



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA Y TANQUES DE RESERVA DE LA EP EMAPAR
APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES:

FREDDY ANDRÉS PAREDES CARRILLO

DARÍO FERNANDO GUAMÁN LLANGA

Riobamba - Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA Y TANQUES DE RESERVA DE LA EP EMAPAR
APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTORES: FREDDY ANDRÉS PAREDES CARRILLO

DARÍO FERNANDO GUAMÁN LLANGA

DIRECTOR: Ing. SERGIO RAÚL VILLACRÉS PARRA. MSC

Riobamba - Ecuador

2021

©2021, Freddy Andrés Paredes Carrillo, Darío Fernando Guamán Llanga

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliografía del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Nosotros, FREDDY ANDRÉS PAREDES CARRILLO Y DARÍO FERNANDO GUAMÁN LLANGA, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de julio del 2021



Freddy Andrés Paredes Carrillo
CI: 060361559-1



Darío Fernando Guamán Llanga
CI: 060392140-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: proyecto técnico, **“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y TANQUES DE RESERVA DE LA EP EMAPAR APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**, realizado por los señores: **FREDDY ANDRÉS PAREDES CARRILLO Y DARÍO FERNANDO GUAMÁN LLANGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. José Antonio Granizo

2021-07-15

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra. Msc

2021-07-15

DIRECTOR DEL TRABAJO

DE TITULACIÓN

Ing. Cesar Marcelo Gallegos Londoño. Msc

2021-07-15

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Jorge y Germania, quienes me han brindado todo su apoyo, paciencia y amor incondicional. A mis abuelos Cesar y Amanda quienes han sido mi pilar fundamental en el trayecto de toda mi vida. A mi tío Edwin quien ha sido un segundo padre y me ha enseñado el amor a la música. A mis hermanos por siempre estar apoyándome en todo momento. A Mayra que me da su apoyo incondicional y ánimos para superarme día a día. A mis amigos y familiares quienes me han ayudado a crecer personal y profesionalmente.

Freddy Andrés Paredes Carrillo

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la fuerza, salud y ser mi guía en este camino para así cumplir uno de mis objetivos más anhelados.

A mis padres Fernando y Gladys, quienes han sido mi principal motivación y me han dado su apoyo incondicional para alcanzar este gran sueño, los quiero mucho. A mi hermano por estar siempre presente en esta etapa de mi vida. A mis amigos y familiares quienes han compartido experiencias y conocimientos para mi crecimiento personal y profesional.

Darío Fernando Guamán Llanga

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por brindarnos la sabiduría necesaria para culminar con éxito los objetivos planteados en nuestra trayectoria estudiantil, así como a nuestra familia por ser un soporte fundamental.

Nuestro profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la escuela de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, a todos los docentes quienes fortalecieron nuestros conocimientos, especialmente a los ingenieros Sergio Villacrés y César Gallegos quienes fueron una guía para culminar con nuestro trabajo de integración curricular, nuestro más sincero agradecimiento por su apoyo y paciencia.

Agradecemos a EP EMAPAR por abrirnos las puertas y permitirnos realizar nuestro trabajo de integración curricular, así también al personal técnico por su colaboración en la realización de nuestro trabajo.

Freddy Paredes

Darío Guamán

TABLA DE CONTENIDO

	Pg.
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Infraestructura principal del sistema de agua potable.....	5
2.2 Evaluación de la gestión de mantenimiento	5
2.2.1 <i>Criterios y subcriterios de la auditoría</i>	6
2.2.2 <i>Priorización de los criterios</i>	7
2.2.3 <i>Descripción del instrumento de evaluación</i>	7
2.3 Generalidades de mantenimiento.....	9
2.4 Inventario y codificación de equipos.....	10
2.4.1 <i>Inventario Técnico</i>	10
2.4.2 <i>Codificación</i>	11
2.4.3 <i>Ficha técnica</i>	12
2.5 Análisis de criticidad.....	12
2.6 Modelos de mantenimiento.....	14
2.7 Selección del modelo de mantenimiento	14
2.8 Metodología RCM abreviado	16
2.8.1 <i>Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos</i>	16
2.8.1.1 <i>Falla Funcional</i>	16

