en 5%. Aumentar la disponibilidad de los equipos.	Análisis de Criticidad de Equipos. Establecer metodologías de Análisis de Causa raíz. Elaborar planes de mantenimiento de equipos.	Clientes
Establecer estrategias y métodos en busca de la eficiencia energética. Monitorear con indicadores que muestren más información del estado de los equipos.	Cumplimiento de normativa.	Reducir el número de fallas repetitivas. Mejorar la efectividad del mantenimiento preventivo. Reducir las operaciones de mantenimiento preventivo.	Generar base de datos de equipos. Establecer procesos de registro de la información.	Procesos internos
Establecer la mejora continua, incluyendo capacitación de personal. Crear una cultura de alto desempeño.	Cumplimiento de perfil para cada nivel. Evaluaciones continuas del desempeño.	Definición de cada nivel por formación de mantenimiento.	Revisar y actualizar los programas de capacitación.	Aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

La información colocada en el cuadro de mando integral no son valores reales debido a la política de confidencialidad de la información que tiene la empresa, pero puede servir de base para su implementación.

4.3. Cálculo de KPIs.

A continuación, y a manera de ejemplo se muestra cómo utilizar los indicadores mostrados en las ecuaciones del capítulo 2, los datos utilizados no son reales solo son tomados para realizar el ejemplo, ya que no se cuenta con una base de datos confiables y bien documentado que pueda tomarse de referencia.

A nivel de sistema: Bomba PH.

Datos.

TTF (meses): 5(sellos), 4(rodamientos), 6(acoples).

DT (horas): 3(sellos), 8(rodamientos), 5(acoples).

CD = \$1000/hora (costos directos por hora (materiales y mano de obra)).

CP = \$500/hora (costos de penalización por hora).

Resultados del proceso de cálculo de los indicadores.

Calculado el tiempo promedio operativo hasta el fallo:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTF_i}{n} \quad \text{Aplicando Ec(2.1)}$$

$$MTTF = \frac{5 + 4 + 6}{3} = 5 \text{ meses}$$

Calculando la frecuencia de fallos:

$$FF = \frac{1}{MTTF} \quad \text{Aplicando Ec(2.2)}$$

$$FF = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ fallas/mes}$$

Calculando el tiempo promedio fuera de servicio:

$$MDT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DT_i}{n} \quad \text{Aplicando Ec(2.3)}$$

$$MDT = \frac{3 + 8 + 5}{3} = 5.33 \text{ horas } \text{ ó } 0.007402 \text{ meses}$$

Calculando el CIF:

$$CIF = FF \times MDT \times (CD + CP) \quad \text{Aplicando Ec(2.4)}$$

$$CIF = 0.2 \frac{\text{fallas}}{\text{mes}} \times 5.33 \text{ horas} \times (\$1000/\text{hora} + \$500/\text{hora}) = \$2,132$$

Calculando la Disponibilidad:

$$D = \frac{MTTF}{(MTTF + MDT)} \cdot 100\% \quad \text{Aplicando Ec(2.5)}$$

$$D = \frac{5}{(5 + 0.007402)} \cdot 100\% = 99.8\%$$

En el ejemplo realizado se puede ver que el Costo de Indisponibilidad por Fallos (CIF) es de **\$2,132** por mes en el cual si se aplica un buen plan de mantenimiento podría reducirse este costo.

4.4. Aplicación de Auditoria AMORMS a los procesos de la industria de gases.

Si bien es cierto que existen muchos modelos de auditorías, la aplicación de estas no debe ser una moda, sino que la empresa debe de convertir estas técnicas de control en prácticas normales de trabajo, en otras palabras, en estas deben de ser frecuentes y deben ser un proceso de mejora continua que ayuden a ser más rentable a la empresa y que ayuden a la toma de decisiones de los procesos de gestión de mantenimiento.

En tal motivo de las auditorias mostradas en el capítulo 2 se escogió a Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey (AMORMS), por ser una auditoria Integral que evalúa la Gestión de Mantenimiento y la Confiabilidad.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de la AMORMS, realizado a 3 personas directamente involucradas en los procesos de la Industria de Gases, la herramienta utilizada fue un archivo en Excel proporcionado por el Doctor Parra durante la Maestría [11].

En donde se la puntuación significa.

1. Proceso muy deficiente.
2. Proceso debajo del promedio.
3. Proceso estándar promedio.
4. Proceso con muy buenas prácticas.
5. Proceso a nivel de Clase Mundial.

Tabla 8. Resultados de la auditoria AMORMS.

1	Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	3.4
2	Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	3.1
3	Análisis de problemas (manejo de fallas)	2.6
4	Procesos de programación y planificación	3.6
5	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2.9
6	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	3.2
7	Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	3.1
8	Procesos de revisión y mejora continua	4.1

Fuente: elaboración propia.

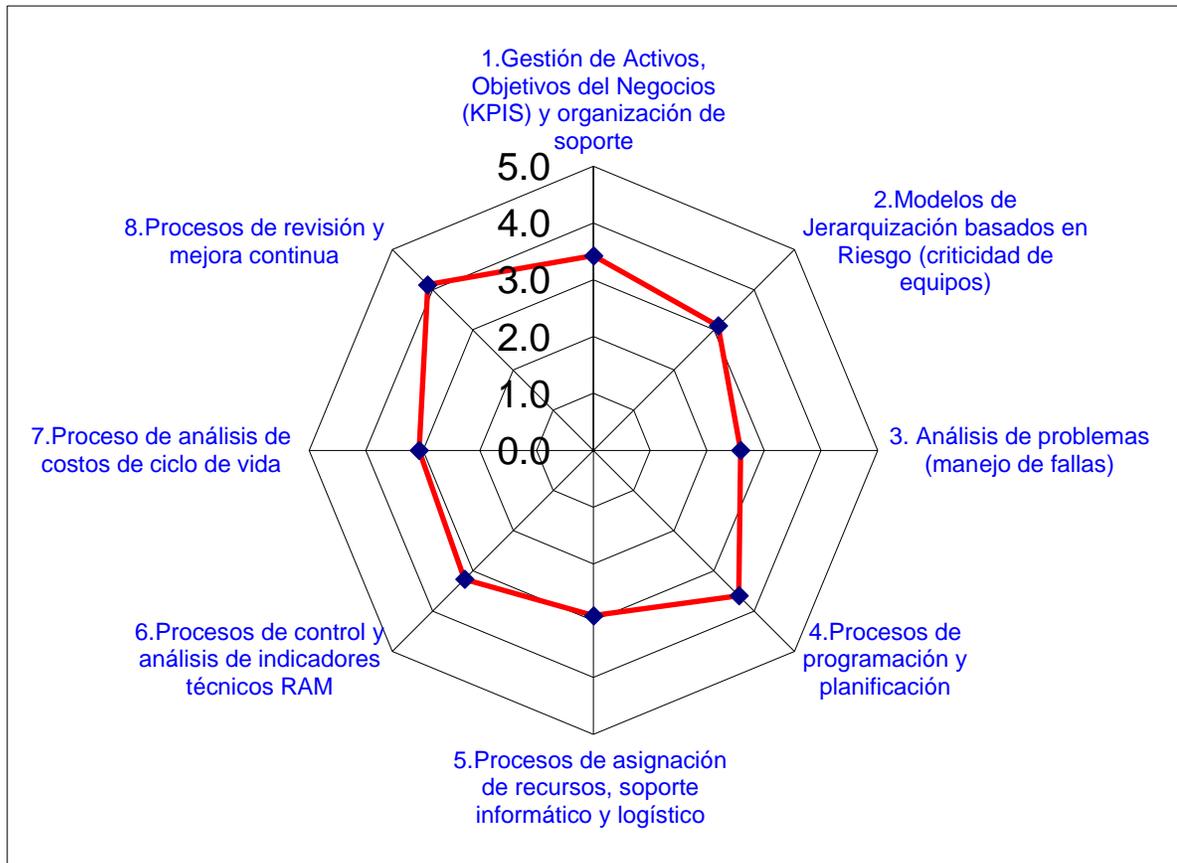


Figura 12. Diagrama radial que muestra el estado actual de la empresa.
Fuente: elaboración propia.

Según los resultados mostrados en la auditoria podemos determinar que la mayoría de los procesos están en estándar promedio, pero hay 2 procesos que están más bajos y son importantes para la gestión de mantenimiento y estos son: Análisis de problemas (manejo de fallas) y el de Procesos de asignación de Recursos, soporte informático y logístico. Estos son los que presentan mayor oportunidad de mejora con base al diseño de un buen plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que es el objeto de estudio de esta tesis.

4.5. Aplicación de Matriz de Criticidad a los sistemas de la planta.

A continuación, se crea la matriz de criticidad con todos los equipos. Los criterios que sigue la matriz de criticidad para decidir cuándo un equipo es de baja criticidad, media criticidad, alta criticidad o muy alta criticidad aún no están definidos por la empresa.

Para poder analizar la criticidad de cada componente se ha tenido en cuenta la experiencia de los técnicos y responsables de la planta (Coordinadores), resumen de los mantenimientos preventivos y correctivos que se encuentran en cada expediente del equipo realizados en el periodo 2012- 2020.

A continuación, se muestran los criterios tomados para realizar los cálculos, en el que se utilizó la herramienta de Excel proporcionada por el Doctor Parra [12], adecuando los criterios a la realidad de la empresa de gases en estudio.

Frecuencia de fallas

1. Excelente: 1 evento en 1 año.
2. Bueno: 2 eventos en 1 año.
3. Promedio: entre 3 y 4 eventos en 1 año.
4. Pobre: entre 5 y 7 eventos en 1 año.
5. Muy pobre: más de 8 eventos en 1 año.

Seguridad - Higiene -Ambiente (SHA) (15%)

1. No genera ningún impacto sobre la seguridad y el ambiente.
2. Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente.
3. Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable.
4. Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente.
5. Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental.

Calidad (CA) (15%)

1. No genera ningún impacto en calidad.
2. Afectación en calidad (Reclamos internos).
3. Afectación en calidad (Reclamos internos legales).
4. Afectación en calidad (Reclamos externos).
5. Afectación en calidad (Reclamos externos legales).

Impacto en producción y costos de mantenimiento (70%)

1. Costos inferiores a \$500 paro por 4 horas hábiles.
2. Costos entre \$500 y \$1,000 paro por 8 horas hábiles.
3. Costos entre \$1,000 y \$1,500 paro por 16 horas hábiles.
4. Costos entre \$1,500 y \$2,000 paro por 16 horas hábiles.
5. Costos entre \$2,000 y \$3,000 paro por 16 horas hábiles.

Los resultados del análisis de criticidad efectuado a los equipos de la planta de mantenimientos de cilindros se pueden apreciar en la tabla 9.

El diseño del plan de mantenimiento se hará con los equipos que presentan criticidad alta y muy alta, estos son los siguientes:

Equipos con criticidad muy alta.

- **Shotblasting externo**, su función es despintar completamente el exterior de los cilindros utilizando arenilla especial expulsada a alta velocidad.
- **Equipo de PH**, su función es realizar pruebas hidrostáticas a los cilindros.
- **Bomba de PH**, es un complemento del equipo de PH y su función es generar alta presión para poder realizar pruebas hidrostáticas a los cilindros.

Equipos con criticidad alta.

- **Compresor horizontal**, su función es suministran aire comprimido a todos los equipos de la planta que están conectados a la red neumática.
- **Compresor vertical**, al igual que el compresor horizontal, su función es suministran aire comprimido a todos los equipos de la planta que están conectados a la red neumática.
- **Desvalvuladora automática de cilindros 1**, su función es quitar y poner las válvulas reguladoras que están enroscadas en la parte superior de los cilindros.

Tabla 9. Análisis de criticidad aplicada a planta de mantenimiento de cilindros.

ANALISIS DE CRITICIDAD Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS			
PLANTA INDUSTRIAL DE GASES			
Sistemas	Código de equipos	Denominación	Jerarquización
Sistema 1	PSAMCE1	Compresor horizontal	Alta criticidad
	PSAMCE2	Compresor vertical	Alta criticidad
	PSAMCE3	Secador 1	Media criticidad
Sistema 2	PSAMCE4	Bomba de vacío	Baja criticidad
Sistema 3	PSAMCE5	Desválvuladora automática de cilindros 1	Alta criticidad
	PSAMCE6	Desválvuladora automática de cilindros 2	Baja criticidad
Sistema 4	PSAMCE7	Shotblasting interno	Baja criticidad
Sistema 5	PSAMCE8	Shotblasting externo	Muy alta criticidad
Sistema 6	PSAMCE9	Máquina de collarín 1	Baja criticidad
	PSAMCE10	Máquina de collarín 2	Baja criticidad
Sistema 7	PSAMCE11	Tanque elevado	Baja criticidad
	PSAMCE12	Bomba de agua	Baja criticidad
	PSAMCE13	Tecele	Baja criticidad
	PSAMCE14	Equipo de PH	Muy alta criticidad
	PSAMCE15	Jacket 1	Baja criticidad
	PSAMCE16	Jacket 2	Baja criticidad
	PSAMCE17	Bomba de PH	Muy alta criticidad
Sistema 8	PSAMCE18	Secador 2	Baja criticidad
	PSAMCE19	Volteador y secador	Media criticidad
	PSAMCE20	Calentador de agua	Media criticidad
Sistema 9	PSAMCE21	Eddy current	Media criticidad

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los datos de criticidad se utilizó la Ec. (2.12)

$$\text{Riesgo} = \text{FF} \times \text{C}$$

$$\text{Ec}(2.12)$$

Para el análisis se utilizó la herramienta en Excel "Criticidad" [12] proporcionada por el Dr.

Parra y se muestra los resultados completos en el anexo 2.

4.6. Desarrollo del AMEF de los equipos críticos.

Luego de identificar los sistemas con mayor criticidad se procede a desarrollar los posibles modos de falla y sus efectos al proceso productivo de la planta de mantenimiento de cilindros.

- Describir el propósito del sistema.
- Determinar los equipos principales del sistema.
- Identificación de la función del sistema.
- Identificación de la falla funcional del sistema.
- Para cada falla funcional se determinan los posibles modos de falla.
- Con base al histórico de eventos se establece la frecuencia de falla al año de cada modo de falla.
- Se realiza una identificación del efecto de la falla, así como también de determina si es evidente o no, para luego identificar cuáles son los síntomas y acciones correctivas para ejecutar el modo de falla.

Con base en la información del sistema de gestión del mantenimiento se determina cuanto es el tiempo promedio de reparación TPPR, impacto a la producción, costo directo por falla, impacto a la seguridad/medio ambiente y con una formula se calcula el riesgo en dólares al año por cada evento de falla.

El cálculo del riesgo se hace bajo la siguiente formula:

Riesgo \$/año = (Frecuencia de evento al año (TPPR x Impacto a producción \$/hora)) + costos directos por falla + impacto SHA, esta fórmula nos da como resultado el riesgo en dólares al año.

4.6.1. Aplicación del AMEF – Sistema 1 (Compresor Horizontal).

Análisis del contexto operacional del sistema 1 - Compresor horizontal.

Código: PSAMCE1 **Marca:** Champion **Ubicación:** MC **Modelo:** HRV10-8 RV-30A

1. Propósito.

El sistema tiene como principal objetivo generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta.

2. Descripción general del sistema.

El sistema se encarga de generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta, realiza su recorrido por medio de la tubería instalada hacia cada equipo de la planta de mantenimiento de cilindros a una presión de trabajo entre 100 a 120 psi.

3. Descripción específica del proceso.

Presión: 100 a 120psi. Potencia: 10 HP Voltaje: 230/460 VAC Corriente: 24/12A

4. Equipos principales.

Motor eléctrico, rodamientos, válvulas, ventilador, fajas y filtro de aire.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Aire y energía eléctrica.

Proceso: Comprimir el aire mediante un intercambio de energía entre la máquina y el aire.

Salidas: Aire a alta presión.

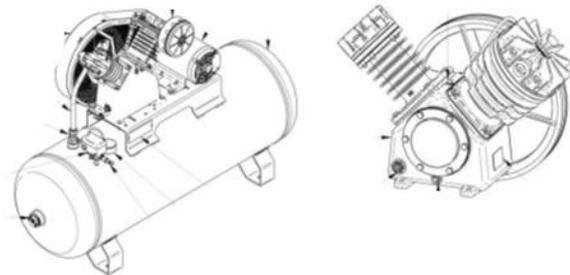
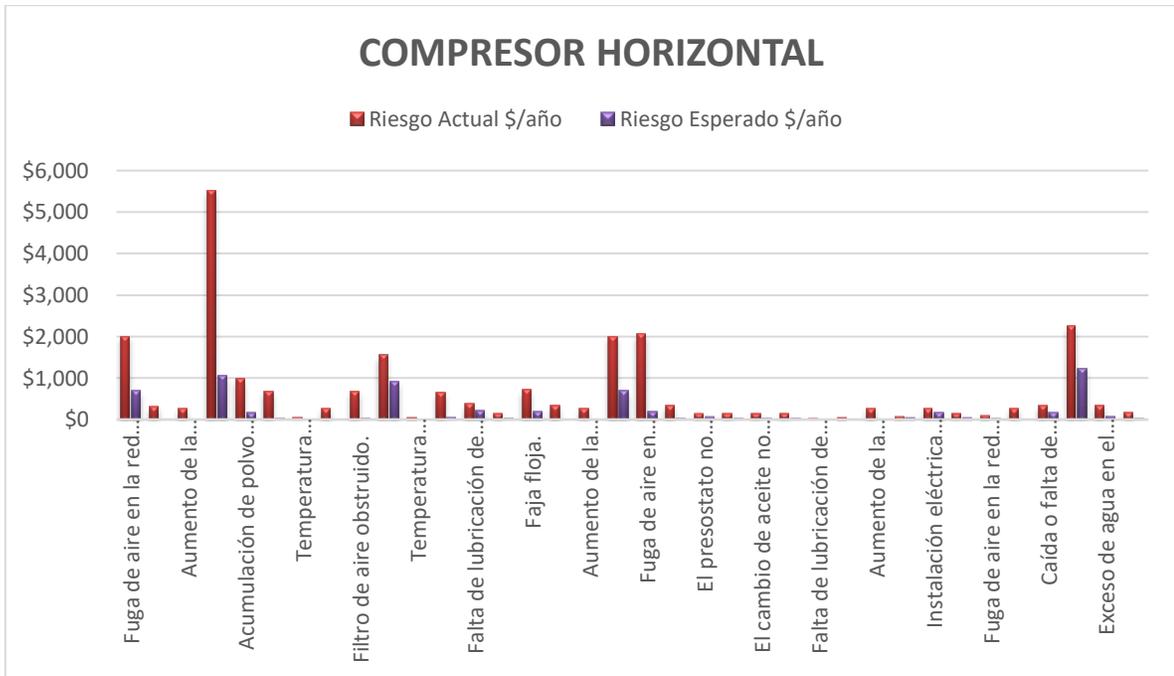
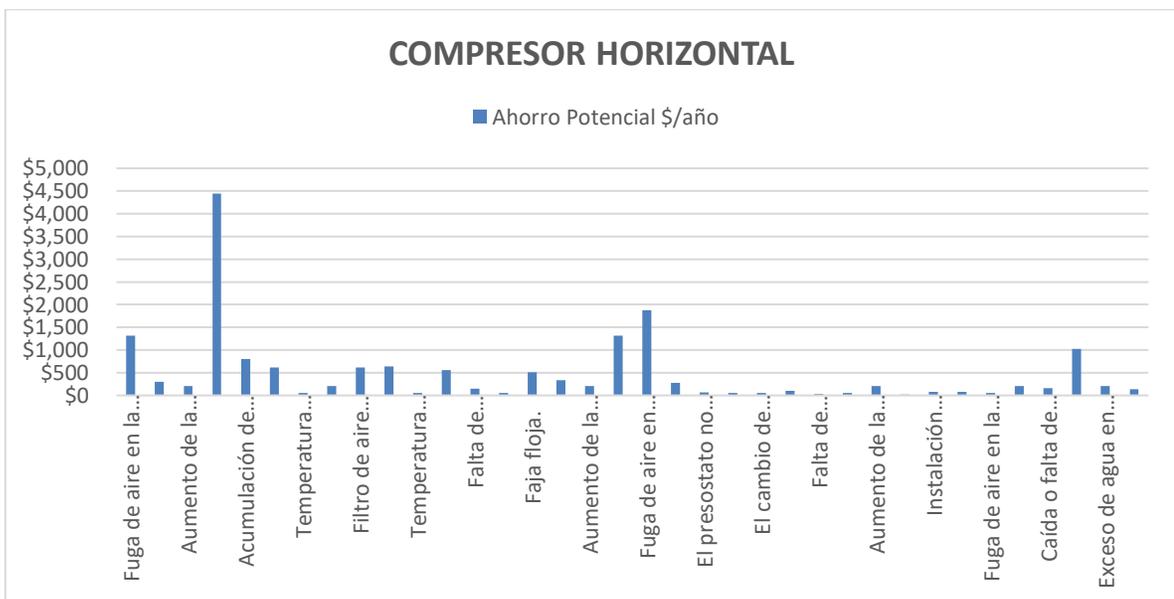


Figura 13. Compresor horizontal.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 1 y 2 presentan el resumen de la información plasmada en la tabla 13, tabla 14, tabla 15, tabla 16 y tabla 17 ubicadas en el anexo 3, donde se analizan los costos del riego actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla fuga de aire en accesorios neumáticos.