2.8.1.2	<i>Fallo Técnico</i>	16
2.8.2	<i>Determinación de modos de fallos</i>	16
2.8.3	<i>Clasificación de los modos de fallos</i>	17
2.8.4	<i>Determinación de tareas de mantenimiento</i>	17
2.8.5	<i>Determinación de las frecuencias de mantenimiento</i>	18
2.8.6	<i>Rutinas de mantenimiento</i>	20
2.8.7	<i>Rutas de mantenimiento</i>	20
2.9	Logística de mantenimiento	20
2.9.1	<i>Mano de obra</i>	21
2.9.2	<i>Repuestos y materiales</i>	21
2.9.3	<i>Herramientas y equipos</i>	21
2.9.4	<i>Procedimientos</i>	22
2.9.5	<i>Manuales técnicos y planos</i>	22
2.10	Plan de mantenimiento	23
2.10.1	<i>Cronograma de mantenimiento</i>	23
2.11	Documentos de mantenimiento	24
2.11.1	<i>Solicitud de trabajo</i>	24
2.11.2	<i>Orden de trabajo</i>	25
2.11.3	<i>Requisición de materiales</i>	25
2.11.4	<i>Historial de mantenimiento</i>	25
2.12	Gestión de mantenimiento asistido por ordenador	26
2.12.1	<i>Ventajas de implementar el GMAO</i>	27
2.13	Capacitación al personal de mantenimiento	27
2.13.1	<i>Capacitación presencial</i>	27
 CAPÍTULO III		
3	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1	Evaluación de la gestión de mantenimiento de la EP EMAPAR	28
3.1.1	<i>Herramienta de evaluación</i>	28
3.2	Diseño del plan de mantenimiento basado en RCM abreviado	31
3.2.1	<i>Identificación de las áreas</i>	31
3.2.1.1	<i>Área pozos (sistemas de captación)</i>	31
3.2.1.2	<i>Área redes (tanques de reserva y planta de tratamiento)</i>	31
3.2.2	<i>Inventario técnico y niveles jerárquicos de máquinas y equipos</i>	32
3.2.2.1	<i>Nivel 1: Planta</i>	32
3.2.2.2	<i>Nivel 2: Área</i>	32
3.2.2.3	<i>Nivel 3: Sistemas</i>	32

3.2.2.4	<i>Nivel 4: Equipos.....</i>	33
3.2.3	Codificación de equipos	34
3.2.3.1	<i>Nivel 1.....</i>	34
3.2.3.2	<i>Nivel 2.....</i>	34
3.2.3.3	<i>Nivel 3.....</i>	35
3.2.3.4	<i>Nivel 4.....</i>	36
3.2.4	Fichas Técnicas.....	37
3.2.5	Determinación de la criticidad de los equipos de la EP EMAPAR.....	38
3.2.6	Selección del modelo de mantenimiento.....	38
3.2.7	Aplicación de la metodología del RCM abreviado.....	41
3.2.7.1	<i>Determinación de fallas funcionales y técnicas</i>	41
3.2.7.2	<i>Determinación de los modos de fallo</i>	43
3.2.7.3	<i>Selección de tareas de mantenimiento</i>	44
3.2.7.4	<i>Determinación de frecuencias de mantenimiento.....</i>	45
3.2.7.5	<i>Determinación de la logística de mantenimiento</i>	46
3.2.7.6	<i>Agrupación de tareas de mantenimiento en rutinas de mantenimiento</i>	47
3.2.8	Procedimiento de mantenimiento aplicado a un equipo de pozos y redes.....	48
3.3	Introducción al GMAO.....	49
3.3.1	<i>Ingreso al Software</i>	49
3.3.2	<i>Inicio de sesión.....</i>	50
3.3.3	<i>Estructura del software</i>	50
3.3.4	<i>Ingreso del inventario técnico al software.....</i>	51
3.3.5	<i>Cronograma de mantenimiento</i>	52
3.3.6	<i>Documentos de mantenimiento.....</i>	52
3.3.7	<i>Capacitación al personal.....</i>	53
 CAPÍTULO IV		
4	RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO	55
4.1	Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento	55
4.2	Resultados del análisis de criticidad realizado.....	55
4.3	Resultados del plan de mantenimiento	56
CONCLUSIONES.....		58
RECOMENDACIONES.....		59
 GLOSARIO		
 BIBLIOGRAFÍA		