Gráfica 1. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado - Compresores Horizontales.



Gráfica 2. Ahorro Potencial – Compresor Horizontal.

4.6.2. Aplicación del AMEF – Sistema 1 (Compresor vertical)

Análisis del contexto operacional del sistema 1 - Compresor vertical.

Código: PSAMCE2 **Marca:** Champion **Ubicación:** MC **Modelo:** HRV10-8 RV-15A

1. Propósito.

El sistema tiene como principal objetivo generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta.

2. Descripción general del sistema.

El sistema se encarga de generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta, realiza su recorrido por medio de la tubería instalada hacia cada equipo de la planta de mantenimiento de cilindros a una presión de trabajo entre 100 a 120 psi.

3. Descripción específica del proceso.

Presión: 100 a 120psi. Potencia: 5 HP Voltaje: 230/460 VAC Corriente: 13.6/6.8A

4. Equipos principales.

Motor eléctrico, rodamientos, válvulas, ventilador, fajas y filtro de aire.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Aire y energía eléctrica.

Proceso: Comprimir el aire mediante un intercambio de energía entre la máquina y el aire.

Salidas: Aire a alta presión.

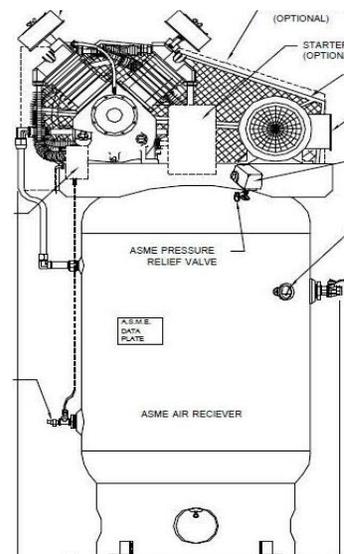
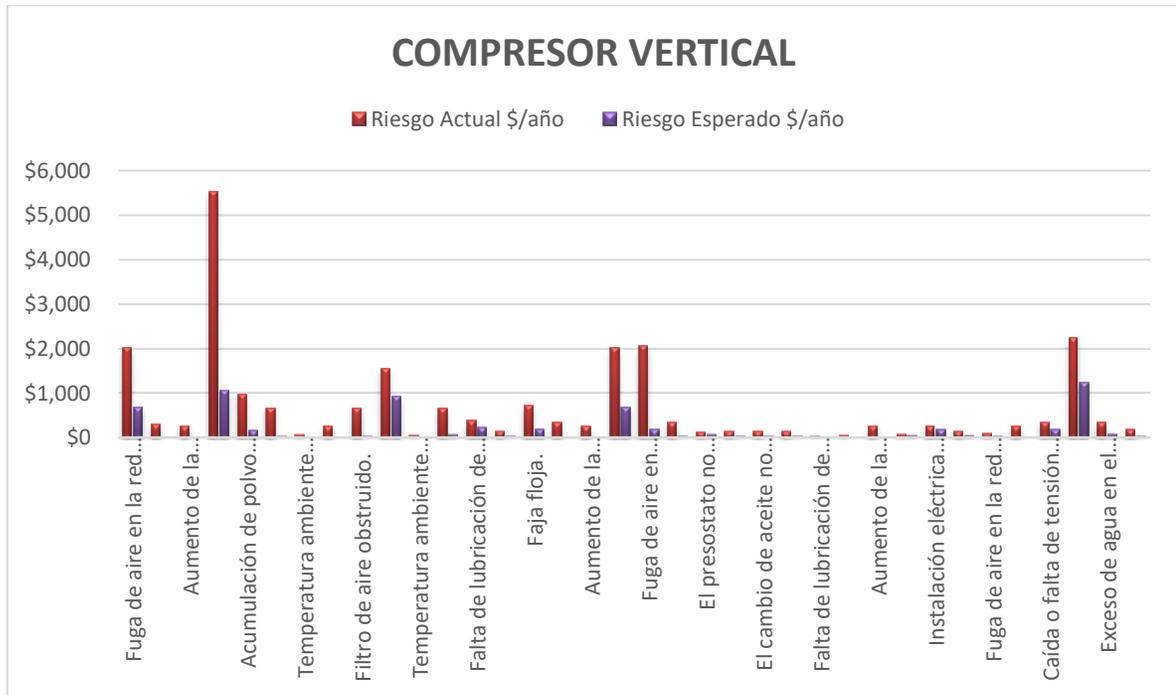
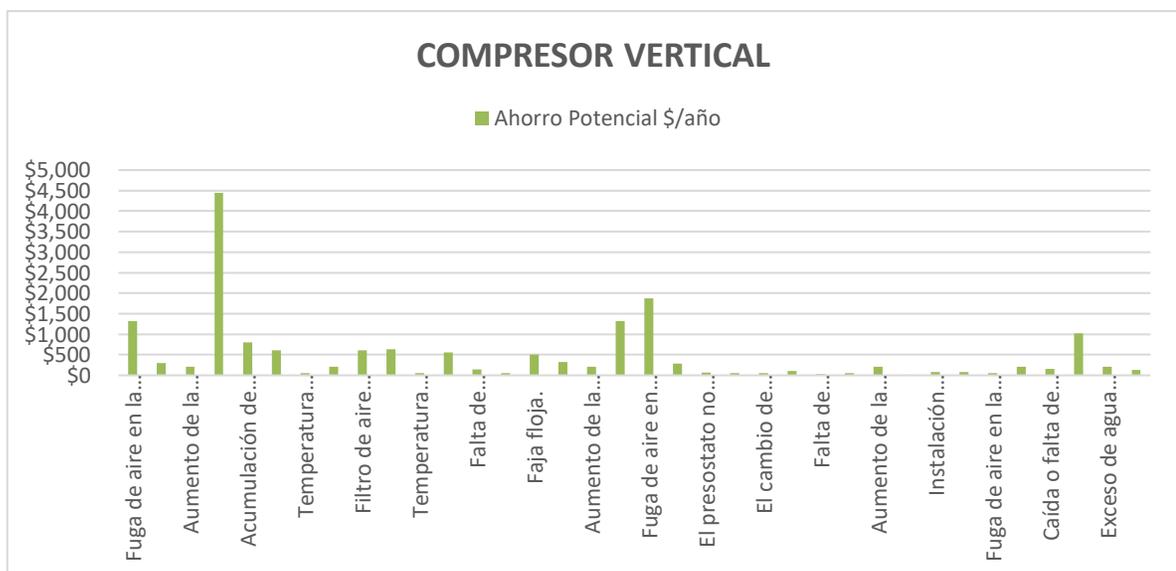


Figura 14. Compresor vertical.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 3 y 4 presentan el resumen de la información plasmada en la tabla 18, tabla 19, tabla 20, tabla 21 y tabla 22 ubicadas en el anexo 3, donde se analizan los costos del riego actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla fuga de aire en accesorios neumáticos.



Gráfica 3. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Compresor Vertical



Gráfica 4. Ahorro Potencial – Compresor Vertical.

4.6.3 Aplicación del AMEF – Sistema 3 (Desvalvuladora Automática de Cilindros 1)

Análisis del contexto operacional sistema 3 – Desvalvuladora Automática de Cilindros 1.

Código: PSAMCE5 **Marca:** GALISSO **Ubicación:** MC **Modelo:** GVM-16G TURNAIR

1. Propósito.

La máquina de alto giro está diseñada para proporcionar un medio rápido y eficiente para quitar e instalar válvulas para cilindros de gas comprimido.

2. Descripción general del sistema.

La máquina de alto giro está diseñada para proporcionar un medio rápido y eficiente para quitar e instalar válvulas para cilindros de gas comprimido, esta máquina es completamente neumática, cuenta con pinzas que permiten de forma segura quitar o instalar una válvula de un envase, con un suministro entre 100 a 120psi, desarrollando de 550 a 600 ft./lbs de torque, funciona por medio de un motor neumático que está conectado a un sistema de planetarios y unas mordazas que giran hacia la derecha o izquierda según se active por medio de una palanca. El cilindro es sujetado por medio de las mordazas la cual es operada por un pistón neumático y este puede ser regulado por medio de una manivela. La altura de las mordazas es controlada por un sistema de poleas el cual se conecta a la caja de control que permite que suba o baje de acuerdo con la altura del cilindro.

3. Descripción específica del proceso.

Presión:100 a 120psi. - Peso:1000 lb. - Par máximo:600 pies / libras (totalmente ajustable)
Fuerza máxima de sujeción: 3000 lbs. - Rango de pinzas de válvula: 7/8 pulg. a 1-7 / 8 pulg.

4. Equipos principales.

Caja de control, pinzas de mandíbulas, brazo de abrazadera del cilindro o mordazas y soporte de cilindro pequeño.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Aire comprimido.

Proceso: Convertir energía neumática en energía mecánica.

Salidas: Energía mecánica.

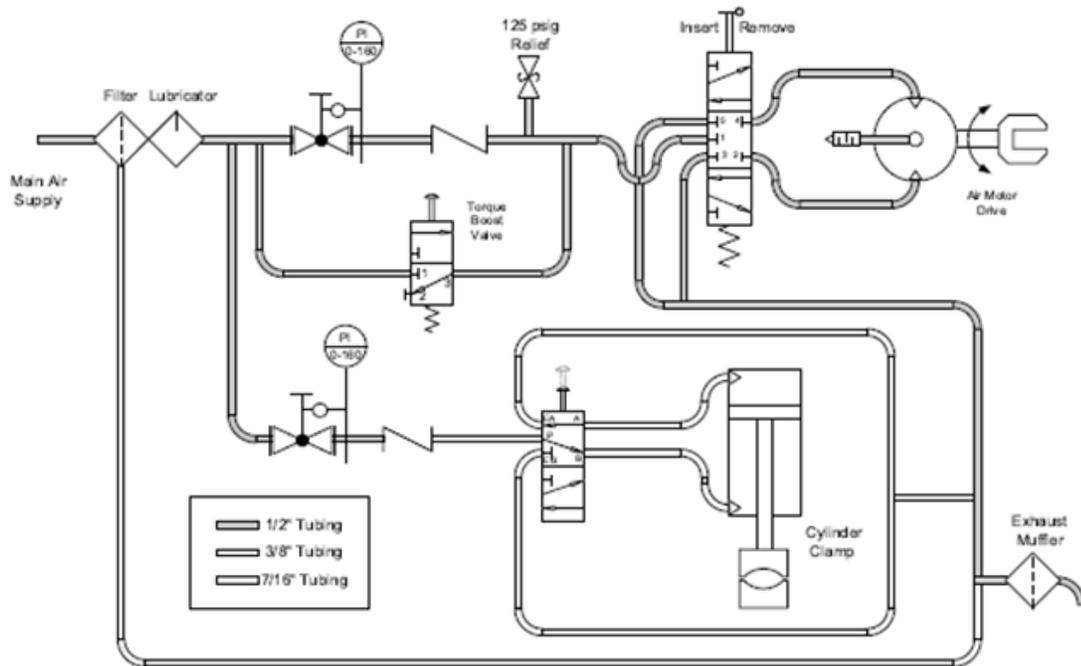
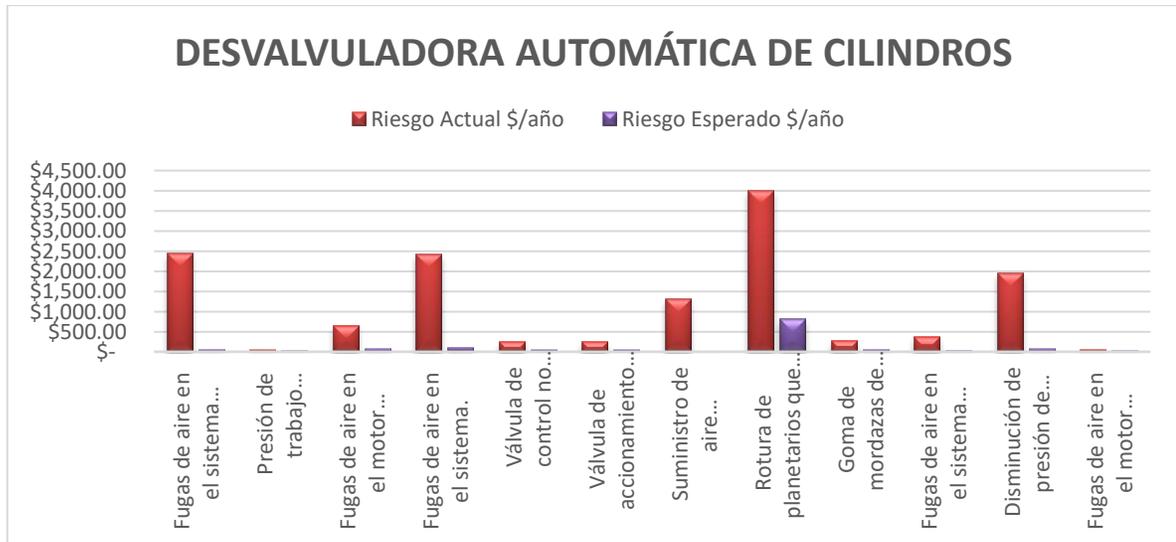
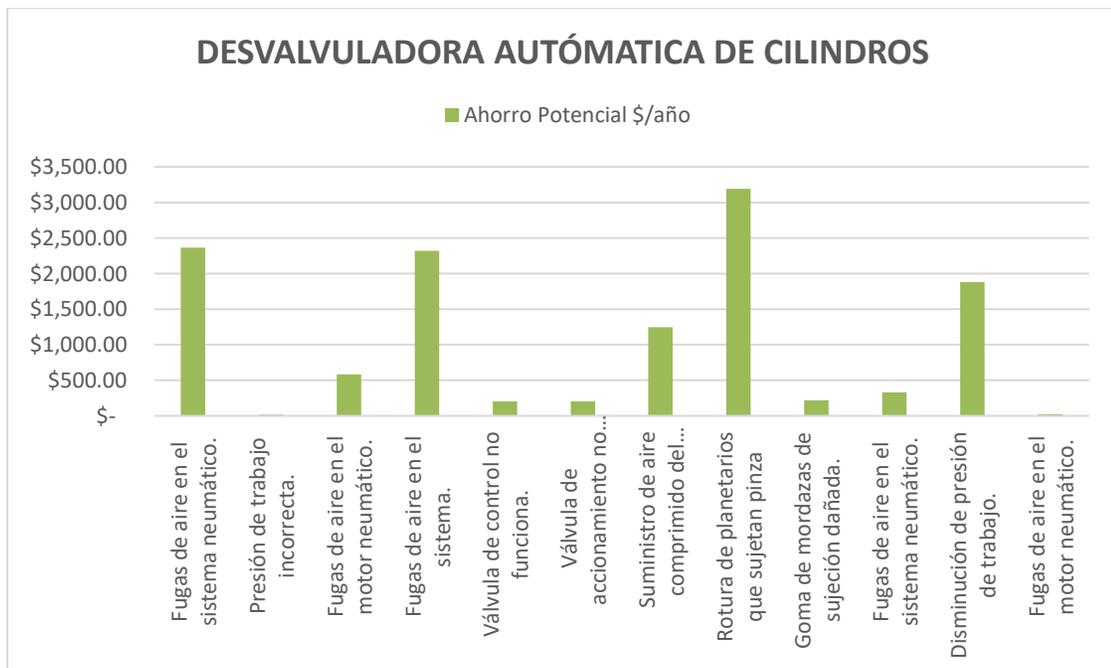


Figura 15. Diagrama de proceso desválvuladora automática de cilindros 1.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 5 y 6 presentan el resumen de la información plasmada en la tabla 23 y tabla 24 ubicadas en el anexo 3, donde se analizan los costos del riesgo actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla rotura de planetarios que sujetan la pinza y fugas de aire en sistema neumático.



Gráfica 5. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado–Desválvuladora Automática de Cilindros.



Gráfica 6. Ahorro Potencial – Desválvuladora Automática de Cilindros.

4.6.4. Aplicación del AMEF – Sistema 5 (Shotblasting Externo).

Análisis del contexto operacional del sistema 5 – Shotblasting Externo.

Código: PSAMCE8 **Marca:** LS **Ubicación:** MC **Modelo:** LS

1. Propósito.

El sistema tiene como principal objetivo retirar pintura de envases metálicos.

2. Descripción general del sistema.

La máquina de shotblasting externo cuenta con 3 motores y 4 ejes, dos ejes que cuentan con un reductor para realizar el proceso de rotación del cilindro, 2 ejes cortos independientes que sostienen 4 paletas, 2 por cada eje que se encargan de propulsar la arenilla para realizar el proceso de despintado y la eliminación del óxido del cilindro. Los motores son de 11.5A y 5HP a 3750rpm. Para ingresar o retirar los cilindros en la máquina se utiliza un pistón neumático que está unido a una estructura la cual se encarga de colocar los cilindros en posición horizontal al nivel de entrada de la máquina. Los desechos del polvo pintura se eliminan por medio de un extractor de polvo con una bomba de vacío, donde los desechos pasan por unas bolsas de tela y luego se retiran.

3. Descripción específica del proceso.

Potencia: 5HP. Voltaje: 440V trifásico. Corriente: 11.5A

4. Equipos principales.

Motores eléctricos, ejes, cumaceras, estructura de la maquinaria completamente sellada y panel de control eléctrico.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Energía eléctrica.

Proceso: Convertir energía eléctrica en energía mecánica.

Salidas: Energía mecánica.

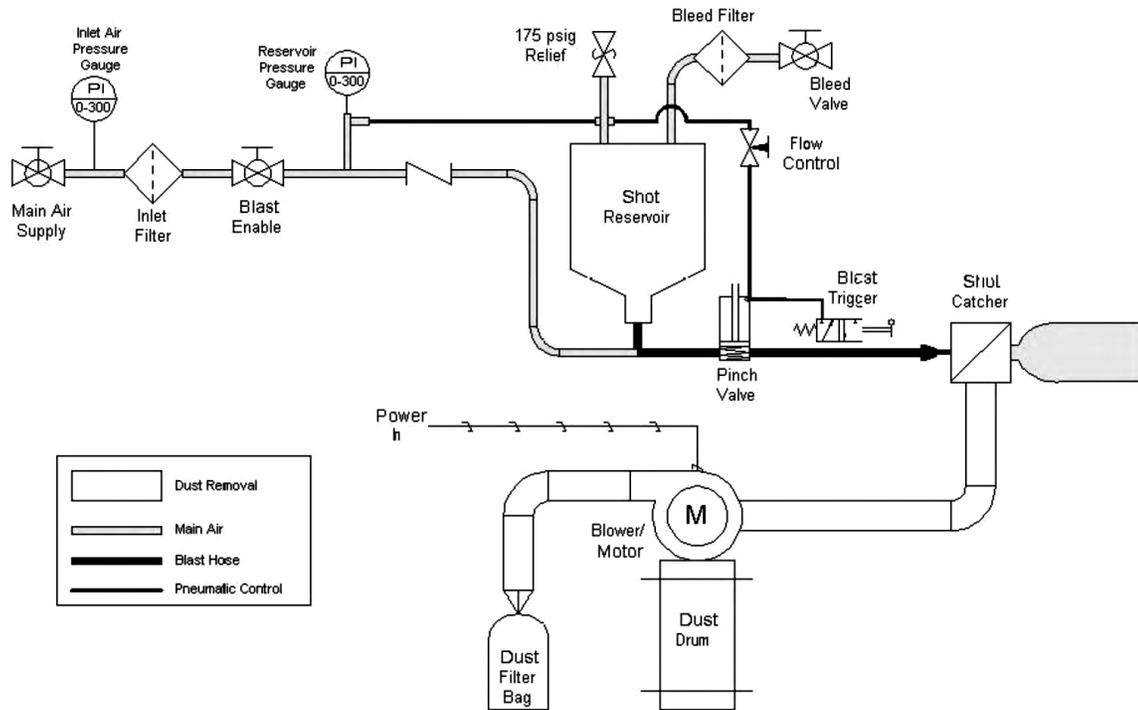
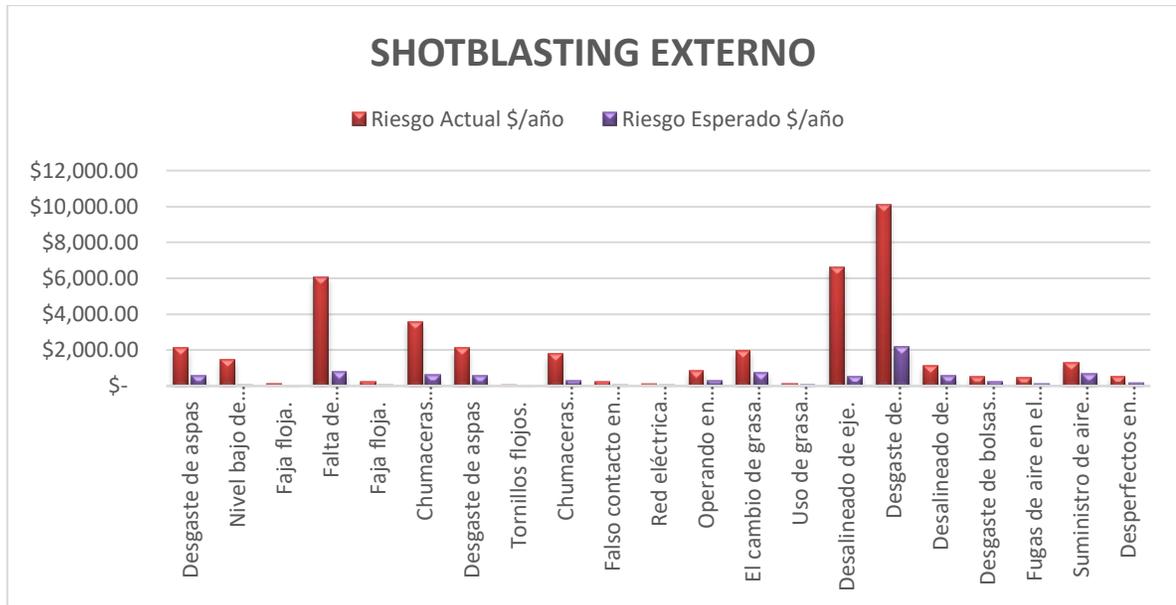


Figura 16. Diagrama de proceso shotblasting externo.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 7 y 8 presentan el resumen de la información plasmada en las tablas 25, 26 y 27 ubicadas en el anexo 3, donde se analizan los costos del riesgo actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla desalineado de eje, desgaste de paredes y agujeros en el cajón metálico.