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Criterios de auditoría de mantenimiento	7
Tabla 2-2: Pesos de los criterios.....	8
Tabla 3-2: Niveles de referencia	9
Tabla 4-2: Subcriterio políticas de mantenimiento.....	9
Tabla 5-2: Sistemas de codificación.....	11
Tabla 6-2: Ficha técnica de equipos	12
Tabla 7-2: Matriz de criticidad	13
Tabla 8-2: Modelos de mantenimiento.....	14
Tabla 9-2: Porcentaje de uso de un equipo.....	14
Tabla 10-2: Formas de actuación ante un fallo.....	17
Tabla 11-2: Tipos de tareas de mantenimiento.....	18
Tabla 12-2: Tareas de mantenimiento	19
Tabla 13-2: Criterios para la determinación de la frecuencia	19
Tabla 14-2: Mano de obra.....	21
Tabla 15-2: Ficha de repuestos y materiales	21
Tabla 17-2: Procedimientos de ejecución de mantenimiento	22
Tabla 18-2: Codificación de manuales técnicos y planos	23
Tabla 19-2: Formato de plan de mantenimiento.....	23
Tabla 21-2: Solicitud de trabajo	24
Tabla 22-2: Orden de trabajo	25
Tabla 23-2: Requisición de materiales	26

Tabla 24-2: Historial de mantenimiento.....	26
Tabla 1-3: Valores obtenidos de la ficha políticas de mantenimiento	28
Tabla 2-3: Valores obtenidos del nivel de desempeño de la Empresa Pública municipal de Agua y Alcantarillado de Riobamba	30
Tabla 3-3: Codificación a nivel de áreas de EP-EMAPAR	35
Tabla 4-3: Codificación de sistemas de EP-EMAPAR.....	35
Tabla 5-3: Codificación de equipos.....	36
Tabla 6-3: Ficha técnica de una bomba sumergible.....	37
Tabla 7-3: Ejemplo de análisis de criticidad de una bomba sumergible	38
Tabla 8-3: Análisis de criticidad de los sistemas de la EP-EMAPAR	39
Tabla 9-3: Modelo de mantenimiento para los sistemas del Pozo las Hierbas.....	41
Tabla 10-3: Fallos funcionales y técnicos del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	42
Tabla 11-3: Fallos técnicos y funcionales del sistema del tanque A de la Red el Recreo	42
Tabla 12-3: Modos de fallos de equipos del Pozo las Hierbas	43
Tabla 13-3: Modos de fallos de equipos de la Red el Recreo	43
Tabla 14-3: Tareas de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas	44
Tabla 15-3: Tareas de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo	44
Tabla 16-3: Frecuencias de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas.....	45
Tabla 17-3: Frecuencias de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo	45
Tabla 18-3: Logística de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas	46
Tabla 19-3: Logística de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo	47
Tabla 20-3: Rutina de mantenimiento de equipo del Pozo las Hierbas.....	48
Tabla 21-3: Rutina de mantenimiento de equipo de la Red el Recreo	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Niveles jerárquicos según la norma ISO 14224.....	10
Figura 2-2: Codificación de equipos	11
Figura 1-3: Ingreso usuario y contraseña	49
Figura 2-3: Ingreso personal a SisMAC.....	50
Figura 3-3: Vista Principal de SisMAC	51
Figura 4-3: Inventario ingresado al software.....	51
Figura 5-3: Cronograma de mantenimiento	52
Figura 6-3: Solicitud de trabajo de mantenimiento	52
Figura 7-3: Orden de trabajo de mantenimiento.....	53
Figura 8-3: Personal capacitado de EP EMAPAR	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Clasificación de la auditoría.....	6
Gráfico 2-2: Modelos de mantenimiento.....	15
Gráfico 1-3: Codificación propuesta para EP-EMAPAR	34
Gráfico 2-3: Modelo de mantenimiento de una bomba sumergible	40
Gráfico 1-4: Gráfico de resultados de la evaluación de mantenimiento	55
Gráfico 2-4: Gráfico de resultados del análisis de criticidad	56
Gráfico 3-4: Grafico de resultados del plan de mantenimiento	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Herramienta de evaluación

ANEXO B: Inventario y codificación

ANEXO C: Fichas Técnicas

ANEXO D: Análisis de criticidad

ANEXO E: Selección del modelo de mantenimiento

ANEXO F: Fallos y modos de fallos

ANEXO G: Tareas de mantenimiento, frecuencias, logística de mantenimiento y cantidad de personal

ANEXO H: Procedimiento de tareas de mantenimiento

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se elaboró un plan de mantenimiento para los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva de la EP EMAPAR aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad abreviado. El primer punto del presente trabajo fue realizar la evaluación de la gestión de mantenimiento mediante la metodología Delphi y AHP desarrollado en el “Modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicado al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo”, aplicada a la EP EMAPAR, donde se pudo encontrar diferentes puntos de mejora para alcanzar un mejor nivel de referencia en la gestión de mantenimiento. Como segundo punto, se procedió a elaborar el plan de mantenimiento, mediante un proceso que inicio con el levantamiento de la información, actualización del inventario y la codificación bajo los lineamientos de la norma ISO 14224, para posteriormente realizar el análisis de criticidad de los sistemas del agua potable utilizando el método cualitativo, donde se obtuvo que el 31% de sistemas son semi-críticos, y un 69% como sistemas críticos, lo cual es indispensable para seleccionar un modelo de mantenimiento adecuado. Posteriormente se aplicó la metodología del RCM abreviado obteniendo 1433 tareas con sus respectivas frecuencias y logística de mantenimiento para todos los sistemas. El siguiente paso fue el ingreso de la información al Gestor de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), el cual permitió el almacenamiento del plan de mantenimiento de manera ordenada y sistemática. Y finalmente se capacitó al personal de la EP EMAPAR sobre el plan de mantenimiento y el GMAO ayudando a mejorar la gestión del mantenimiento en EP EMAPAR, además, se recomienda implementar el plan de mantenimiento realizado en este trabajo de integración curricular.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>, <METODOLOGÍA RCM ABREVIADO>, <GESTIÓN DE MANTENIMIENTO>, <MANTENIMIENTO PREVENTIVO>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER
GERMAN RAMOS
UVIDIA**

1611-DBRA-UPT-2021

2021-08-23

SUMMARY

In this research work, a maintenance plan for the catchment, water treatment plant and reserve tanks systems of EP EMAPAR were developed applying the Reliability Centered Maintenance methodology abbreviated. The first point of this work was to perform the maintenance management evaluation using the Delphi methodology and AHP developed in the “Audit model to evaluate the maintenance management of physical assets based on international regulations applied to the study case: Unión Cementera Nacional (UCEM) Chimborazo plant”, applied to EP EMAPAR, in which was possible to find different points of improvement to reach a better level of reference in the management of maintenance. As a second point, the maintenance plan was drawn up, through a process that began by gathering information, updating the inventory and the coding under the guidelines of the ISO 14224 standard, to later perform the critically analysis of purified water systems using the qualitative method, where it was obtained that the 31% of systems are semi-critical and 69% are critical systems, which is essential to select a suitable maintenance model. Later, the abbreviated RCM methodology was applied obtaining 1433 tasks with their respective frequencies and maintenance logistics for all systems. The next step was registering the information the Computer Aided Maintenance Manager (GMAO), which allowed storing the maintenance plan in an orderly and systematic way. Finally, the staff of the EP EMAPAR was trained on the maintenance plan and the GMAO, helping to improve maintenance management in EP EMAPAR, in addition, it is recommended to implement the maintenance plan carried out in this curricular integration work.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES> <MAINTENANCE PLAN> <ABBREVIATED RCM METHODOLOGY> <MAINTENANCE MANAGEMENT> <PREVENTIVE MAINTENANCE>.

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento fundamental para la subsistencia del ser humano, por este motivo desde la antigüedad el ser humano ha buscado métodos o técnicas de captación, tratamiento y reserva del agua los mismo que con el pasar de los años se han ido modernizando hasta contar con sistemas de captación de alta tecnología, plantas de tratamiento de agua apropiados y tanques de reserva adecuados para el almacenamiento del líquido vital, cada uno de los elementos que conforman los sistemas antes mencionados necesitan de un correcto mantenimiento .

La Empresa Municipal de Agua Potable de la ciudad de Riobamba es la encargada de la distribución del líquido vital a alrededor de 250.000 personas que habitan esta urbe. El mantenimiento de sus sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva es fundamental para la prestación de un servicio de calidad.

El tipo de mantenimiento que en su gran mayoría se aplica en los sistemas de EP EMAPAR es mantenimiento correctivo, la elaboración del plan de mantenimiento preventivo para los sistemas de captación, planta de tratamiento y tanques de reserva tiene como principal objetivo disminuir la cantidad de mantenimiento correctivo y además contribuir al desarrollo de técnicas de mantenimiento apropiadas dentro de la institución.