Gráfica 7. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Shotblasting Externo.



Gráfica 8. Ahorro Potencial – Shotblasting Externo.

4.6.5. Aplicación del AMEF – Sistema 7 (Equipo de PH).

Análisis del contexto operacional del sistema 7 – Equipo de HP.

Código: PSAMCE14 **Marca:** GALISSO **Ubicación:** MC **Modelo:**

1. Propósito.

Generar presión al interior de los cilindros metálicos para determinar el estado físico de estos, a través de la comparación de los valores iniciales y finales del proceso, con apoyo de un software instalado en el equipo que compara parámetros establecidos por estándares mundiales.

2. Descripción general del sistema.

Este sistema se encarga de brindar comunicación entre PLC, computadora, bomba de alta presión y electroválvulas, se presurizan los envases hasta el punto de seteo establecido en el software de la pc, se cuantifica la expansión total del envase en el punto de seteo de presión y la cuantificación de la expansión permanente al finalizar el proceso, la expansión es medida por una báscula, los datos son enviados por medio de una comunicación hacia al PLC y este controla un bloque de electroválvulas que permiten la apertura y cierre de acuerdo a la lógica programada e instalada en el PLC.

3. Descripción específica del proceso.

Presión: de 0 a 10,000 psi. Flujo: Agua. Voltaje: 24V / 110V / 220V.

4. Equipos principales.

Motores eléctricos de alta presión, PLC, computadora de escritorio, válvulas, electroválvulas y jacket.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Energía eléctrica, aire comprimido y agua.

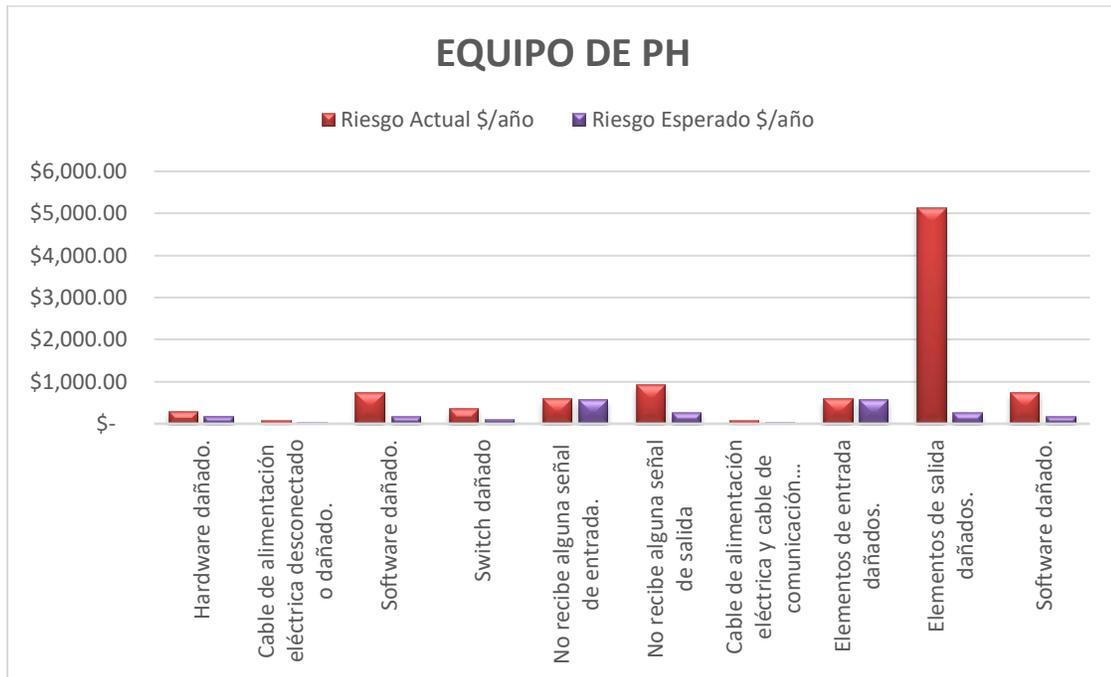
Proceso: Aplicar presión a envases metálicos y determinar resultados de acuerdo con parámetros de software.

Salidas: Resultados del análisis de variables.

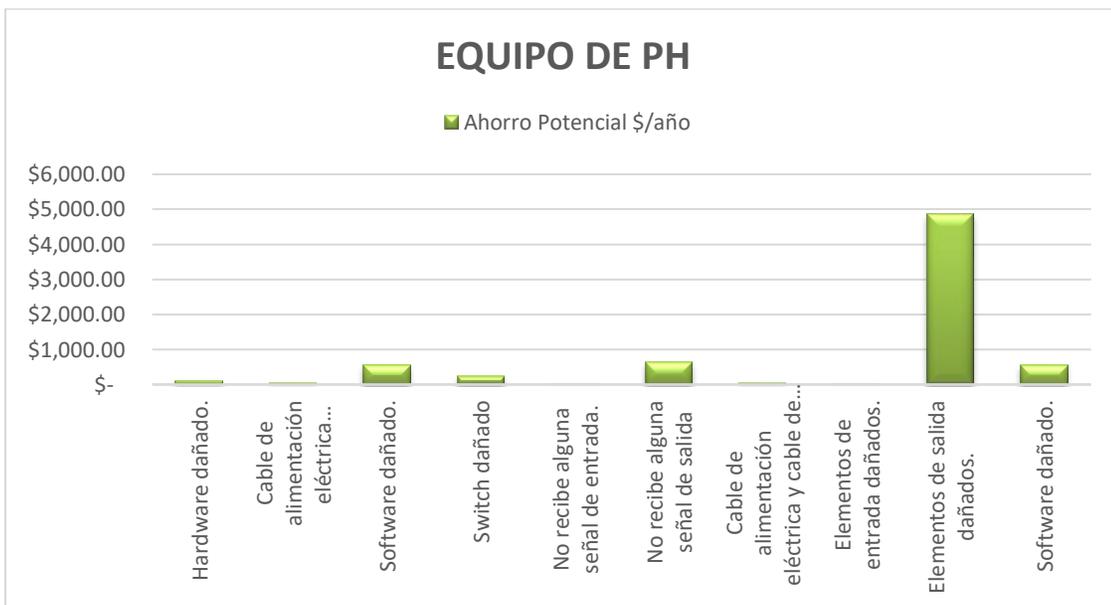


Figura 17. Equipo de PH.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 9 y 10 presentan el resumen de la información plasmada en la tabla 28 ubicada en el anexo 3, donde se analizan los costos del riesgo actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla elementos de salida dañados.



Gráfica 9. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Equipo de PH.



Gráfica 10. Ahorro Potencial – Equipo de PH.

4.6.6. Aplicación del AMEF – Sistema 7 (Bomba de PH).

Análisis del contexto operacional del sistema 7 – Bomba de PH.

Código: PSAMCE **Marca:** GALISSO **Ubicación:** MC **Modelo:** AZ PUMP

1. Propósito.

Generar presión al interior de los cilindros metálicos para determinar el estado físico de estos, a través de la comparación de los valores iniciales y finales del proceso, con apoyo de un software instalado en el equipo que compara parámetros establecidos por estándares mundiales.

2. Descripción general del sistema.

Bomba de alta presión neumática con un embolo de diámetro mayor en la entrada y luego se reduce con un embolo de diámetro menor, con una relación de presión de entrada con respecto a la salida de 10psi a 1,000psi, las áreas son proporcionales a la presión de entrada, la presión máxima de alcance es de 11,000psi. La presión es controlada por medio una válvula de alta presión la cual realiza la apertura o corte de la presión que se está suministrando al envase en prueba, la bomba se lubrica por medio de un lubricador a la entrada.

3. Descripción específica del proceso.

Presión: desde 0 a 10,000psi. Flujo: aire y agua.

4. Equipos principales.

Bomba de PH, válvulas y electroválvulas.

5. Diagrama Entrada – Proceso – Salida.

Entradas: Aire comprimido y agua.

Proceso: Aplicar presión a envases metálicos dentro de una camisa de agua y determinar resultados de acuerdo con parámetros de software.

Salidas: Agua a alta presión.

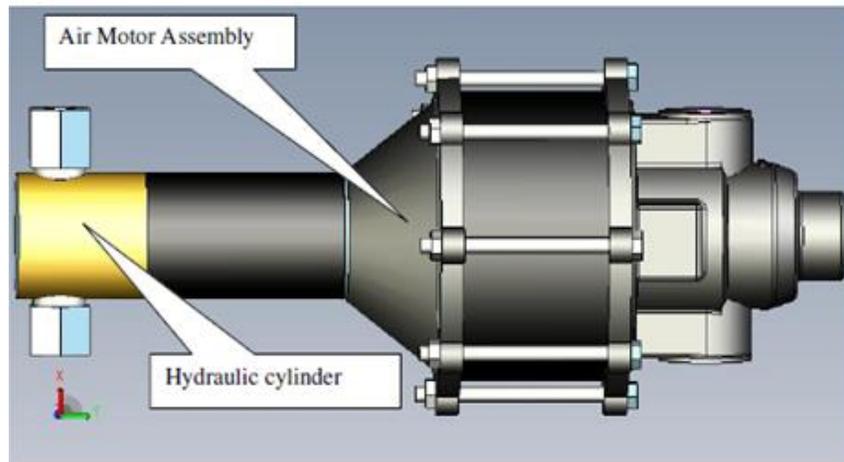
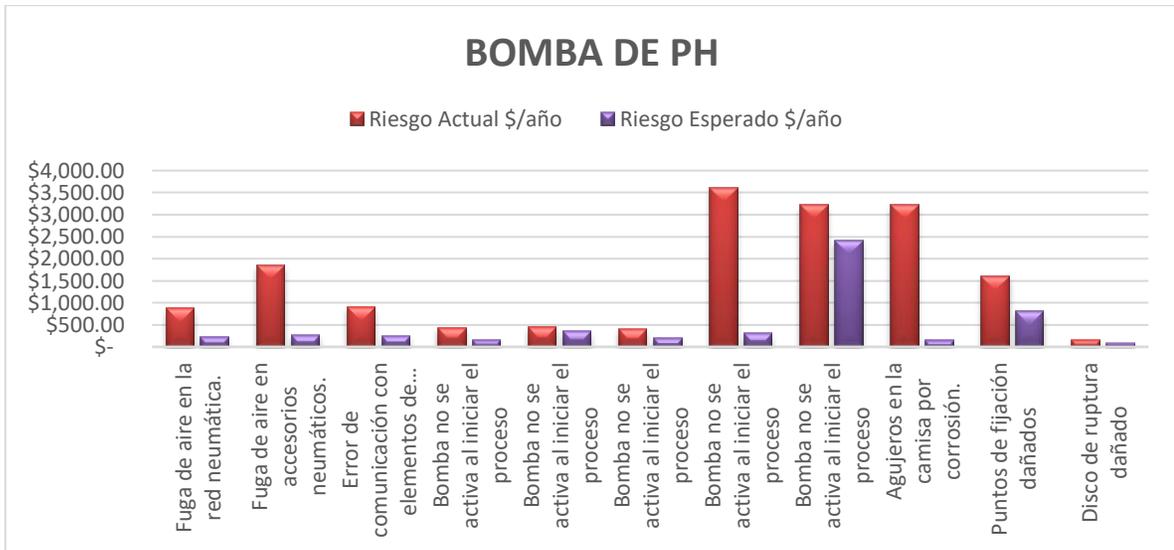
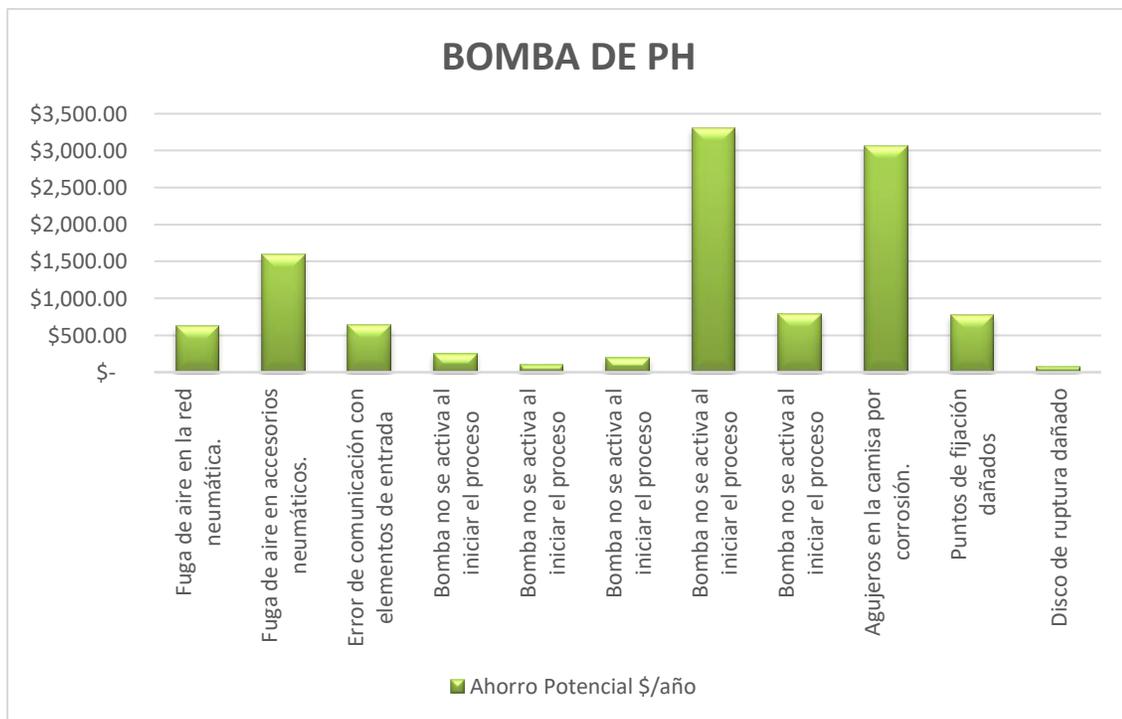


Figura 18. Bomba de PH.
Fuente: Manual del fabricante.

Las gráficas 11 y 12 presentan el resumen de la información plasmada en las tablas 29 y 30 ubicadas en el anexo 3, donde se analizan los costos del riesgo actual vs los costos del riesgo esperado y su respectivo ahorro potencial, resaltando que la mayor oportunidad de ahorro está en el modo de falla Bomba no se activa al iniciar el proceso y agujeros en la camisa por corrosión.



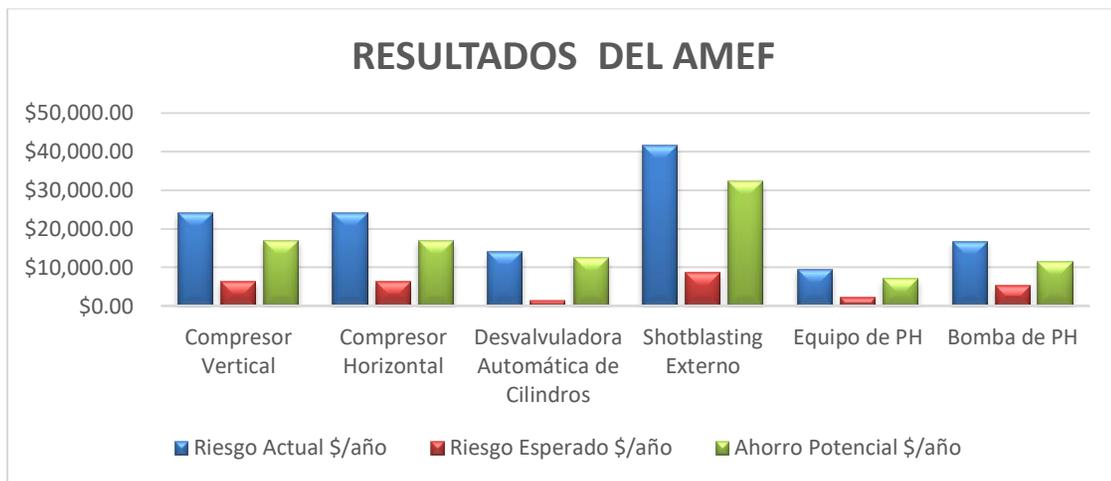
Gráfica 11. Costo Riesgo Actual vs Riesgo Esperado – Bomba de PH.



Gráfica 12. Ahorro Potencial – Bomba de PH.

4.6.7. Resultados generales de aplicación del AMEF.

Después de aplicar el AMEF a los equipos con mayor criticidad, se muestran en la gráfica 13 y en la tabla 10 los resultados obtenidos, donde se observa una proyección de ahorro potencia al año de \$ 97,413.86, resaltando que el equipo que presenta mayor oportunidad de ahorro es shotblasting externo con un 33% del ahorro total.



Gráfica 13. Resultados económicos de la aplicación del AMEF.

Tabla 10. Resultados económicos de la aplicación del AMEF.

Equipo	Riesgo actual \$/Año	Costo del plan \$/Año	Riesgo esperado \$/Año	Ahorro potencial \$/Año
Compresor Vertical	\$24,136.20	\$766.19	\$6,349.60	\$17,020.41
Compresor Horizontal	\$24,136.20	\$766.19	\$6,349.60	\$17,020.41
Desválvuladora Automática de Cilindros 1	\$14,014.40	\$165.16	\$1,272.90	\$12,576.34
Shotblasting Externo	\$41,589.40	\$529.40	\$8,799.90	\$32,260.10
Equipo de PH	\$9,481.20	\$71.34	\$2,302.80	\$7,107.06
Bomba de PH	\$16,756.20	\$82.96	\$5,243.70	\$11,429.54
TOTAL	\$130,113.60	\$2,381.24	\$30,318.50	\$97,413.86

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Plan de Mantenimiento.

Después de realizar el análisis de modos de efectos y fallas se presentan los planes de mantenimientos preventivos para cada equipo con sus respectivos ejecutores y acciones de mantenimiento a ejecutar. (Ver anexo 4 para detalles del procedimiento interno de mantenimiento)

Tabla 11. Plan de mantenimiento diario.

Plan de mantenimiento - Diario					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	1	PSAMCE1	Drenar el depósito del acumulador.	Preventivo programado	Operario del equipo
2	1	PSAMCE1	Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.	Preventivo programado	Operario del equipo
3	1	PSAMCE2	Drenar el depósito del acumulador.	Preventivo programado	Operario del equipo
4	1	PSAMCE2	Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.	Preventivo programado	Operario del equipo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Plan de mantenimiento semanal.

Plan de mantenimiento - Semanal					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	5	PSAMCE8	Revisar nivel de arenilla de acero del depósito y de ser necesario complementar hasta llegar a su nivel correcto.	Preventivo programado	Operario del equipo
2	5	PSAMCE8	Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Plan de mantenimiento mensual.

Plan de mantenimiento - Mensual					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	1	PSAMCE1	Revisar y limpiar filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
2	1	PSAMCE1	Revisar y drenar trampas de agua.	Preventivo programado	Técnico de turno
3	1	PSAMCE1	Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llene el depósito.	Preventivo programado	Técnico de turno
4	1	PSAMCE2	Revisar y limpiar filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
5	1	PSAMCE2	Revisar y drenar trampas de agua.	Preventivo programado	Técnico de turno
6	1	PSAMCE2	Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llene el depósito.	Preventivo programado	Técnico de turno

7	3	PSAMCE5	Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
8	3	PSAMCE5	Revisar y drenar trampas de agua.	Preventivo programado	Técnico de turno
9	5	PSAMCE8	Revisar lubricación de las partes mecánicas móviles y de ser necesario lubricarlas.	Preventivo programado	Técnico de turno
10	5	PSAMCE8	Revisar alineación del eje. Reportar si no está alineado.	Preventivo programado	Técnico de turno
11	5	PSAMCE8	Revisar desgaste de chumaceras. Reportar si presenta desgaste.	Preventivo programado	Técnico de turno
12	5	PSAMCE8	Verificar estado de retenedores. Reportar si presenta desgaste.	Preventivo programado	Técnico de turno
13	5	PSAMCE8	Inspeccionar sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.	Preventivo programado	Técnico de turno
14	5	PSAMCE8	Revisar cajón metálico y sellar perforaciones si existieran.	Preventivo programado	Técnico de turno
15	5	PSAMCE8	Revisar soportes de puerta principal.	Preventivo programado	Técnico de turno
16	5	PSAMCE8	Realizar cambio de todas las bolsas de tela para su lavado. Reportar bolsas perforadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
17	7	PSAMCE14	Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
18	7	PSAMCE14	Revisar y drenar trampas de agua.	Preventivo programado	Técnico de turno
19	7	PSAMCE14	Lubricar bloque de electroválvulas.	Preventivo programado	Operario de equipo
20	7	PSAMCE14	Revisar y verificar estado físico y funcional de unidad mantenimiento.	Preventivo programado	Técnico de turno
21	7	PSAMCE14	Realizar inspección visual del nivel de aceite del lubricador y de ser necesario llene el depósito.	Preventivo programado	Técnico de turno
22	7	PSAMCE17	Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
23	7	PSAMCE17	Lubricar bomba de PH.	Preventivo programado	Operario de equipo
24	7	PSAMCE17	Verificar el estado de bombas de PH en stock y de ser necesario armar con nuevo kit de sellos y numerarla.	Preventivo programado	Operario de equipo Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Plan de mantenimiento trimestral

Plan de mantenimiento - Trimestral					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	1	PSAMCE1	Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
2	1	PSAMCE1	Revisar y limpiar filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
3	1	PSAMCE1	Inspeccionar sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.	Preventivo programado	Técnico de turno
4	1	PSAMCE1	Revisar fugas de aceite.	Preventivo programado	Técnico de turno
5	1	PSAMCE1	Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
6	1	PSAMCE1	Inspeccionar detalle el estado de desgaste de la faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
7	1	PSAMCE1	Realizar medición de la temperatura del motor y del área donde está ubicado, compare con valores establecidos por el fabricante.	Preventivo programado	Técnico de turno
8	1	PSAMCE1	Realizar inspección visual de todo el cabezal, revisando fugas.	Preventivo programado	Técnico de turno
9	1	PSAMCE1	Verificar control eléctrico e integridad de los cables de alimentación del motor.	Preventivo programado	Técnico de turno
10	1	PSAMCE1	Inspeccionar y apretar conexiones eléctricas.	Preventivo programado	Técnico de turno
11	1	PSAMCE1	Realizar medición de corriente.	Preventivo programado	Técnico de turno
12	1	PSAMCE1	Realizar medición de presión de carga.	Preventivo programado	Técnico de turno
13	1	PSAMCE2	Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
14	1	PSAMCE2	Revisar y limpiar filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
15	1	PSAMCE2	Inspeccionar sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.	Preventivo programado	Técnico de turno
16	1	PSAMCE2	Revisar fugas de aceite.	Preventivo programado	Técnico de turno
17	1	PSAMCE2	Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
18	1	PSAMCE2	Inspeccionar detalle el estado de desgaste de la faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
19	1	PSAMCE2	Realizar medición de la temperatura del motor y del área donde está ubicado, compare con valores establecidos por el fabricante.	Preventivo programado	Técnico de turno
20	1	PSAMCE2	Realizar inspección visual de todo el cabezal, revisando fugas.	Preventivo programado	Técnico de turno
21	1	PSAMCE2	Verificar control eléctrico e integridad de los cables de alimentación del motor.	Preventivo programado	Técnico de turno
22	1	PSAMCE2	Inspeccionar y apretar conexiones eléctricas.	Preventivo programado	Técnico de turno
23	1	PSAMCE2	Realizar medición de corriente.	Preventivo programado	Técnico de turno
24	1	PSAMCE2	Realizar medición de presión de carga.	Preventivo programado	Técnico de turno

25	3	PSAMCE5	Revisar accionamiento de válvula de control y válvula de accionamiento, para verificar el cambio de estado. Si las válvulas no cambian de estado, desarmar para despegar y lubricar elementos internos. Si después de esto no funciona, se deberá realizar el cambio de la válvula.	Preventivo programado	Técnico de turno
26	3	PSAMCE5	Realizar inspección visual de caja de control.	Preventivo programado	Técnico de turno
27	3	PSAMCE5	Realizar inspección visual del cabezal y verificar el giro libre de las partes mecánicas.	Preventivo programado	Técnico de turno
28	3	PSAMCE5	Revisar y limpiar filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
29	3	PSAMCE5	Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.	Preventivo programado	Técnico de turno
30	3	PSAMCE5	Revisar fugas de aceite.	Preventivo programado	Técnico de turno
31	3	PSAMCE5	Revisar estado de las gomas de las mordazas y si es necesario hacer el cambio.	Preventivo programado	Técnico de turno
32	3	PSAMCE5	Revisar estado del motor neumático y si existen fugas eliminar.	Preventivo programado	Técnico de turno
33	3	PSAMCE5	Retirar grasa de las partes mecánicas de movimiento y coloque grasa nueva.	Preventivo programado	Técnico de turno
34	3	PSAMCE5	Revisar presión de aire de trabajo, esta debe estar entre 100 a 120 psi.	Preventivo programado	Técnico de turno
35	5	PSAMCE8	Revisar estado de las aspas y de ser necesario hacer el reemplazo de las aspas dañadas.	Preventivo programado	Técnico de turno
36	5	PSAMCE8	Retirar grasa de las partes mecánicas de movimiento y coloque grasa nueva.	Preventivo programado	Técnico de turno
37	5	PSAMCE8	Verificar estado de desgaste de la faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
38	5	PSAMCE8	Realizar inspección del sistema eléctrico, verifique sujeción de los componentes y cables eléctricos, reapriete tornillería de ser necesario.	Preventivo programado	Técnico de turno
39	5	PSAMCE8	Realizar mediciones de corriente del motor y verifique que se encuentra en los rangos permitidos.	Preventivo programado	Técnico de turno
40	7	PSAMCE14	Inspeccionar estado de partes que conforman hardware, si de ser necesario realizar cambio.	Preventivo programado	Técnico de turno
41	7	PSAMCE14	Inspeccionar correcto funcionamiento de software, de ser necesario realizar actualización.	Preventivo programado	_Operario de equipo _Coordinador de mantenimiento
42	7	PSAMCE14	Inspeccionar estado físico de los cables de alimentación.	Preventivo programado	Técnico de turno
43	7	PSAMCE14	Verificar estado físico de mangueras hidráulicas.	Preventivo programado	Técnico de turno
44	7	PSAMCE14	Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada y de salida.	Preventivo programado	Técnico de turno
45	7	PSAMCE14	Revisar fugas de aceite.	Preventivo programado	Técnico de turno
46	7	PSAMCE14	Revisar fugas de agua en la tubería.	Preventivo programado	Técnico de turno
47	7	PSAMCE14	Revisar presión de aire de trabajo, esta debe estar entre 100 a 120 psi.	Preventivo programado	Técnico de turno
48	7	PSAMCE17	Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada y de salida.	Preventivo programado	Técnico de turno
49	7	PSAMCE17	Revisar fugas de agua en la tubería.	Preventivo programado	Técnico de turno
50	7	PSAMCE17	Revisar fugas de agua en la bomba.	Preventivo programado	Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Plan de mantenimiento cuatrimestral.

Plan de mantenimiento - Cuatrimestral					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	7	PSAMCE17	Realizar cambio de bomba de PH, previamente debe estar armada con nuevo kit de sellos.	Preventivo programado	Técnico de turno
2	7	PSAMCE17	Realice cambios de filtro de agua en la tubería de agua.	Preventivo programado	Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Plan de mantenimiento Semestral.

Plan de mantenimiento - Semestral					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	1	PSAMCE1	Realizar cambio de aceite SAE 40 ISO 150.	Preventivo programado	Técnico de turno
2	1	PSAMCE1	Inspeccionar estado de desgaste de la faja, cambiar si es necesario.	Preventivo programado	Técnico de turno
3	1	PSAMCE2	Realizar cambio de aceite SAE 40 ISO 150.	Preventivo programado	Técnico de turno
4	1	PSAMCE2	Inspeccionar estado de desgaste de la faja, cambiar si es necesario.	Preventivo programado	Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Plan de mantenimiento anual.

Plan de mantenimiento - Anual					
N°	Sistema	Código de equipo	Acción de mantenimiento a ejecutar	Tipo de mantenimiento	Ejecutor
1	1	PSAMCE1	Realizar cambio de filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
2	1	PSAMCE1	Realizar cambio de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
3	1	PSAMCE1	Realizar limpieza del ventilador.	Preventivo programado	Técnico de turno
4	1	PSAMCE1	Revisar instalación de red neumática del sistema.	Preventivo programado	Técnico de turno
6	1	PSAMCE2	Realizar cambio de filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
7	1	PSAMCE2	Realizar cambio de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
8	1	PSAMCE2	Realizar limpieza del ventilador.	Preventivo programado	Técnico de turno
9	1	PSAMCE2	Revisar instalación de red neumática del sistema.	Preventivo programado	Técnico de turno
10	3	PSAMCE5	Realizar cambio de filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno
11	5	PSAMCE8	Realizar cambio de aspas.	Preventivo programado	Técnico de turno
12	5	PSAMCE8	Realizar cambio de cojinete y sellos.	Preventivo programado	Técnico de turno
13	5	PSAMCE8	Realizar cambio de platinas de aluminio.	Preventivo programado	Técnico de turno
14	5	PSAMCE8	Revisar estado de todos los ejes.	Preventivo programado	Técnico de turno
15	5	PSAMCE8	Realizar cambio de faja.	Preventivo programado	Técnico de turno
16	7	PSAMCE14	Realizar cambio de filtro de aire.	Preventivo programado	Técnico de turno

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con la presente investigación se desarrolló una propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para ser implementado en la planta de mantenimiento de cilindros el cual representa una oportunidad de ahorro para la empresa.

Las principales conclusiones de aplicar la metodología del MCC son las siguientes:

- La aplicación de la metodología de análisis de criticidad permite conocer cuales equipos de la planta de mantenimiento de cilindros, tienen mayor impacto en el proceso productivo debido a su criticidad, esto permite priorizar los esfuerzos en estrategias para cada modo de falla.
- Los análisis de modos de fallas y efectos permiten identificar los modos de fallas de cada equipo y las consecuencias que hacen que un equipo no funcione en óptimas condiciones, para definir estrategias de mantenimiento con acciones que las eviten o disminuyan, reduciendo significativamente los costos actuales de mantenimiento.
- El resultado de la aplicación del AMEF sirve para elaborar los planes de mantenimientos acordes a los fallos que se presentan, definiendo las actividades a realizar y sus frecuencias con el objetivo de reducir los costos de riesgos por año, aumentando la disponibilidad de los equipos evitando paradas prolongadas y programación de los mantenimientos preventivos en horas fuera de la producción diaria.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un control minucioso de los mantenimientos aplicados a los equipos, registrando los tiempos de paro y tiempos de reparación que actualmente no se llevan.
- Se recomienda llevar un control de indicadores que ayuden a medir tiempos de paros entre reparaciones, tiempos entre fallas, etc., para así poder medir la disponibilidad de los equipos.
- Se recomienda formar grupos multidisciplinarios para el desarrollo de la metodología que ayude a mejorar la eficiencia y eficacia de los mantenimientos, mejorando la vida útil de los equipos y así aumentar la rentabilidad del modelo de negocio.
- Se recomienda brindar seguimiento de las acciones implementadas en el desarrollo de la metodología para verificar que los resultados sean los esperados, realizar ajustes si fueran necesarios.
- Enfocar esfuerzos para desarrollar la misma metodología en otras plantas de la empresa.

CITAS Y REFERENCIAS

- [1] Parra, C. A.; Crespo, A. (2012) *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Ed. INGEMAN: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería en Mantenimiento. Sevilla: España
- [2] EN 13306, (2002) *Terminología del Mantenimiento, Estándar Europeo*, AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid: España
- [3] Crespo, A. (2007) *El marco de gestión del mantenimiento. Modelos y métodos para el mantenimiento de sistemas complejos*. Ed. Springer. Londres: Inglaterra.
- [4] Pintelon, L, Gelders L (1992). *Toma de decisiones en la gestión del mantenimiento*. Artículo: European Journal of Operational Research, 301-317
- [5] Kaplan, R. Norton, D; (1992). The Balanced Scorecard – Measures that drive performance. Ed. Harvard Business Review V2.0
- [6] González, M. (2021). Auditoria AMORMS – Aplicada al área de servicios industriales de una mina. Trabajo práctico desarrollado en el programa de certificación ICOGAN. España. <https://www.researchgate.net/publication/351528480>
- [7] MES (Maintenance Effectiveness Survey), Referencia: Marshall Institute.
<http://www.marshallinstitute.com>
- [8] ENAP SIPETROL, (2008) *Matriz de Evaluación y Gestión de Riesgos para la Confiabilidad Operacional*. ENAP INF-10-2008-CONF1, Santiago de Chile, Chile.
- [9] Miranda, C. Valdez, V (2021) *Proyecto de Investigación para la gestión del mantenimiento de una estación de bombeo de agua potable. Aplicación de la metodología RCM: Reliability Centered Maintenance*. [Tesis, UCA – UDB].
<https://www.researchgate.net/publication/353192750>
- [10] Molina, G. Sandoval, E. Tenorio, V. (2019). *Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión del Mantenimiento en Planta Industrial de Ingenio en Angel*. [Tesis, UCA – UDB].
<http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/1721/1/65969.pdf>

- [11] Parra, C. Archivo Excel – AMORMS-original-v1-2016 / Sevilla, España
- [12] Parra, C. Archivo Excel – Criticidad-modificado-original-auto-09-v2 / Sevilla, España
- [13] Parra, C. Archivo Excel – Formato RCM-AMEF-original / Sevilla, España

ANEXOS

Anexo 1. Auditoria AMORMS.

A continuación, se muestran las preguntas de la auditoria que se aplicó a la Empresa.

Tabla 18. Formato de auditoria AMORMS.

Categories	Sub-Categories	FAQ
Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS) y Organización de Soporte	1.1 Visión Gerencial & Liderazgo	1.1.1 Existen Directrices Corporativas sobre el proceso de Gestión de Activos?
		1.1.2 Existe Conciencia de la Gestión de Activos y su Administración? (Roles/Alcances/Responsabilidades)
		1.1.3 Existe un Control detallado sobre los objetivos del negocio desde la Gerencia Corporativa?
		1.1.4 Tiene la Gerencia Corporativa un liderazgo integral y sostenible sobre el negocio? (Control Sostenible)
		1.1.5 La Gerencia Corporativa, las gerencias intermedias y los niveles técnicos y de ejecución comparten de forma eficiente el liderazgo del negocio? (Empoderamiento)
	1.2 Plan Integral de Gestión de Activos	1.2.1 La organización cuenta con un modelo integral de gestión de activos incluida en su visión y misión?
		1.2.2 Existe un plan integral diseñado para implantar los diversos procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?
		1.2.3 Existe un plan de Gestión de Activos a largo plazo y está integrado con los objetivos y metas del negocio?
		1.2.4 Las técnicas de ingeniería de confiabilidad y mantenimiento están vinculadas con los procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?
		1.2.5 Se tiene definido un proceso integral de auditoría y mejora continua del modelo de gestión de activos a ser implementado?
	1.3 Políticas Integrales de Mantenimiento (Gerencial)	1.3.1 Existe una política de mantenimiento integrada con la Gestión Corporativa del negocio?
		1.3.2 Las políticas de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo, están ajustadas a la realidad del negocio?
		1.3.3 La política de mantenimiento ha sido creada de acuerdo con las políticas estratégicas del negocio?
		1.3.4 Las políticas de operación y mantenimiento están vinculadas e integradas con los objetivos y metas del negocio?
		1.3.5 La políticas de Mantenimiento y Confiabilidad están integradas con la visión y misión del negocio?
	1.4 Estructura Organizacional	1.4.1 Existe de forma general una estructura organizacional bien definida?
		1.4.2 Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar los procesos de mantenimiento y confiabilidad (están claras las responsabilidades de los grupos de confiabilidad)?
		1.4.3 Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar las operaciones?
		1.4.4 La Organización tiene grupos específicos relacionados con la implantación de técnicas en las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento?
		1.4.5 La Organización tiene una estructura administrativa y técnica, orientada a soportar el proceso integral de Gestión de Activos?
	1.5 Control Financiero (KPIS claves del negocio)	1.5.1 Existe un procedimiento bien desarrollado para gestionar el control financiero (KPIS claves del negocio)?
		1.5.2 Los procesos de control financiero se aplican a partir del análisis de los KPIS claves de forma continua y no de forma eventual?
		1.5.3 El sistema de control financiero es monitoreado y auditado de forma eficiente?
		1.5.4 El control financiero está totalmente vinculado con las metas y objetivos de la organización?
		1.5.5 El proceso de control de los KPIS financieros están integrado con los procesos indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Críticidad de Activos)	2.1	Gestión de Riesgos	2.1.1	Está definida de forma clara la política integral de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?
			2.1.2	Existe un proceso integral de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
			2.1.3	Existe un proceso eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
			2.1.4	Los riesgos en los procesos de mantenimiento y confiabilidad, son analizados, revisados y actualizados en forma regular?
			2.1.5	La organización utiliza modelos de gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
	2.2	Priorización de equipos	2.2.1	La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo
			2.2.2	El modelo de Riesgo priorización de equipos esta alineado con los objetivos del negocio
			2.2.3	La información utilizada para estimar la frecuencia y la de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz
			2.2.4	El modelo de priorización de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas operacionales de la organización
			2.2.5	Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos
	2.3	Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente	2.3.1	Existe un plan eficiente de emergencias y contingencias en la organización?
			2.3.2	Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?
			2.3.3	Se tiene desarrollada una política de emergencias y seguridad bien documentada y comunicada?
			2.3.4	Los planes de emergencias y seguridad son revisados, mejorados y actualizados de forma continua?
			2.3.5	Los planes de emergencias están certificados por organizaciones locales e internacionales reconocidas?

Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)	3.1	Gestión de las fallas	3.1.1	Existe un procedimiento estándar para gestionar las fallas en toda la organización?
			3.1.2	El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?
			3.1.3	Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?
			3.1.4	El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas?
			3.1.5	El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?
	3.2	Equipos multidisciplinarios de optimización	3.2.1	Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?
			3.2.2	El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora?
			3.2.3	Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?
			3.2.4	La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso integral de gestión de activos?
			3.2.5	Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?
	3.3	Métodos de Análisis de Fallas	3.3.1	La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?
			3.3.2	La metodología de Análisis de Fallas permite identificar el área de oportunidad en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?
			3.3.3	La metodología de Análisis de Fallas propone un procedimiento que permita validar de forma eficiente las hipótesis planteadas (validación con hechos reales)?
			3.3.4	Las recomendaciones generadas de los análisis de fallas son seleccionadas a partir de un procedimiento de Análisis Costo Riesgo Beneficio?
			3.3.5	Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?

Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones	4.2	Programación y planificación	4.1.1	Existe definida una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento
			4.1.2	Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?
			4.1.3	Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los equipos?
			4.1.4	Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio de la organización?
			4.1.5	Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias?
	4.3	Procedimientos e instructivos de trabajos	4.2.1	Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?
			4.2.2	Existe un marco general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?
			4.2.3	Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?
			4.2.4	Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?
			4.2.5	Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento del personal?
	4.4	Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)	4.3.1	Existe un proceso eficiente de gestión del mantenimiento por condición?
			4.3.2	Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?
			4.3.3	Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?
			4.3.4	El monitoreo de condiciones es parte integral de una estrategia de optimización del mantenimiento?
			4.3.5	El proceso de monitoreo de condiciones de la compañía es auditado y se le hace seguimiento a la efectividad de las recomendaciones emitidas?
	4.5	Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones	4.4.1	La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?
			4.4.2	La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?
			4.4.3	Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, Lean.....)?
			4.4.4	Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?
			4.4.5	Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?

Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad	5.1	Sistema de soporte informático de mantenimiento (software de mantenimiento)	5.1.1	Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento?
			5.1.2	El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?
			5.1.3	El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?
			5.1.4	El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, incluyendo todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?
			5.1.5	El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?
	5.2	Sistema de control de documentos	5.2.1	Existe un sistema general de administración de documentos técnicos de mantenimiento (planes, P&D, flujogramas de procesos, manual de mantenimiento)?
			5.2.2	Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?
			5.2.3	Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?
			5.2.4	El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?
			5.2.5	El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?
	5.3	Manejo de repuestos, materiales (logística)	5.3.1	El proceso de general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?
			5.3.2	El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?
			5.3.3	El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?
			5.3.4	EL proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?
			5.3.5	EL proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?
	5.4	Procesos de administración de la bodegas e inventarios	5.4.1	La administración del inventario es llevada a cabo por una organización bien estructurada para esta función?
			5.4.2	La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?
			5.4.3	El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?
			5.4.4	El software de administración de los repuestos, genera de forma automática, indicadores de análisis de inventarios que son utilizados para optimizar los diversos procesos de la gestión de materiales?
			5.4.5	Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?

Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)	6.1	Indicadores de desempeño técnico	6.1.1	Existe un proceso de eficiente de registro de la información histórica de los equipos?
			6.1.2	Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?
			6.1.3	Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?
			6.1.4	Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?
			6.1.5	La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente (MTTF, MTTR, Disponibilidad..., etc.?)
	6.2	Programas de revisión de los planes de mantenimiento	6.2.1	Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?
			6.2.2	Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?
			6.2.3	El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?
			6.2.4	Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimiento ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?
			6.2.5	Se realiza algún proceso de benchmarking en relación a los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?
	6.3	Procesos de control de las operaciones	6.3.1	Existe un procedimiento dónde se detallan los procesos operacionales?
			6.3.2	Se relacionan los procesos operacionales con todas actividades de producción?
			6.3.3	Se relaciona las estrategias operacionales con las estrategias del mantenimiento?
			6.3.4	Están vinculadas de forma eficiente las metas operacionales con la planificación de las actividades de mantenimiento?
			6.3.5	Están integradas las estrategias de operación y producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?
	6.4	Control de contratistas	6.4.1	El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?
			6.4.2	Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?
			6.4.3	Existe un proceso de validación y auditoría de las credenciales de las contratistas que participan en los diferentes procesos de mantenimiento y operación?
			6.4.4	Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?
			6.4.5	Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?
6.5	Gestión de talleres	6.5.1	La organización cuenta con un servicio eficiente: propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?	
		6.5.2	Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los talleres?	
		6.5.3	Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres?	
		6.5.4	Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres?	
		6.5.5	Existe un modelo de auditoría y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres?	

Procesos de Análisis de Costos de Ciclo de Vida	7.1	Asset Life Cycle Cost Management	7.1.1	Existe un procedimiento eficiente de análisis del ciclo de vida de los activos?
			7.1.2	Se analiza y se pronostica el ciclo de vida de los activos de la organización?
			7.1.3	Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodard, Willans and Scott....., etc.)?
			7.1.4	El proceso de Análisis de Ciclo de vida de los activos es llevado a cabo por equipo multidisciplinario de toda la organización en dónde participan los grupos de operaciones y mantenimiento?
			7.1.5	Se documenta de forma eficiente la información del ciclo de vida de los activos y se auditan los resultados de Ciclo de Vida de los equipos seleccionados?
	7.2	Manejo de información en el Ciclo de Vida del Activo	7.2.1	¿La administración de la organización revisa regularmente los factores claves de su sistema de gestión de activos (incluyendo política de gestión de activos, estrategia, objetivos, y planes) para asegurar su eficacia, adecuación y conveniencia a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
			7.2.2	¿La información económica y técnica (factores claves de la gestión de activos) es considerada para la revisión, seguimiento y sustitución de los equipos?
			7.2.3	¿La organización usa la información económica y técnica para mejorar continuamente su sistema de gestión de activos global a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
			7.2.4	¿La organización asegura que los resultados de las revisiones realizadas a los factores claves de la gestión de activos, esté disponible, para que la alta dirección tome en cuenta los resultados obtenidos, durante el análisis y la revisión de los planes estratégicos de la organización a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
			7.2.5	¿La organización mantiene los registros de las revisiones de los factores claves de la gestión de activos y comunica información relevante a los empleados, proveedores de servicios contratados u otras áreas relacionadas (interesadas - stakeholders) con el proceso de gestión de activos a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
	7.3	Mantenimientos especiales (paradas de plantas, overhauls...)	7.3.1	Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas?
			7.3.2	Las detenciones mayores son implementadas por grupos a dedicación exclusiva?
			7.3.3	Las detenciones mayores son programadas, planificadas y ejecutadas bajo el uso de herramientas de optimización de confiabilidad y riesgo?
			7.3.4	Existe un proceso de registro de las detenciones mayores que permita recopilar las lecciones aprendidas y todas las actividades son especificadas y estandarizadas?
			7.3.5	Existe una estrategia de integral de optimización de los procesos paradas de plantas, se auditan y se realizan análisis de benchmarking y de mejora continua?

Proceso de revisión y mejora continua	8.1	Contro de Calidad	8.1.1	Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?
			8.1.2	Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?
			8.1.3	La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?
			8.1.4	La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?
			8.1.5	La compañía está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?
	8.2	Programas de mejora continua	8.2.1	Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas bajo un modelo específico?
			8.2.2	Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?
			8.2.3	Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
			8.2.4	El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad?
			8.2.5	El proceso de mejora continua es una práctica estándar de todos los negocios que conforman el proceso industrial analizado?
	8.3	Programas de desarrollo de personal	8.3.1	La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?
			8.3.2	Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?
			8.3.3	Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?
			8.3.4	El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?
			8.3.5	El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas de técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?

Fuente: Parra, C. Archivo Excel – AMORMS-original-v1-2016 [11]

Anexo 2. Análisis de criticidad y jerarquización de equipos (Completo).

A continuación, se muestran la tabla de resultados del análisis de criticidad aplicado a los equipos de la planta mantenimiento de cilindros.

Tabla 19. Análisis de criticidad y jerarquización de equipos (Completo)

ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS									
PLANTA INDUSTRIAL DE GASES									
Sistemas	Código de equipos	Denominación	Frecuencia de fallas	SH A	CA	IP-CM	Consecuencias	Riesgo	Jerarquización
Sistema 1	PSAMCE1	Compresor horizontal	3	1	2	5	4	12	Alta criticidad
	PSAMCE2	Compresor vertical	3	1	2	5	4	12	Alta criticidad
	PSAMCE3	Secador 1	1	1	4	4	4	4	Media criticidad
Sistema 2	PSAMCE4	Bomba de vacío	1	1	4	1	1	1	Baja criticidad
Sistema 3	PSAMCE5	Desvalvuladora automática de cilindros	4	1	2	3	3	12	Alta criticidad
	PSAMCE6	Desvalvuladora automática de cilindros	1	1	2	1	1	1	Baja criticidad
Sistema 4	PSAMCE7	Shotblasting interno	2	1	2	1	1	2	Baja criticidad
Sistema 5	PSAMCE8	Shotblasting externo	5	1	4	4	4	20	Muy alta criticidad
Sistema 6	PSAMCE9	Máquina de collarín 1	1	1	2	1	1	1	Baja criticidad
	PSAMCE10	Máquina de collarín 2	1	1	2	1	1	1	Baja criticidad
Sistema 7	PSAMCE11	Tanque elevado	1	1	2	3	3	3	Baja criticidad
	PSAMCE12	Bomba de agua	2	1	1	3	2	4	Baja criticidad
	PSAMCE13	Tecla	2	3	1	3	3	6	Baja criticidad
	PSAMCE14	Equipo de PH	5	1	5	3	3	15	Muy alta criticidad
	PSAMCE15	Jacket 1	1	1	1	3	2	2	Baja criticidad
	PSAMCE16	Jacket 2	1	1	1	3	2	2	Baja criticidad
	PSAMCE17	Bomba de PH	5	1	4	3	3	15	Muy alta criticidad
Sistema 8	PSAMCE18	Secador 2	1	1	5	3	3	3	Baja criticidad
	PSAMCE19	Volteador y secador	3	1	4	3	3	9	Media criticidad
	PSAMCE20	Calentador de agua	3	1	2	3	3	9	Media criticidad
Sistema 9	PSAMCE21	Eddy current	3	1	4	1	1	3	Media criticidad

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Análisis de modo de efecto y falla (completo).

A continuación, se muestran las tablas de resultados de la aplicación del AMEF a equipos que presentaron criticidades alta y muy alta, donde se detallan las fallas funcionales y sus modos de fallas de cada uno de ellos.

Tabla 20. AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 1 y 2).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema: 1		Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos: Compresor horizontal		TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)	
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadore Danny G., Keliá O. y Walter R.							
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla					
Generación de aire comprimido a una presión de 100 a 120 psi para abastecer a todos los componentes neumáticos instalados en los equipos de la planta.	1	Caída de presión de aire en la red neumática.	1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipos que necesitan aire comprimido no pueden ser utilizados. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$2,008
			2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Cambio de sellos.	8	\$320	\$514	\$0.00	\$307
			3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El compresor no para. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipos que necesitan aire comprimido no pueden ser utilizados. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	2	\$320	\$50	\$0.00	\$5,520
	2	Calentamiento excesivo del aire comprimido.	1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de temperatura del equipo. Acción correctiva: Limpieza externa del compresor.	0.5	\$320	\$3	\$0.00	\$978
			2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$670
			3	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de condensación y partículas de agua hacia la red neumática. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	2	\$320	\$14	\$0.00	\$65

Sistema: 1 Equipos: Compresor horizontal Facilitador: Danny G., Kelia			Plan de mantenimiento general			
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	Inspección de sistema de compresión.	1. Verificar la presión del sistema y comparar con datos de placa del equipo. 2. Revisar los elementos de unión y ajuste de elementos roscados.	1	Departamento de mantenimiento
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumo de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo está fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	Inspección de accesorios neumáticos.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todos los accesorios neumáticos del equipo. 2. Eliminar fugas detectadas y si es necesario cambiar accesorio.	4	Departamento de mantenimiento
1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	Inspección de limpieza exterior del compresor (mantenimiento autónomo).	1. Limpiar suciedad externa del compresor.	12	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compararla con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobrepasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	2	\$320	\$44	\$ -	\$ 684.00	\$1,318
2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	\$ 2.82	\$ 2.82	0	4	\$320	\$514	\$ -	\$ -	\$305
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	\$ 2.82	\$ 11.28	2	1.5	\$320	\$50	\$ -	\$ 1,060.00	\$4,449
1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	\$ 1.41	\$ 16.92	1	0.5	\$320	\$3	\$ -	\$ 163.00	\$798
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$615
3	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ -	\$60

Tabla 21. AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 3 y 4).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1								
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Equipos: Compresor horizontal								
			Facilitadores: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	3	Consumo excesivo de aceite lubricante.	1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El compresor no para. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$670
			3	Fuga de aceite.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Eliminar fuga de aceite.	8	\$320	\$554	\$0.00	\$1,557
			4	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	1	\$320	\$245	\$0.00	\$57
	4	Ruido excesivo.	1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Oxidación y deterioro de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Eliminar condensación de agua.	2	\$320	\$14.00	\$0.00	\$654
			2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Llenar reservorio hasta el nivel correcto.	1	\$320	\$60.00	\$0.00	\$380
			3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Cambio de aceite.	2	\$320	\$80.00	\$0.00	\$144
			4	Faja floja.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de faja. Acción correctiva: Tensar faja.	1	\$320	\$35.00	\$0.00	\$710
5			Partes del equipo flojas.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Vibración del compresor. Acción correctiva: Reapretar tornillería.	1	\$320	\$14.00	\$0.00	\$334	

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Kelia		Plan de mantenimiento general				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aceite.	0.5	Inspección de sistema de compresión.	1. Realizar inspección visual de todo el cabezal. 2. Revisar si existe fuga, los elementos de unión y ajuste de elementos roscados.	4	Departamento de mantenimiento
4	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compara con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobre pasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento
1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red. Considerar agregar un secador.	1	Departamento de mantenimiento
2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	Inspección de nivel de aceite lubricante.	1. Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar deposito.	12	Departamento de mantenimiento
3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad y cantidad de partículas suspendidas, de ser necesario hacer cambio de aceite.	2	Departamento de mantenimiento
4	Faja floja.	2	Revisión de tensión del sistema de faja.	1. Verificar la tensión del sistema de faja y de ser necesario hacer el cambio.	4	Departamento de mantenimiento
5	Partes del equipo flojas.	1	Revisión de sujeción de partes del equipo.	1. Inspeccionar la sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapreté de tornillería o ajustes necesarios.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$615
3	Fuga de aceite.	0.5	\$ 1.41	\$ 5.64	0.5	4	\$320	\$554	\$ -	\$ 917.00	\$634
4	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$245	\$ -	\$ -	\$51
1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	\$ 32.00	\$ 32.00	0.1	2	\$320	\$14	\$ -	\$ 65.40	\$557
2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	1	0.5	\$320	\$60	\$ -	\$ 220.00	\$143
3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	\$ 1.41	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$80	\$ -	\$ 40.00	\$51
4	Faja floja.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	0.5	\$320	\$35	\$ -	\$ 195.00	\$509
5	Partes del equipo flojas.	1	\$ 0.71	\$ 2.82	0	0.25	\$320	\$14	\$ -	\$ -	\$331

Tabla 22. AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 5 y 6).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema: 1		Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos: Compresor horizontal							
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadore Danny G., Kelia O. y Walter R.							
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
5		El compresor funciona sin parar.	1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			2	Fuga de aire en la red neumática.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$2,008
			3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	2	\$320	\$50	\$0.00	\$2,070
			4	Filtro de aire obstruido.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$335
			5	El presostato no conmuta.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El presostato no corta la alimenta eléctrica. Acción correctiva: Revisar mecanismos del presostato.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$134
6		Desgaste prematuro de los componentes internos de la unidad compresora.	1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$80.00	\$0.00	\$144
			2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$60.00	\$0.00	\$140
			3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$60.00	\$0.00	\$140

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Keia		Plan de mantenimiento general				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
2	Fuga de aire en la red neumática.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	Inspección de accesorios neumáticos.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todos los accesorios neumáticos del equipo. 2. Eliminar fugas detectadas y si es necesario cambiar accesorio.	4	Departamento de mantenimiento
4	Filtro de aire obstruido.	0.5	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
5	El presostato no conmuta.	0.2	Revisión del presostato.	1. Revisar la funcionalidad de los componentes internos del presostato y de ser necesario hacer el cambio.	1	Departamento de mantenimiento
1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de PH y cantidad de partículas suspendidas, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento
2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento
3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
2	Fuga de aire en la red neumática.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	2	\$320	\$44	\$ -	\$ 684.00	\$1,318
3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	\$ 2.82	\$ 11.28	0.5	1	\$320	\$50	\$ -	\$ 185.00	\$1,874
4	Filtro de aire obstruido.	0.5	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$280
5	El presostato no conmuta.	0.2	\$ 1.41	\$ 1.41	0.2	1	\$320	\$30	\$ -	\$ 70.00	\$63
1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	\$ 2.82	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$80	\$ -	\$ 40.00	\$51
2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	\$ 2.82	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$60	\$ -	\$ 38.00	\$49
3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.1	1	\$320	\$60	\$ -	\$ 38.00	\$99

Tabla 23. AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 7 y 8).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema: 1		Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos: Compresor horizontal							
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadore Danny G., Kelia O. y Walter R.							
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
7	Unidad de compresor sobrecalentada.	1	1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de cabezal. Acción correctiva: Llenar reservorio hasta el nivel correcto.	1	\$320	\$60	\$0.00	\$38
		2	2	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	1	\$320	\$245	\$0.00	\$57
		3	3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
		4	4	Filtro de aire obstruido.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	1	\$320	\$65	\$0.00	\$77
8	Sobrecalentamiento del motor.	1	1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de componentes eléctricos. Acción correctiva: Revisar Instalación eléctrica.	4	\$320	\$45	\$0.00	\$265
		2	2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	0.25	\$320	\$60	\$0.00	\$140
		3	3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Compresor no para. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$100
		4	4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	\$8	\$320	\$111.00	0	\$267

Sistema: 1		Plan de mantenimiento general				
Equipos: Compresor horiz						
Facilitadore Danny G., Keilia						
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	Inspección de nivel de aceite lubricante.	1. Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar deposito.	4	Departamento de mantenimiento
2	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compara con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobre pasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
4	Filtro de aire obstruido.	0.2	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	Inspección de instalación eléctrica.	1. Medir el valor de consumo de corriente y comparar con los datos técnicos de placa, realizar ajustes si es necesario.	1	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Keli			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$60	\$ -	\$ -	\$32
2	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$245	\$ -	\$ -	\$51
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
4	Filtro de aire obstruido.	0.2	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$65	\$ -	\$ 45.00	\$15
1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.5	1	\$320	\$45	\$ -	\$ 182.50	\$80
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$60	\$ -	\$ 44.00	\$79
3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	\$ 2.82	\$ 11.28	0.1	1	\$320	\$44	\$ -	\$ 36.40	\$53
4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203

Tabla 24. AMEF - Sistema 1 (Compresor horizontal – falla funcional 9 y 10).

HOJA DE REGISTRO MCC			Sistema: 1			Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Equipos: Compresor horizontal								
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Facilitadore Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
9		El motor no arranca o no se reinicia pudiendo causar que el motor se queme.	1	Caída o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de componentes eléctricos. Acción correctiva: Revisar Instalación eléctrica.	2	\$320	\$45	\$0.00	\$343
			2	Motor eléctrico dañado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipo no arranca. Acción correctiva: Revisar motor.	32	\$320	\$1,000	\$0.00	\$2,248
10		La presión del depósito aumenta rápidamente.	1	Exceso de agua en el depósito.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de condensación en tanque. Acción correctiva: Purgado de tanque.	1	\$320	\$14	\$0.00	\$334
			2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Arranque inesperados. Acción correctiva: Calibración de sistema de control de aire.	0.5	\$320	\$14	\$0.00	\$174

Sistema: 1			Plan de mantenimiento general			
Equipos: Compresor horizontal						
Facilitadore Danny G., Kelia O. y Walter R.						
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Caída o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	Inspección de instalación eléctrica.	1. Medir el valor de voltaje y corriente, comparar con los datos técnicos de placa, realizar ajustes si es necesario.	1	Departamento de mantenimiento
2	Motor eléctrico dañado.	0.2	Inspección del motor.	1. Revisar físicamente el estado de los componentes del motor.	1	Departamento de mantenimiento
1	Exceso de agua en el depósito.	1	Revisión del tanque acumulador.	1. Verificar el nivel de agua dentro del tanque y de ser necesario hacer el purgado.	250	Departamento de mantenimiento
2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	Inspección del sistema de control de aire.	1. Revisar la calibración del presostato.	2	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor horiz Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Caida o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	\$ 1.41	\$ 1.41	0.5	1	\$320	\$45	\$ -	\$ 182.50	\$159
2	Motor eléctrico dañado.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.2	16	\$320	\$1,000	\$ -	\$ 1,224.00	\$1,021
1	Exceso de agua en el depósito.	1	\$ 0.16	\$ 40.00	0.5	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ 87.00	\$207
2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	\$ 0.71	\$ 1.41	0.2	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ 34.80	\$138

Tabla 25. AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 1 y 2).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1			Equipos: Compresor vertical					
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Facilitador: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
Generación de aire comprimido a una presión de 100 a 120 psi para abastecer a todos los componentes neumáticos instalados en los equipos de la planta.	1	Caída de presión de aire en la red neumática.	1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipos que necesitan aire comprimido no pueden ser utilizados. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$2,008
			2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Cambio de sellos.	8	\$320	\$514	\$0.00	\$307
			3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El compresor no para. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipos que necesitan aire comprimido no pueden ser utilizados. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	2	\$320	\$50	\$0.00	\$5,520
	2	Calentamiento excesivo del aire comprimido.	1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de temperatura del equipo. Acción correctiva: Limpieza externa del compresor.	0.5	\$320	\$3	\$0.00	\$978
			2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$670
			3	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de condensación y partículas de agua hacia la red neumática. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	2	\$320	\$14	\$0.00	\$65

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Plan de mantenimiento general			
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	Inspección de sistema de compresión.	1. Verificar la presión del sistema y comparar con datos de placa del equipo. 2. Revisar los elementos de unión y ajuste de elementos roscados.	1	Departamento de mantenimiento
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	Inspección de accesorios neumáticos.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todos los accesorios neumáticos del equipo. 2. Eliminar fugas detectadas y si es necesario cambiar accesorio.	4	Departamento de mantenimiento
1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	Inspección de limpieza exterior del compresor (mantenimiento autónomo).	1. Limpiar suciedad externa del compresor.	12	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compara con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobre pasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	2	\$320	\$44	\$ -	\$ 684.00	\$1,318
2	No realiza la compresión de forma eficiente.	0.1	\$ 2.82	\$ 2.82	0	4	\$320	\$514	\$ -	\$ -	\$305
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
4	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	8	\$ 2.82	\$ 11.28	2	1.5	\$320	\$50	\$ -	\$ 1,060.00	\$4,449
1	Acumulación de polvo en el compresor.	6	\$ 1.41	\$ 16.92	1	0.5	\$320	\$3	\$ -	\$ 163.00	\$798
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$615
3	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ -	\$60

Tabla 26. AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 3 y 4).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1			Equipos: Compresor vertical					
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Facilitador: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	3	Consumo excesivo de aceite lubricante.	1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El compresor no para. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$670
			3	Fuga de aceite.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Eliminar fuga de aceite.	8	\$320	\$554	\$0.00	\$1,557
			4	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	1	\$320	\$245	\$0.00	\$57
	4	Ruido excesivo.	1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Oxidación y deterioro de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Eliminar condensación de agua.	2	\$320	\$14.00	\$0.00	\$654
			2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Llenar reservorio hasta el nivel correcto.	1	\$320	\$60.00	\$0.00	\$380
			3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Cambio de aceite.	2	\$320	\$80.00	\$0.00	\$144
			4	Faja floja.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de faja. Acción correctiva: Tensar faja.	1	\$320	\$35.00	\$0.00	\$710
5			Partes del equipo flojas.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Vibración del compresor. Acción correctiva: Reapretar tornillería.	1	\$320	\$14.00	\$0.00	\$334	

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia		Plan de mantenimiento general				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aceite.	0.5	Inspección de sistema de compresión.	1. Realizar inspección visual de todo el cabezal. 2. Revisar si existe fuga, los elementos de unión y ajuste de elementos roscados.	4	Departamento de mantenimiento
4	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compara con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobre pasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento
1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red. Considerar agregar un secador.	1	Departamento de mantenimiento
2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	Inspección de nivel de aceite lubricante.	1. Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar deposito.	12	Departamento de mantenimiento
3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad y cantidad de partículas suspendidas, de ser necesario hacer cambio de aceite.	2	Departamento de mantenimiento
4	Faja floja.	2	Revisión de tensión del sistema de faja.	1. Verificar la tensión del sistema de faja y de ser necesario hacer el cambio.	4	Departamento de mantenimiento
5	Partes del equipo flojas.	1	Revisión de sujeción de partes del equipo.	1. Inspeccionar la sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapreté de tornillería o ajustes necesarios.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$615
3	Fuga de aceite.	0.5	\$ 1.41	\$ 5.64	0.5	4	\$320	\$554	\$ -	\$ 917.00	\$634
4	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$245	\$ -	\$ -	\$51
1	Condensación de agua dentro de la unidad compresora.	1	\$ 32.00	\$ 32.00	0.1	2	\$320	\$14	\$ -	\$ 65.40	\$557
2	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	1	0.5	\$320	\$60	\$ -	\$ 220.00	\$143
3	Aceite lubricante contaminado.	0.2	\$ 1.41	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$80	\$ -	\$ 40.00	\$51
4	Faja floja.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	0.5	\$320	\$35	\$ -	\$ 195.00	\$509
5	Partes del equipo flojas.	1	\$ 0.71	\$ 2.82	0	0.25	\$320	\$14	\$ -	\$ -	\$331

Tabla 27. AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 5 y 6).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1								
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Equipos: Compresor vertical								
			Facilitador: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	5	El compresor funciona sin parar.	1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			2	Fuga de aire en la red neumática.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$2,008
			3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	2	\$320	\$50	\$0.00	\$2,070
			4	Filtro de aire obstruido.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$335
			5	El presostato no conmuta.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): El presostato no corta la alimenta eléctrica. Acción correctiva: Revisar mecanismos del presostato.	2	\$320	\$30	\$0.00	\$134
	6	Desgaste prematuro de los componentes internos de la unidad compresora.	1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$80.00	\$0.00	\$144
			2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$60.00	\$0.00	\$140
			3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de aceite lubricante.	2	\$320	\$60.00	\$0.00	\$140

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Keilia		Plan de mantenimiento general				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
2	Fuga de aire en la red neumática.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	Inspección de accesorios neumáticos.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todos los accesorios neumáticos del equipo. 2. Eliminar fugas detectadas y si es necesario cambiar accesorio.	4	Departamento de mantenimiento
4	Filtro de aire obstruido.	0.5	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
5	El presostato no conmuta.	0.2	Revisión del presostato.	1. Revisar la funcionalidad de los componentes internos del presostato y de ser necesario hacer el cambio.	1	Departamento de mantenimiento
1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de PH y cantidad de partículas suspendidas, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento
2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento
3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	Inspección de calidad del aceite lubricante.	1. Realizar pruebas de viscosidad, de ser necesario hacer cambio de aceite.	1	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
2	Fuga de aire en la red neumática.	2	\$ 1.41	\$ 5.64	1	2	\$320	\$44	\$ -	\$ 684.00	\$1,318
3	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	3	\$ 2.82	\$ 11.28	0.5	1	\$320	\$50	\$ -	\$ 185.00	\$1,874
4	Filtro de aire obstruido.	0.5	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$30	\$ -	\$ 38.00	\$280
5	El presostato no conmuta.	0.2	\$ 1.41	\$ 1.41	0.2	1	\$320	\$30	\$ -	\$ 70.00	\$63
1	Aceite lubricante contaminado.	0.2	\$ 2.82	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$80	\$ -	\$ 40.00	\$51
2	El cambio de aceite no se realizó dentro del intervalo recomendado.	0.2	\$ 2.82	\$ 52.82	0.1	1	\$320	\$60	\$ -	\$ 38.00	\$49
3	Uso de aceite inadecuado.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.1	1	\$320	\$60	\$ -	\$ 38.00	\$99

Tabla 28. AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 7 y 8).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1								
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Equipos: Compresor vertical								
			Facilitador: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	7	Unidad de compresor sobrecalentada.	1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de cabezal. Acción correctiva: Llenar reservorio hasta el nivel correcto.	1	\$320	\$60	\$0.00	\$38
			2	Temperatura ambiente elevada	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compreso. Acción correctiva: Mejorar la ventilación del equipo.	1	\$320	\$245	\$0.00	\$57
			3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$320	\$111	\$0.00	\$267
			4	Filtro de aire obstruido.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	1	\$320	\$65	\$0.00	\$77
	8	Sobrecalentamiento del motor.	1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de componentes eléctricos. Acción correctiva: Revisar Instalación eléctrica.	4	\$320	\$45	\$0.00	\$265
			2	Filtro de aire obstruido.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Forzado del proceso de compresión. Acción correctiva: Reemplazar filtro de aire.	0.25	\$320	\$60	\$0.00	\$140
			3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Compresor no para. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	3	\$320	\$44	\$0.00	\$100
			4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	\$8	\$320	\$111.00	0	\$267

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia		Plan de mantenimiento general				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	Inspección de nivel de aceite lubricante.	1. Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar deposito.	4	Departamento de mantenimiento
2	Temperatura ambiente elevada	0.1	Medición de temperatura ambiente.	1. Realizar medición de la temperatura ambiente y compara con valores establecidos por el fabricante. 2. Si los valores sobre pasan lo sugerido por el fabricante se debe considerar el acondicionamiento de la ventilación del equipo.	4	Departamento de mantenimiento
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
4	Filtro de aire obstruido.	0.2	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	Inspección de instalación eléctrica.	1. Medir el valor de consumo de corriente y comparar con los datos técnicos de placa, realizar ajustes si es necesario.	1	Departamento de mantenimiento
2	Filtro de aire obstruido.	1	Inspección de filtro de aire.	1. Realizar limpieza de filtro de aire. 2. Si se encuentra saturado hacer el reemplazo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Falta de lubricación de las partes internas de la unidad compresora.	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$60	\$ -	\$ -	\$32
2	Temperatura ambiente elevada	0.1	\$ 1.41	\$ 5.64	0	4	\$320	\$245	\$ -	\$ -	\$51
3	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203
4	Filtro de aire obstruido.	0.2	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$65	\$ -	\$ 45.00	\$15
1	Instalación eléctrica insuficiente.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.5	1	\$320	\$45	\$ -	\$ 182.50	\$80
2	Filtro de aire obstruido.	1	\$ 1.41	\$ 16.92	0.2	0.5	\$320	\$60	\$ -	\$ 44.00	\$79
3	Fuga de aire en la red neumática.	0.1	\$ 2.82	\$ 11.28	0.1	1	\$320	\$44	\$ -	\$ 36.40	\$53
4	Aumento de la demanda de aire comprimido.	0.1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$320	\$111	\$ -	\$ -	\$203

Tabla 29. AMEF - Sistema 1 (Compresor vertical – falla funcional 9 y 10).

HOJA DE REGISTRO MCC						Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases			Sistema: 1								
Planta: Mantenimiento de cilindros.			Equipos: Compresor vertical								
			Facilitador: Danny G., Kelia O. y Walter R.								
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
9		El motor no arranca o no se reinicia pudiendo causar que el motor se quem.	1	Caída o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de componentes eléctricos. Acción correctiva: Revisar Instalación eléctrica.	2	\$320	\$45	\$0.00	\$343
			2	Motor eléctrico dañado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Equipo no arranca. Acción correctiva: Revisar motor.	32	\$320	\$1,000	\$0.00	\$2,248
10		La presión del depósito aumenta rápidamente.	1	Exceso de agua en el depósito.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incremento de condensación en tanque. Acción correctiva: Purgado de tanque.	1	\$320	\$14	\$0.00	\$334
			2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Arranque inesperados. Acción correctiva: Calibración de sistema de control de aire.	0.5	\$320	\$14	\$0.00	\$174

Sistema: 1			Plan de mantenimiento general			
Equipos: Compresor						
Facilitador: Danny G., Kelia O.						
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Caída o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	Inspección de instalación eléctrica.	1. Medir el valor de voltaje y corriente, comparar con los datos técnicos de placa, realizar ajustes si es necesario.	1	Departamento de mantenimiento
2	Motor eléctrico dañado.	0.2	Inspección del motor.	1. Revisar físicamente el estado de los componentes del motor.	1	Departamento de mantenimiento
1	Exceso de agua en el depósito.	1	Revisión del tanque acumulador.	1. Verificar el nivel de agua dentro del tanque y de ser necesario hacer el purgado.	250	Departamento de mantenimiento
2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	Inspección del sistema de control de aire.	1. Revisar la calibración del presostato.	2	Departamento de mantenimiento

Sistema: 1 Equipos: Compresor Facilitadore Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial \$
1	Caída o falta de tensión en la red eléctrica.	0.5	\$ 1.41	\$ 1.41	0.5	1	\$320	\$45	\$ -	\$ 182.50	\$159
2	Motor eléctrico dañado.	0.2	\$ 2.82	\$ 2.82	0.2	16	\$320	\$1,000	\$ -	\$ 1,224.00	\$1,021
1	Exceso de agua en el depósito.	1	\$ 0.16	\$ 40.00	0.5	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ 87.00	\$207
2	Mala calibración del sistema de control de aire.	1	\$ 0.71	\$ 1.41	0.2	0.5	\$320	\$14	\$ -	\$ 34.80	\$138

Tabla 30. AMEF - Sistema 3 (Desválvuladora automática de cilindros 1 – falla funcional 1 y 2).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	3	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos:	Desválvuladora automática de cilindros 1.	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)	
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores:	Danny G., Kella O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla					
Enrosacar y desenrosacar las válvulas de los cilindros.	1	Reducción del torque en la mandíbula.	1	Fugas de aire en el sistema neumático.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Válvula no enrosca en su totalidad. Acción correctiva: Sellar fugas de aire.	8	\$150	\$17	\$0.00	\$2,434
			2	Presión de trabajo incorrecta.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Valor mostrado en el manómetro de presión de trabajo no es correcto. Acción correctiva: Setear presión de trabajo al valor que especifica el fabricante.	1	\$150	\$7	\$0.00	\$47
			3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Válvula no enrosca en su totalidad. Acción correctiva: Cambiar sellos de motor neumático.	40	\$150	\$507	\$0.00	\$651
	2	Sistema de sujeción de cilindro no sujeta	1	Fugas de aire en el sistema.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Cilindro gira cuando se enrosca la válvula. Acción correctiva: Sellar fugas de aire.	8	\$150	\$7	\$0.00	\$2,414
			2	Válvula de control no funciona.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Sistema de mordazas de sujeción no se desplazan a la posición calibrada. Acción correctiva: Cambiar válvula de control	8	\$150	\$57	\$0.00	\$251
			3	Válvula de accionamiento no funciona.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Sistema de pinzas de sujeción no se desplazan apretan y/o giran Acción correctiva: Cambiar válvula de accionamiento.	8	\$150	\$67	\$0.00	\$253
			4	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$150	\$111	\$0.00	\$1,311
			5	Rotura de planetarios que sujetan pinza	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Cilindro muestra rotura en cabezal Acción correctiva: Cambiar todo el cabezal .	120	\$150	\$2,007	\$0.00	\$4,001
			6	Goma de mordazas de sujeción dañada.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Cilindro gira cuando se enrosca la válvula. Acción correctiva: Cambiar gomas de mordazas de sujeción.	3	\$150	\$107	\$0.00	\$279

Sistema: 3		Plan de mantenimiento general				
Equipos: Desvalvadora						
Facilitadores: Danny G., Keli						
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Fugas de aire en el sistema neumático.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	12	Departamento de mantenimiento
2	Presión de trabajo incorrecta.	0.3	Revisión de presión de trabajo.	1. Realizar inspección visual de la presión marcada en manómetro de trabajo.	12	Departamento de mantenimiento
3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	Inspección del motor neumático.	1. Realizar inspección visual y auditiva del estado de los sellos del motor neumático y si existen fugas hacer cambio del sello.	2	Departamento de mantenimiento
1	Fugas de aire en el sistema.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
2	Válvula de control no funciona.	0.2	Revisión de válvula de control	1. Revisar el accionamiento de la válvula de control para verificar el cambio de estado, de ser necesario desarmar para despegar y lubricar elementos internos.	4	Departamento de mantenimiento
3	Válvula de accionamiento no funciona.	0.2	Revisión de válvula de accionamiento.	1. Revisar el accionamiento de la válvula para verificar el cambio de estado, de ser necesario desarmar para despegar y lubricar elementos internos.	4	Departamento de mantenimiento
4	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumo de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento
5	Rotura de planetarios que sujetan pinza	0.2	Revisión de nivel de aceite	1. Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar deposito.	4	Departamento de mantenimiento
6	Goma de mordazas de sujeción dañada.	0.5	Revisión de goma de mordazas de sujeción.	1. Revisar el estado de las gomas de las mordazas y si es necesario hacer el cambio.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 3		Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC									
Equipos: Desvalvadora											
Facilitadores: Danny G., Keli											
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Fugas de aire en el sistema neumático.	2	\$ 1.41	\$ 16.86	0.3	1	\$ 150.00	\$ 17.00	\$ -	\$ 50.10	\$ 2,367.04
2	Presión de trabajo incorrecta.	0.3	\$ 1.41	\$ 16.86	0.1	1	\$ 150.00	\$ 7.00	\$ -	\$ 15.70	\$ 14.54
3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	\$ 2.81	\$ 5.62	0.1	1	\$ 150.00	\$ 507.00	\$ -	\$ 65.70	\$ 579.38
1	Fugas de aire en el sistema.	2	\$ 1.41	\$ 5.62	0.3	2	\$ 150.00	\$ 7.00	\$ -	\$ 92.10	\$ 2,316.28
2	Válvula de control no funciona.	0.2	\$ 2.81	\$ 11.24	0.1	2	\$ 150.00	\$ 57.00	\$ -	\$ 35.70	\$ 204.46
3	Válvula de accionamiento no funciona.	0.2	\$ 2.81	\$ 11.24	0.1	2	\$ 150.00	\$ 67.00	\$ -	\$ 36.70	\$ 205.46
4	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	\$ 64.00	\$ 64.00	0	8	\$ 150.00	\$ 111.00	\$ -	\$ -	\$ 1,247.00
5	Rotura de planetarios que sujetan pinza	0.2	\$ 2.81	\$ 11.24	0.1	40	\$ 150.00	\$ 2,007.00	\$ -	\$ 800.70	\$ 3,189.46
6	Goma de mordazas de sujeción dañada.	0.5	\$ 1.41	\$ 5.62	0.2	1	\$ 150.00	\$ 107.00	\$ -	\$ 51.40	\$ 221.48

Tabla 31. AMEF - Sistema 3 (Desválvuladora automática de cilindros 1 – falla funcional 3).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema: 3		Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos: Desválvuladora automática de cilindros 1.							
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores: Danny G., Kelia O. y Walter R.							
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
Enrosca y desenrosca las válvulas de los cilindros.	3	Motor neumático no gira.	1	Fugas de aire en el sistema neumático.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Válvula no enrosca en su totalidad. Acción correctiva: Sellar fugas de aire.	8	\$150	\$17	\$0.00	\$365
			2	Disminución de presión de trabajo.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Valor mostrado en el manómetro de presión de trabajo no es el seteado. Acción correctiva: Sellar fugas de aire.	40	\$150	\$507	\$0.00	\$1,952
			3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Válvula no enrosca en su totalidad. Acción correctiva: Cambiar sellos de motor neumático.	3	\$150	\$107	\$0.00	\$56

Sistema: 3		Plan de mantenimiento general					
Equipos: Desválvuladora							
Facilitadores: Danny G., Keli							
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable	
1	Fugas de aire en el sistema neumático.	0.3	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento	
2	Disminución de presión de trabajo.	0.3	Revisión de presión de trabajo.	1. Realizar inspección visual de la presión marcada en manómetro de trabajo.	4	Departamento de mantenimiento	
3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	Inspección del motor neumático.	1. Realizar inspección visual y auditiva del estado de los sellos del motor neumático y si existen fugas hacer cambio del sello.	4	Departamento de mantenimiento	

Sistema: 3 Equipos: Desvalvuladora Facilitadores: Danny G., Keli			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Fugas de aire en el sistema neumático.	0.3	\$ 1.41	\$ 5.62	0.2	1	\$ 150.00	\$ 17.00	\$ -	\$ 33.40	\$ 326.08
2	Disminución de presión de trabajo.	0.3	\$ 1.41	\$ 5.62	0.1	1	\$ 150.00	\$ 507.00	\$ -	\$ 65.70	\$ 1,880.78
3	Fugas de aire en el motor neumático.	0.1	\$ 1.41	\$ 5.62	0.1	1	\$ 150.00	\$ 107.00	\$ -	\$ 25.70	\$ 24.38

Tabla 32. AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 1 y 2).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	5	Tiempo de paro por reparación						
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos:	Shotblasting externo							
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores:	Danny G. Kelia O. y Walter R.							
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)	
1	1	No retira pintura y oxidación de los envases metálicos	1	Desgaste de aspas	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Aumento de tiempo de trabajo efectivo por cilindro. Acción correctiva: Cambio de aspas.	4	\$60	\$462	\$0.00	\$2,106	
			2	Nivel bajo de arenilla de acero.	8	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Aumento de tiempo de trabajo efectivo por cilindro.	3	\$60	\$4	\$0.00	\$1,472	
			3	Faja floja.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de faja. Acción correctiva: Tensar faja.	2	\$60	\$22	\$0.00	\$142	
	2	2	Ruido excesivo.	1	Falta de lubricación de partes mecánicas móviles.	4	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de partes mecánicas móviles. Acción correctiva: Lubricar partes mecánicas móviles.	16	\$60	\$552	\$0.00	\$6,048
				2	Faja floja.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Desgaste de faja. Acción correctiva: Tensar faja.	2	\$60	\$3	\$0.00	\$246
				3	Chumaceras forzadas.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Vibración del equipo y calentamiento del eje. Acción correctiva: Engrase o cambio de chumacera.	24	\$60	\$362	\$0.00	\$3,604
4				Desgaste de aspas	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Aumento de tiempo de trabajo efectivo por cilindro.	4	\$60	\$462	\$0.00	\$2,106	
5				Tornillos flojos.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Vibración del compresor.	2	\$60	\$5	\$0.00	\$63	

Sistema:		5	Plan de mantenimiento general			
Equipos:		Shotblasting ex				
Facilitadores:		Danny G., Kelia				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Desgaste de aspas	3	Revisión del sistema mecánico de aspas.	1. Revisar el estado de las aspas y de ser necesario hacer el reemplazo de las aspas dañadas.	4	Departamento de mantenimiento
2	Nivel bajo de arenilla de acero.	8	Revisión del nivel de arenilla de acero.	1. Revisar el nivel de arenilla de acero del depósito y de ser necesario complementar hasta llegar a su nivel correcto.	52	Departamento de mantenimiento
3	Faja floja.	1	Revisión de la tensión de faja.	1. Revisar la tención de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.	52	Departamento de mantenimiento
1	Falta de lubricación de partes mecánicas	4	Revisión de partes mecánicas móviles.	1. Revisar la lubricación de las partes mecánicas móviles y de ser necesario lubricarlas.	12	Departamento de mantenimiento
2	Faja floja.	2	Revisión de la tensión de faja.	1. Revisar la tención de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.	12	Departamento de mantenimiento
3	Chumaceras forzadas.	2	Revisión del estado de las chumaceras.	1. Revisar el estado de la grasa y de ser necesario hacer el cambio de grasa. 2. Revisar la alineación del eje y de ser necesario hacer alinearlo. 3. Revisar el desgaste de la chumacera y de ser necesario hacer el cambio por otra nueva.	12	Departamento de mantenimiento
4	Desgaste de aspas	3	Revisión del sistema mecánico de aspas.	1. Revisar el estado de las aspas y de ser necesario hacer el reemplazo de las aspas dañadas.	4	Departamento de mantenimiento
5	Tomillos flojos.	0.5	Revisión de aprete de tornillos.	1. Reapriete de todos los tornillos del equipo.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 5 Equipos: Shotblasting ex Facilitadores: Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento o propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto o SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Desgaste de aspas	3	\$ 1.41	\$ 5.62	1	2	\$60.00	\$ 462.00	\$ -	\$ 582.00	\$ 1,518.38
2	Nivel bajo de arenilla de acero.	8	\$ 1.41	\$ 73.06	0.5	2	\$60.00	\$ 4.00	\$ -	\$ 62.00	\$ 1,336.94
3	Faja floja.	1	\$ 1.41	\$ 73.06	0.5	1	\$60.00	\$ 22.00	\$ -	\$ 41.00	\$ 27.94
1	Falta de lubricación de partes mecánicas móviles.	4	\$ 2.81	\$ 33.72	1	4	\$60.00	\$ 552.00	\$ -	\$ 792.00	\$ 5,222.28
2	Faja floja.	2	\$ 1.41	\$ 16.86	1	1	\$60.00	\$ 3.00	\$ -	\$ 63.00	\$166.14
3	Chumaceras forzadas.	2	\$ 1.41	\$ 16.86	1	4	\$60.00	\$ 362.00	\$ -	\$ 602.00	\$ 2,985.14
4	Desgaste de aspas	3	\$ 1.41	\$ 5.62	1	2	\$60.00	\$ 462.00	\$ -	\$ 582.00	\$ 1,518.38
5	Tornillos flojos.	0.5	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	1	\$60.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 32.50	\$ 24.38

Tabla 33. AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 3, 4 y 5).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	5	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases Planta: Mantenimiento de cilindros.				Equipos:	Shotblasting externo						
				Facilitadores:	Danny G., Kella O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
Retirar pintura y oxidación externa de envases metálicos	3	Sobrecalentamiento del motor.	1	Chumaceras forzadas.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Vibración del equipo y calentamiento del eje. Acción correctiva: Engrase o cambio de chumacera.	24	\$60	\$362	\$0.00	\$1,802
			2	Falso contacto en componentes eléctricos.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Cortocircuito de componentes eléctricos. Acción correctiva: Reapriete de componentes y tornillería.	4	\$60	\$5	\$0.00	\$245
			3	Red eléctrica insuficiente.	0.5	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de componentes eléctricos. Acción correctiva: Revisar Instalación eléctrica.	4	\$60	\$5	\$0.00	\$123
	4	Sobrecalentamiento de chumaceras.	1	Operando en ambiente contaminado.	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de grasa o retenedores.	8	\$60	\$362	\$0.00	\$842
			2	El cambio de grasa no se realizó dentro del intervalo recomendado.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de grasa.	8	\$60	\$502	\$0.00	\$1,964
			3	Uso de grasa inadecuada.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Rozamiento de partes mecánica internas. Acción correctiva: Cambio de grasa.	8	\$60	\$262	\$0.00	\$148
			4	Desalineado de eje.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento de chumaceras. Acción correctiva: alineado de ejes.	40	\$60	\$905	\$0.00	\$6,610
	5	Deterioro de componentes del cajón metálico para retención de arenilla de acero.	1	Desgaste de paredes y agujeros en cajón metálico.	6	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Disminución del nivel de arenilla de acero. Acción correctiva: Sellar agujeros.	24	\$60	\$240	\$0.00	\$10,080
			2	Desalineado de puerta principal.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro de equipo. Acción correctiva: Alinear puerta principal.	8	\$60	\$85	\$0.00	\$1,130
			3	Desgaste de bolsas que atrapan el desecho de pintura.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Fuga de partículas de desechos de pintura. Acción correctiva: Cambiar bolsas para desechos de pintura.	4	\$60	\$14	\$0.00	\$508

Sistema: Equipos: Facilitadores:		5 Shotblasting ex Danny G., Kelia	Plan de mantenimiento general			
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Chumaceras forzadas.	1	Revisión del estado de las chumaceras.	1. Revisar el estado de la grasa y de ser necesario hacer el cambio de grasa. 2. Revisar la alineación del eje y de ser necesario hacer alinearlo. 3. Revisar el desgaste de la chumacera y de ser necesario hacer el cambio por otra nueva.	12	Departamento de mantenimiento
2	Falso contacto en componentes eléctricos.	1	Revisión de sujeción de componentes del sistema eléctrico.	1. Realizar inspección del sistema eléctrico y verificar la sujeción de los componentes y cables eléctricos y de ser necesario hacer reapriete de componentes y tornillería.	4	Departamento de mantenimiento
3	Red eléctrica insuficiente.	0.5	Revisión del sistema eléctrico.	1. Realizar inspección del sistema eléctrico y hacer mediciones de las variables para verificar que se encuentra en los rangos permitidos y de ser necesario hacer ajustes correspondientes.	4	Departamento de mantenimiento
1	Operando en ambiente contaminado.	1	Revisión de chumaceras.	1. Revisar el estado de la grasa y de ser necesario hacer el cambio de grasa. 2. Verificar el estado de los retenedores y de ser necesario cambiarlos.	12	Departamento de mantenimiento
2	El cambio de grasa no se realizó dentro del intervalo recomendado.	2	Revisión del estado de la grasa.	1. Remover la grasa antigua y colocar grasa nueva.	4	Departamento de mantenimiento
3	Uso de grasa inadecuada.	0.2	Revisión del estado de la grasa.	1. Remover la grasa antigua y colocar grasa nueva con especificaciones correctas.	4	Departamento de mantenimiento
4	Desalineado de eje.	2	Revisión de chumaceras.	1. Revisar sujeción de chumaceras y de ser necesario hacer reapriete de tornillería. 2. Revisar la alineación del eje y de ser necesario hacer alinearlo. 3. Revisar el desgaste de cumaceras y de ser necesario cambiarlas.	12	Departamento de mantenimiento
1	Desgaste de paredes y agujeros en cajón metálico.	6	Revisión del cajón metálico.	1. Revisar cajón y detectar las perforaciones para realizar el sellado.	12	Departamento de mantenimiento
2	Desalineado de puerta principal.	2	Revisión del cajón metálico.	1. Revisar soportes de puerta principal y alinearlos para que cierre correctamente.	12	Departamento de mantenimiento
3	Desgaste de bolsas que atrapan el desecho de pintura.	2	Revisión de bolsas para desechos de pintura.	1. Revisar y detectar bolsas perforadas para hacer el cambio respectivo. 2. Realizar cambio de todas las bolsas para su lavado	12	Departamento de mantenimiento

Sistema: 5 Equipos: Shotblasting ex Facilitadores: Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento o propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto o SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Chumaceras forzadas.	1	\$ 1.41	\$ 16.86	0.5	4	\$60.00	\$ 362.00	\$ -	\$ 301.00	\$ 1,484.14
2	Falso contacto en componentes eléctricos.	1	\$ 2.81	\$ 11.24	0.5	2	\$60.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 62.50	\$171.26
3	Red eléctrica insuficiente.	0.5	\$ 2.81	\$ 11.24	0.5	2	\$60.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 62.50	\$ 48.76
1	Operando en ambiente contaminado.	1	\$ 1.41	\$ 16.86	0.5	4	\$60.00	\$ 362.00	\$ -	\$ 301.00	\$524.14
2	El cambio de grasa no se realizó dentro del intervalo recomendado.	2	\$ 5.62	\$ 22.48	1	4	\$60.00	\$ 502.00	\$ -	\$ 742.00	\$ 1,199.52
3	Uso de grasa inadecuada.	0.2	\$ 1.41	\$ 5.62	0.2	4	\$60.00	\$ 262.00	\$ -	\$ 100.40	\$ 42.38
4	Desalineado de eje.	2	\$ 2.81	\$ 33.72	0.3	16	\$60.00	\$ 905.00	\$ -	\$ 559.50	\$ 6,016.78
1	Desgaste de paredes y agujeros en cajón metálico.	6	\$ 1.41	\$ 16.86	3	8	\$60.00	\$ 240.00	\$ -	\$ 2,160.00	\$ 7,903.14
2	Desalineado de puerta principal.	2	\$ 1.41	\$ 16.86	1	8	\$60.00	\$ 85.00	\$ -	\$ 565.00	\$548.14
3	Desgaste de bolsas que atrapan el desecho de pintura.	2	\$ 6.00	\$ 72.00	1	4	\$60.00	\$ 14.00	\$ -	\$ 254.00	\$182.00

Tabla 34. AMEF - Sistema 5 (Shotblasting externo – falla funcional 6).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	5	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases Planta: Mantenimiento de cilindros.				Equipos:	Shotblasting externo						
				Facilitadores:	Danny G., Kelia O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
6		Sistema de manipulación de cilindros no se mueve.	1	Fugas de aire en el sistema.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Sistema de manipulación de cilindros no se mueve. Acción correctiva: Sellar fugas de aire.	4	\$60	\$5	\$0.00	\$490
			2	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Calentamiento del compresor. Acción correctiva: Recalcular la capacidad de demanda de la planta.	8	\$150	\$111	\$0.00	\$1,311
			3	Desperfectos en accesorios neumático.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Sistema de manipulación de cilindros no se mueve. Acción correctiva: Cambiar accesorio neumático dañado.	4	\$60	\$35	\$0.00	\$550

Sistema:			5	Plan de mantenimiento general			
Equipos:			Shotblasting ex				
Facilitadores:			Danny G., Kelia				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable	
1	Fugas de aire en el sistema.	2	Revisión de fugas de aire.	1. Encender sistemas de generación de aire comprimido y alimentar toda la red neumática a presión normal de trabajo. 2. Realizar recorrido por todo el sistema neumático utilizando un paño impregnado con solución jabonosa y verificar la existencia de fugas de aire. 3. Eliminar todas las fugas encontradas.	4	Departamento de mantenimiento	
2	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	Revisión de consumo de aire comprimido.	1. Revisar el consumos de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. 2. Si el consumo esta fuera del rango que puede suministrar el compresor, considerar el cambio de este o agregar otro compresor a la red.	1	Departamento de mantenimiento	
3	Desperfectos en accesorios neumático.	2	Revisión de accesorios neumáticos.	1. Alimentar con aire comprimido el sistema neumático del equipo y verificar la existencia de fugas de aire en los accesorios. 2. Eliminar todas las fugas encontradas y de ser necesario cambiar accesorios dañados.	4	Departamento de mantenimiento	

Sistema: 5 Equipos: Shotblasting ex Facilitadores: Danny G., Kelia			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento o propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto o SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Fugas de aire en el sistema.	2	\$ 1.41	\$ 5.62	1	2	\$60.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 125.00	\$359.38
2	Suministro de aire comprimido del compresor es más bajo de 100psi	1	\$ 64.00	\$ 64.00	0.5	8	\$150.00	\$ 111.00	\$ -	\$ 655.50	\$591.50
3	Desperfectos en accesorios neumático.	2	\$ 1.41	\$ 5.62	1	2	\$60.00	\$ 35.00	\$ -	\$ 155.00	\$389.38

Tabla 35. AMEF - Sistema 7 (Equipo de PH – falla funcional 1 y 2).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	7	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos:	Equipo de PH						
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores:	Danny G., Kelia O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
Controlar el proceso de generación de presión y comparar los valores iniciales y finales de las variables para determinar el estado físico de los cilindros metálicos.	1	Computadora no enciende.	1	Hardware dañado.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambiar fuente de voltaje.	24	\$100	\$508	\$0.00	\$291
			2	Cable de alimentación eléctrica desconectado o dañado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambiar cable de alimentación.	4	\$100	\$18	\$0.00	\$83.60
			3	Software dañado.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Reinstalar programas.	24	\$100	\$58	\$0.00	\$737.40
			4	Switch dañado	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambio de switch.	16	\$100	\$108	\$0.00	\$341.60
	2	PLC no realiza rutina programada.	1	No recibe alguna señal de entrada.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Programa del PLC no funciona correctamente. Acción correctiva: Cambiar elemento de entrada dañado.	16	\$100	\$358	\$0.00	\$587
			2	No recibe alguna señal de salida	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Programa del PLC no funciona correctamente. Acción correctiva: Cambiar elemento de salida dañado.	8	\$100	\$108	\$0.00	\$908
			3	Cable de alimentación eléctrica y cable de comunicación desconectado o dañado.	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambiar cable de alimentación.	4	\$100	\$18	\$0.00	\$84
			2	Elementos de entrada dañados.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Programa del PLC no funciona correctamente. Acción correctiva: Cambiar elemento de entrada dañado.	16	\$100	\$358	\$0.00	\$587
			2	Elementos de salida dañados.	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Programa del PLC no funciona correctamente. Acción correctiva: Cambiar elemento de salida dañado.	16	\$100	\$108	\$0.00	\$5,124
			4	Software dañado.	0.3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Reinstalar programas.	24	\$100	\$58	\$0.00	\$737

Sistema:		7	Plan de mantenimiento general			
Equipos:		Equipo de PH				
Facilitadores:		Danny G., Keli				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Hardware dañado.	0.1	Revisión del hardware.	1. Inspeccionar el estado de las partes que conforman software, de ser necesario hacer cambio de elementos o solicitar el cambio	4	Departamento de mantenimiento
2	Cable de alimentación eléctrica desconectado o dañado.	0.2	Revisión de cable de alimentación.	1. Inspeccionar el estado físico del cable de alimentación.	4	Departamento de mantenimiento
3	Software dañado.	0.3	Revisión de softwares.	1. Revisar funcionalidad de sistema operativo y software instalados. 2. Verificar licenciamiento de software.	2	Departamento de TIC
4	Switch dañado	0.2	Revisión de Switch	1. Revisar funcionalidad de sistema operativo y software instalados 2. Verificar estado de cables	4	Departamento de TIC
1	No recibe alguna señal de entrada.	0.3	Revisión de elementos de entrada.	1. Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada.	4	Departamento de mantenimiento
2	No recibe alguna señal de salida	1	Revisión de elementos de entrada.	1. Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada.	4	Departamento de mantenimiento
3	Cable de alimentación eléctrica y cable de comunicación desconectado o dañado.	0.2	Revisión de cable de alimentación y cable de comunicación.	1. Inspeccionar el estado físico del cable de alimentación y cable de comunicación.	4	Departamento de mantenimiento
2	Elementos de entrada dañados.	0.3	Revisión de elementos de salida.	1. Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada.	4	Departamento de mantenimiento
2	Elementos de salida dañados.	3	Revisión de elementos de salida.	1. Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de salida.	4	Departamento de mantenimiento
4	Software dañado.	0.3	Revisión de softwares.	1. Revisar funcionalidad de sistema operativo y software instalados. 2. Verificar licenciamiento de software.	4	Departamento de mantenimiento

Sistema: 7 Equipos: Equipo de PH Facilitadores: Danny G., Keli			Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial
1	Hardware dañado.	0.1	\$ 1.00	\$ 4.00	0.1	12	\$ 100.00	\$ 508.00	\$ -	\$ 170.80	\$ 116.00
2	Cable de alimentación eléctrica desconectado o dañado.	0.2	\$ 1.00	\$ 4.00	0.1	2	\$ 100.00	\$ 18.00	\$ -	\$ 21.80	\$ 57.80
3	Software dañado.	0.3	\$ 4.00	\$ 8.00	0.1	16	\$ 100.00	\$ 58.00	\$ -	\$ 165.80	\$ 563.60
4	Switch dañado	0.2	\$ 2.81	\$ 11.24	0.1	8	\$ 100.00	\$ 108.00	\$ -	\$ 90.80	\$ 239.56
1	No recibe alguna señal de entrada.	0.3	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	8	\$ 100.00	\$ 358.00	\$ -	\$ 579.00	\$ 2.78
2	No recibe alguna señal de salida	1	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	4	\$ 100.00	\$ 108.00	\$ -	\$ 254.00	\$ 648.38
3	Cable de alimentación eléctrica y cable de comunicación desconectado o dañado.	0.2	\$ 1.41	\$ 5.62	0.1	2	\$ 100.00	\$ 18.00	\$ -	\$ 21.80	\$ 56.18
2	Elementos de entrada dañados.	0.3	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	8	\$ 100.00	\$ 358.00	\$ -	\$ 579.00	\$ 2.78
2	Elementos de salida dañados.	3	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	4	\$ 100.00	\$ 108.00	\$ -	\$ 254.00	\$ 4,864.38
4	Software dañado.	0.3	\$ 4.00	\$ 16.00	0.1	16	\$ 100.00	\$ 58.00	\$ -	\$ 165.80	\$ 555.60

Tabla 36. AMEF - Sistema 7 (Bomba de PH – falla funcional 1).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	7	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos:	Bomba de PH						
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores:	Danny G., Kelia O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	1	Bomba no funciona	1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): La bomba no funciona. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	4	\$100	\$35	\$0.00	\$870
			2	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	4	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): la bomba no funciona. Acción correctiva: Eliminar fuga de aire	4	\$100	\$65	\$0.00	\$1,860
			3	Error de comunicación con elementos de entrada	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambio de elemento de entrada	8	\$100	\$105	\$0.00	\$905
			4	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Revisión del sistema de	4	\$100	\$35	\$0.00	\$435
			5	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Limpieza de válvula	4	100	55	\$0.00	\$455
			6	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambio de válvula dañada.	4	100	5	\$0.00	\$405
			7	Bomba no se activa al iniciar el proceso	3	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambio de kit de sellos a bomba	12	100	5	\$0.00	\$3,615
			8	Bomba no se activa al iniciar el proceso	4	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total del equipo. Acción correctiva: Cambio de kit de sellos a bomba	8	100	5	\$0.00	\$3,220

Sistema:		7	Plan de mantenimiento general			
Equipos:		Bomba de PH				
Facilitadores:		Danny G., Keli				
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	Inspección de tuberías de red neumática.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 2. Eliminar fugas detectadas.	4	Departamento de mantenimiento
2	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	4	Inspección de accesorios neumáticos.	1. Realizar inspección visual y auditiva en todos los accesorios neumáticos del equipo. 2. Eliminar fugas detectadas y si es necesario cambiar accesorio.	4	Departamento de mantenimiento
3	Error de comunicación con elementos de entrada	1	Revisión de elementos de entrada	1. Revisar funcionalidad de elementos de entrada	4	Departamento de mantenimiento
4	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	1. Inspección de la bomba. 2. Inspección de tuberías de red neumática.	1. Revisar funcionalidad de la bomba. 2. Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática. 3. Eliminar fugas detectadas.	12	Departamento de mantenimiento
5	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	Inspección de la bomba y elementos de entrada	1. Revisar funcionalidad de la bomba. 2. Mantener válvula en stock en el departamento	4	Departamento de mantenimiento
6	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	Inspección de la bomba y elementos de entrada	1. Revisar funcionalidad de la bomba. 2. Mantener válvula en stock en el departamento	4	Departamento de mantenimiento
7	Bomba no se activa al iniciar el proceso	3	Inspección de la bomba.	1. Revisar funcionalidad de la bomba. 2. Mantener bomba en stock armada con sellos 3. Numerar bombas para darle una buena rotación	2	Departamento de mantenimiento
8	Bomba no se activa al iniciar el proceso	4	Inspección de la bomba.	1. Revisar funcionalidad de la bomba. 2. Mantener bomba en stock armada con sellos 3. Numerar bombas para darle una buena rotación	4	Departamento de mantenimiento
			Cambio de bomba cada 4 meses.	1. Realizar cambio de bomba	3	Departamento de mantenimiento

Sistema:		7	Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC									
Equipos:		Bomba de PH										
Facilitadores:		Danny G., Keli										
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento o propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial	
1	Fuga de aire en la red neumática.	2	\$ 1.00	\$ 4.00	1	2	\$ 100.00	\$ 35.00	\$ -	\$ 235.00	\$ 631.00	
2	Fuga de aire en accesorios neumáticos.	4	\$ 1.00	\$ 4.00	1	2	\$ 100.00	\$ 65.00	\$ -	\$ 265.00	\$ 1,591.00	
3	Error de comunicación con elementos de entrada	1	\$ 1.00	\$ 4.00	0.5	4	\$ 100.00	\$ 105.00	\$ -	\$ 252.50	\$ 648.50	
4	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	\$ 1.41	\$ 16.86	0.5	3	\$ 100.00	\$ 35.00	\$ -	\$ 167.50	\$ 250.64	
5	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	\$ 1.00	\$ 4.00	1	3	\$ 100.00	\$ 55.00	\$ -	\$ 355.00	\$ 96.00	
6	Bomba no se activa al iniciar el proceso	1	\$ 1.00	\$ 4.00	1	2	\$ 100.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 205.00	\$ 196.00	
7	Bomba no se activa al iniciar el proceso	3	\$ 2.00	\$ 4.00	1	3	\$ 100.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 305.00	\$ 3,306.00	
8	Bomba no se activa al iniciar el proceso	4	\$ 2.00	\$ 8.00	3	8	\$ 100.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 2,415.00	\$ 797.00	
			\$ 2.00	\$ 6.00	0.5	3	\$ 100.00	\$ 5.00	\$ -	\$ 152.50	-\$ 158.50	

Tabla 37. AMEF - Sistema 7 (Bomba de PH – falla funcional 2).

HOJA DE REGISTRO MCC				Sistema:	7	Tiempo de paro por reparación					
Organización: Empresa industrial de gases				Equipos:	Bomba de PH						
Planta: Mantenimiento de cilindros.				Facilitadores:	Danny G., Kelia O. y Walter R.						
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Efecto de Falla	TPPR (horas)	Impacto Prod. (\$/hora)	Costos directos por falla (\$/falla)	Impacto SHA (\$/falla)	Riesgo (\$/año)
	2	Camisa dañada.	1	Agujeros en la camisa por corrosión.	0.1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Fugas en el equipo. Acción correctiva: Sellar agujeros.	160	\$100	2	\$0.00	\$1,600
			2	Puntos de fijación dañados	0.2	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Fugas en el equipo. Acción correctiva: Repara puntos de fijación.	8	\$100	55	\$0.00	\$171
			3	Disco de ruptura dañado	1	Evidente / No evidente: Si Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Paro total de equipo. Acción correctiva: Cambio disco de ruptura.	4	\$100	2	\$0.00	\$402

Sistema:			7	Plan de mantenimiento general					
Equipos:			Bomba de PH						
Facilitadores:			Danny G., Keli						
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Actividad de mantenimiento a ejecutar utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de mantenimiento a ejecutar	Frecuencia de aplicación por año	Responsable			
1	Agujeros en la camisa por corrosión.	0.1	Revisión interna y externa de camisa.	1. Inspeccionar el estado físico de la camisa 2. Realizar limpieza de la camisa	4	Departamento de mantenimiento			
2	Puntos de fijación dañados	0.2	Inspección puntos de fijación.	1. Revisar el estado físico de los puntos de fijación, de ser necesario 2. Reportar anomalías	4	Departamento de mantenimiento			
3	Disco de ruptura dañado	1	Revisión de disco de ruptura.	1. Inspeccionar el estado físico de los discos de ruptura, de ser necesario hacer ajustes en el elemento.	4	Departamento de mantenimiento			

Sistema:			7	Indicador de ahorro potencial esperado después de implantar el MCC								
Equipos:			Bomba de PH									
Facilitadores:			Danny G., Keli									
#	Modo de falla	Frecuencia de eventos por año (fallas/año)	Costos directos de la actividad de Mantenimiento o propuesta	Costos del plan Anual	Frecuencia esperada de eventos por año fallas/año	TPPR horas	Impacto. Prod. \$/hora	Costos directos por falla \$/falla	Impacto SHA \$/falla	Riesgo Futuro esperado \$/año	Ahorro potencial	
1	Agujeros en la camisa por corrosión.	0.1	\$ 5.62	\$ 22.48	0.1	80	\$ 100.00	\$ 2.00	\$ -	\$ 800.20	\$ 777.52	
2	Puntos de fijación dañados	0.2	\$ 1.41	\$ 5.62	0.2	4	\$ 100.00	\$ 55.00	\$ -	\$ 91.00	\$ 74.38	
3	Disco de ruptura dañado	1	\$ 1.41	\$ 5.62	0.5	2	\$ 100.00	\$ 2.00	\$ -	\$ 101.00	\$ 295.38	

Anexo 4. Procedimientos internos de mantenimiento de equipos.

Procedimiento de mantenimiento de equipo compresor horizontal.

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en componentes mecánicos y eléctricos, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria.

3. Responsabilidad

- Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.
- Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.
- Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Compresor horizontal: Equipo encargado de generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta, realiza su recorrido por medio de la tubería instalada hacia cada equipo de la planta de mantenimiento de cilindros a una presión de trabajo entre 100 a 120 psi.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.
- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Diariamente el operador enciende el equipo a las 6:00am y apaga el equipo a las 6:00pm
Al apagarlo asegúrese de drenar el equipo.

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento diario

- Drenar depósito del acumulador.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.

7.2. Mantenimiento mensual

- Revisar y limpiar filtro de aire.
- Revisar y drenar trampas de agua.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llene el depósito.

7.3. Mantenimiento trimestral

- Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.
- Revisar y limpiar filtro de aire.
- Inspeccionar sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.
- Revisar fugas de aceite.
- Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.
- Inspeccionar detalle el estado de desgaste de la faja.
- Realizar medición de la temperatura del motor y del área donde está ubicado, compare con valores establecidos por el fabricante.
- Realizar inspección visual de todo el cabezal, revisando fugas.
- Verificar control eléctrico e integridad de los cables de alimentación del motor.
- Inspeccionar y apretar conexiones eléctricas.
- Realizar medición de corriente.
- Realizar medición de presión de carga.

7.4. Mantenimiento semestral

- Realizar cambio de aceite SAE 40 ISO 150.
- Inspeccionar estado de desgaste de la faja, cambiar si es necesario.

7.5. Mantenimiento anual

- Realizar cambio de filtro de aire.
- Realizar cambio de faja.
- Realizar limpieza del ventilador.
- Revisar la instalación de red neumática del sistema.
- Cambiar componentes que sean necesarios reemplazar de acuerdo con la falla encontrada.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

Para el Coordinador de mantenimiento General anualmente

- Revisar el consumo de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. Calcular y dimensionar un nuevo compresor si fuese necesario.

8. Materiales, equipos y herramientas

- Medidor de temperatura (pirómetro).
- Aceite lubricante SAE 40 ISO 150.
- Faja.
- Filtro de aire.
- Empaques de válvulas.
- Rodamientos.
- Sellos de pistones.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de destornilladores.
- Wipe.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa

10. Coordinaciones

- Jefe de producción
- Coordinador de Mantenimiento General
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros
- Técnico de Mantenimiento

Procedimiento de mantenimiento de equipo compresor vertical

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en componentes mecánicos y eléctricos, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria.

3. Responsabilidad

Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.

Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.

Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Compresor vertical: Equipo encargado de generar aire comprimido y alimentar toda la red neumática de la planta, realiza su recorrido por medio de la tubería instalada hacia cada equipo de la planta de mantenimiento de cilindros a una presión de trabajo entre 100 a 120 psi.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.
- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Diariamente el operador enciende el equipo a las 6:00am y apaga el equipo a las 6:00pm
Al apagarlo asegúrese de drenar el equipo.

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento diario

- Drenar depósito del acumulador.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.

7.2. Mantenimiento mensual

- Revisar y limpiar filtro de aire.
- Revisar y drenar trampas de agua.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llene el depósito.

7.3. Mantenimiento trimestral

- Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verificar fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas detectadas.
- Revisar y limpiar filtro de aire.
- Inspeccionar sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.
- Revisar fugas de aceite.
- Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.
- Inspeccionar detalle el estado de desgaste de la faja.
- Realizar medición de la temperatura del motor y del área donde está ubicado, compare con valores establecidos por el fabricante.
- Realizar inspección visual de todo el cabezal, revisando fugas.
- Verificar control eléctrico e integridad de los cables de alimentación del motor.
- Inspeccionar y apretar conexiones eléctricas.
- Realizar medición de corriente.
- Realizar medición de presión de carga.

7.4. Mantenimiento semestral

- Realizar cambio de aceite SAE 40 ISO 150.
- Inspeccionar estado de desgaste de la faja, cambiar si es necesario.

7.5. Mantenimiento anual

- Realizar cambio de filtro de aire.
- Realizar cambio de faja.
- Realizar limpieza del ventilador.
- Revisar la instalación de red neumática del sistema.
- Cambiar componentes que sean necesarios reemplazar de acuerdo con la falla encontrada.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

Para el Coordinador de mantenimiento General anualmente

- Revisar el consumo de aire de los equipos conectados a la red y comparar con los datos de placa del equipo. Calcular y dimensionar un nuevo compresor si fuese necesario.

8. Materiales, equipos y herramientas

- Medidor de temperatura (pirómetro).
- Aceite lubricante SAE 40 ISO 150.
- Faja.
- Filtro de aire.
- Empaques de válvulas.
- Rodamientos.
- Sellos de pistones.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de destornilladores.
- Wipe.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa

10. Coordinaciones

- Jefe de producción
- Coordinador de Mantenimiento General
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros
- Técnico de Mantenimiento

Procedimiento de mantenimiento de equipo Desválvuladora automática de cilindros.

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en componentes mecánicos y eléctricos, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria.

3. Responsabilidad

Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.

Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.

Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Desválvuladora automática de cilindros 1: La máquina de alto giro está diseñada para proporcionar un medio rápido y eficiente para quitar e instalar válvulas para cilindros de gas comprimido con un suministro entre 100 a 120psi.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.

- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Diariamente el operador de mantenimiento de cilindros enciende los equipos, compresor horizontal y compresor vertical a las 6:00am y apaga los equipos a las 6:00pm.

Al apagar los compresores asegúrese de drenar el equipo

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento mensual

- Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verifique fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Eliminar fugas que se detecten.
- Revisar y drenar trampas de agua.

7.2. Mantenimiento trimestral

- Revisar el accionamiento de la válvula de control y válvula de accionamiento, para verificar el cambio de estado. Si las válvulas no cambian de estado, desarmar para despegar y lubricar elementos internos. Si después de esto no funciona, se deberá realizar el cambio de la válvula.
- Realizar inspección visual de toda la caja de control.
- Realizar inspección visual del cabezal y verificar el giro libre de las partes mecánicas.
- Revisar y limpiar filtro de aire.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite lubricante y de ser necesario llenar depósito.
- Revisar fugas de aceite.
- Revisar estado de las gomas de las mordazas y si es necesario hacer el cambio.
- Revisar estado del motor neumático y si existen fugas eliminar.
- Retirar grasa de la parte mecánica de movimiento y coloque grasa nueva.
- Revisar presión de aire de trabajo, esta debe estar entre 100 a 120 psi.

7.3. Mantenimiento anual

- Realizar cambio de filtro de aire.
- Cambiar componentes que sean necesarios reemplazar de acuerdo con la falla encontrada. Debe notificar al coordinador de mantenimiento si es posible realizar ese cambio.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

8. Materiales, equipos y herramientas

- Aceite lubricante.
- Grasa.
- Filtro de aire.
- Válvulas.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de destornilladores.
- Wipe.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa.

10. Coordinaciones

- Jefe de producción
- Coordinador de Mantenimiento General
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros
- Técnico de Mantenimiento

Procedimiento de mantenimiento de equipo Shotblasting Externo.

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en componentes mecánicos y eléctricos, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria y manteniendo en stock los repuestos más frecuentes de uso.

3. Responsabilidad

- Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.
- Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.
- Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Shotblasting externo: Equipo encargado de retirar la pintura de un envase metálico, por medio de propulsión de arenilla hacia el envase en rotación.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.

- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Diariamente el operador de mantenimiento de cilindros enciende los equipos, compresor horizontal y compresor vertical a las 6:00am y apaga los equipos a las 6:00pm

Al apagar los compresores asegúrese de drenar el equipo

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento semanal

- Revisar nivel de arenilla de acero del depósito y de ser necesario complementar hasta llegar a su nivel correcto.
- Revisar la tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.

7.2. Mantenimiento mensual

- Revisar lubricación de las partes mecánicas móviles y de ser necesario lubricarlas.
- Revisar tensión de la faja y de ser necesario tensar sistema de faja.
- Revisar alineación del eje. Reportar si no está alineado.

- Revisar desgaste de la chumacera. Reportar si presenta desgaste.
- Verificar el estado de los retenedores. Reportar si presenta desgaste.
- Inspeccionar la sujeción de las partes del equipo y de ser necesario hacer el reapriete de tornillería o ajustes necesarios.
- Revisar cajón metálico y sellar las perforaciones si existieran.
- Revisar soportes de puerta principal.
- Realizar cambio de todas las bolsas de tela para su lavado y detectar bolsas perforadas.

7.3. Mantenimiento trimestral

- Revisar estado de las aspas y de ser necesario hacer el reemplazo de las aspas dañadas.
- Retirar grasa de la parte mecánica de movimiento y coloque grasa nueva.
- Verificar estado de desgaste de la faja.
- Realizar inspección del sistema eléctrico, verifique la sujeción de los componentes y cables eléctricos, reapriete tornillería.
- Realizar mediciones de corriente del motor y verifique que se encuentra en los rangos permitidos.

7.4. Mantenimiento anual

- Realizar cambio de aspas.
- Realizar cambio de cojinete y sellos.
- Realizar cambio de platinas de aluminio.
- Revisar el estado de todos los ejes.
- Realizar cambio de faja.
- Cambiar componentes que sean necesarios reemplazar de acuerdo con la falla encontrada. Debe notificar al coordinador de mantenimiento si es posible realizar ese cambio.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

8. Materiales, equipos y herramientas

- 2 Eje #1.
- 4 Platina de aluminio para cojinete #1.
- 4 Cojinete #1.
- 4 Sellos FM N472179.
- 2 Eje #2.
- 4 Platina de aluminio para cojinete #2.
- 4 Cojinetes #2 KY UCF211-325.
- 4 Sellos FM N472492.
- 4 Aspas metálicas para eje #2.
- 10lb de arenilla.
- Aceite lubricante.
- Grasa.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de llaves ajustables
- Juego de destornilladores.
- Wipe.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa.

10. Coordinaciones

- Jefe de producción.
- Coordinador de Mantenimiento General.
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros.
- Técnico de Mantenimiento.

Procedimiento de mantenimiento de equipo de PH.

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria y manteniendo en stock los repuestos más frecuentes de uso.

3. Responsabilidad

- Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.
- Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.
- Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Equipo de PH: Sistema que mantiene comunicación entre PLC, computadora, bomba de alta presión y electroválvulas, los cuales se presurizan los envases hasta el punto de seteo establecido en el software de la computadora, cuantificando la expansión total del envase en el punto de seteo de presión y la expansión permanente al finalizar el proceso.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.
- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Diariamente el operador de mantenimiento de cilindros enciende los equipos, compresor horizontal y compresor vertical a las 6:00am y apaga los equipos a las 6:00pm. Al apagar los compresores asegúrese de drenar el equipo.

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento mensual

- Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verifique fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Elimine fugas que se detecten.
- Revisar y drenar trampas de agua.
- Lubricar bloque de electroválvulas.
- Revisar y verificar estado físico y funcional de unidad mantenimiento.
- Realizar inspección visual del nivel de aceite del lubricador y de ser necesario llene el depósito.

7.2. Mantenimiento trimestral

- Inspeccionar estado de partes que conforman hardware, si de ser necesario realizar cambio.
- Inspeccionar correcto funcionamiento de software, de ser necesario realizar actualización.
- Inspeccionar estado físico de los cables de alimentación.
- Verificar estado físico de mangueras hidráulicas.
- Inspeccionar el estado físico y funcionabilidad de los elementos de entrada y de salida.
- Revisar fugas de aceite.
- Revisar fugas de agua en la tubería.
- Verifique que la presión de aire de trabajo no sea menor de 100psi.

7.3. Mantenimiento anual

- Realizar cambio de filtro de aire.
- Cambie los componentes que sean necesarios reemplazar de acuerdo con la falla encontrada. Debe notificar al coordinador de mantenimiento si es posible realizar ese cambio.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

Para el Coordinador de mantenimiento semestralmente.

- Revise la funcionabilidad del sistema operativo y software instalados en la computadora del sistema.
- Verifique la licencia de software.

8. Materiales, equipos y herramientas

- Aceite lubricante.
- Filtro de aire.
- Regulador de 0 a 150psi de 1/2".
- Válvulas de 3 vías de 1/2".
- Válvulas de bola de 2 cuerpos de 1/2".
- Racores de 5mm.
- Manguera de 5mm.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de llaves ajustables
- Juego de destornilladores.
- Wipe.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa.

10. Coordinaciones

- Jefe de producción.
- Coordinador de Mantenimiento General.
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros.
- Técnico de Mantenimiento.

Procedimiento de mantenimiento de equipo Bomba de PH.

1. Objetivo

Realizar mantenimiento preventivo en bomba de PH, para asegurar las condiciones óptimas del equipo y mantenerlo en operación.

2. Alcance

Reducir fallas realizando un buen mantenimiento preventivo a la maquinaria y manteniendo en stock los repuestos más frecuentes de uso.

3. Responsabilidad

- Gerente de Mantenimiento: Persona responsable de autorizar y verificar el cumplimiento de este procedimiento.
- Coordinador de Mantenimiento General: Persona encargada de supervisar/validar el cumplimiento de este procedimiento.
- Técnico de mantenimiento: Persona encargada de ejecutar este procedimiento.

4. Referencias

De acuerdo con manual del fabricante.

5. Definición

Bomba de PH: Bomba diseñada para suministrar presión al sistema de PH, comunicándose por medio de válvulas y electroválvulas en el sistema, presurizando los envases hasta el punto de seteo establecido en el software de la computadora, cuantificando la expansión total del envase en el punto de seteo de presión y la expansión permanente al finalizar el proceso.

6. Instrucción

a. El Coordinador de Mantenimiento General

- Coordina con el jefe de producción la programación del mantenimiento.
- Solicita con anticipación repuestos y materiales, de ser necesario provisiona en bodega.
- Lleva el control de los mantenimientos realizados.

b. El Técnico de mantenimiento

- Informa al encargado del área respectiva antes de iniciar el mantenimiento.
- Realiza el mantenimiento de acuerdo con la frecuencia correspondiente y rutina de aplicación, realiza el reporte correspondiente.

c. Personal de bodega

- Recibe requerimientos autorizados por el coordinador de mantenimiento y despacha.

7. Mantenimiento

Antes de iniciar cualquiera de los mantenimientos siguientes debe recordar lo siguiente:

- Revise el funcionamiento del equipo antes de iniciar.
- Realice limpieza general externa del equipo, retirando la suciedad.

7.1. Mantenimiento mensual

- Realizar inspección visual y auditiva en todo el trayecto de la red neumática y verifique fugas de aire en tuberías, uniones y accesorios. Elimine fugas que se detecten.
- Lubricar bomba de PH.
- Verificar el estado de bombas de PH en stock y de ser necesario armar con nuevo kit de sellos y numerarla.

7.2. Mantenimiento trimestral

- Inspeccionar el estado físico y funcionalidad de los elementos de entrada y de salida.
- Revisar fugas de agua en la tubería.
- Revisar fugas de agua en la bomba.

7.3. Mantenimiento cuatrimestral

- Realizar cambio de bomba de PH, previamente debe estar armada con nuevo kit de sellos.
- Realizar cambios de filtro de agua en la tubería de agua.

Al finalizar cualquiera de los mantenimientos anteriores debe recordar lo siguiente:

- Reportar todas las anomalías encontradas para su posterior reparación.
- Observe el funcionamiento del equipo después de realizado el mantenimiento para evitar un reclamo y asegurarse que todo quede operacional.

Para el Coordinador de mantenimiento cuatrimestralmente:

- Asegúrese de tener las bombas de PH en stock debidamente armadas con nuevo kit de sellos.
- Mantenga en stock en bodega el kit de sellos para la bomba de PH.

8. Materiales, equipos y herramientas

- Aceite lubricante.
- Kit de sellos.
- Bombas de PH en stock.
- Aceite lubricante.
- Juego de llaves fijas milimétricas.
- Juego de llaves fijas en pulgadas.
- Juego de llaves ajustables
- Juego de destornilladores.

9. Seguridad

- Según normas y políticas de seguridad de la empresa.

10. Coordinaciones

- Jefe de producción.
- Coordinador de Mantenimiento General.
- Encargado de Planta Mantenimiento de Cilindros.
- Técnico de Mantenimiento.