Una correcta implementación de una herramienta informática contribuye a una mejor gestión del mantenimiento dentro de la empresa ayudando a ingresar la información del plan de mantenimiento de forma ordenada para una adecuada programación y planificación del mantenimiento.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba (EP EMAPAR) es una empresa creada el 24 de septiembre del 2004 su principal competencia es dotar de agua potable y alcantarillado a la población del Cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo.

Además, la empresa se encarga de guiar, planificar, bosquejar, edificar, operar y mantener los sistemas para producción, regulación, distribución y comercialización de agua potable. Así mismo EP EMAPAR trata de contribuir en la protección del entorno ecológico y el mantenimiento de las fuentes hídricas que abastece de agua a la ciudad de Riobamba.

En abril EP EMAPAR, contrata los estudios de los planes maestros donde se la autoriza realizar los diseños definitivos del proyecto “Sistema de agua potable para la ciudad de Riobamba” que cuenta con: sistemas de captación de agua cruda, planta de tratamiento y reservas. Los sistemas de captación cumplen la función de captar 500 l/s de agua. La planta de tratamiento de agua está diseñada para recibir 500 l/s de agua aquí se tendrán los tiempos mínimos de retención para cumplir con todos los pasos para un tratamiento adecuado del agua, además las reservas cuentan con una capacidad de reserva de 2.000 metros cúbicos.

Para evitar el deterioro de algunos equipos que se encuentran en los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva, es necesario una correcta planificación de su mantenimiento, que servirá de ayuda a la gestión del personal técnico.

1.2 Justificación

El proyecto está enfocado en la elaboración de un plan de mantenimiento para los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba utilizando la metodología de “Mantenimiento Centrado en la confiabilidad abreviado” para mejorar la gestión del

mantenimiento, aprovechando los recursos humanos, documentación y asesoría del personal de EP EMAPAR.

Los objetivos por realizar dentro del desarrollo del plan de mantenimiento basado en la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad abreviado, es aumentar la disponibilidad de los equipos, disminuir los costos y tiempos de respuesta.

Con la elaboración del trabajo se obtendrá un plan de mantenimiento que cumpla con cada uno de los objetivos mencionados, además, se plantea la implementación de un sistema de gestión GMAO ya que con su implementación se obtendrá un mejor aprovechamiento de los recursos y una mejora en la administración del mantenimiento.

1.3 Problema

El abastecimiento de agua potable es una de las principales preocupaciones de quienes habitan la ciudad de Riobamba, esta tarea la cumple EP EMAPAR, entidad que se ve obligada en tener una alta disponibilidad y confiabilidad de sus sistemas.

En el estudio realizado por Carlos Arévalo y Raúl Razo determinan que “La carencia del servicio de agua potable, los horarios irregulares de abastecimiento y las diferentes molestias de quienes reciben el servicio de agua potable por parte de la EP EMAPAR, generan inconvenientes a los usuarios especialmente en lo que corresponde a alimentación y aseo, actividades relacionadas con la salud de los habitantes de la ciudad de Riobamba”. El factor técnico es una de las causas que implica la carencia de servicio de agua potable incluso la indisponibilidad de activos impacta en la distribución de agua a la ciudad transformándose en un limitante para brindar un servicio de calidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento para los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva de la EP EMAPAR aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar la gestión de mantenimiento de los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

Elaborar un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad abreviado para los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva.

Ingresar la información obtenida al sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO).

Capacitar al personal sobre la gestión de mantenimiento y el uso del sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Infraestructura principal del sistema de agua potable

A nivel mundial las empresas que suministran agua han comprendido que el líquido vital debe ser de calidad. Por este motivo se construyen obras que permiten potabilizar y distribuir agua obteniendo así agua en la cantidad y calidad necesaria (CARE Y AVINA, 2012).

Los sistemas de agua potable en su gran mayoría están compuestos por: sistemas de captación, sistemas de bombeo, plantas de tratamiento y sistemas utilizados para el almacenamiento conocidos como tanques de reserva. La captación se puede realizar de aguas superficiales o aguas subterráneas. La extracción de agua subterráneas se la realiza mediante pozos, su objetivo es encontrar agua para luego con un sistema de bombeo proceder a la extracción del líquido vital. El sistema de bombeo tiene como finalidad extraer agua y la fuente de extracción debe estar ubicada en lugares estratégicos (AGUATUYA, 2012). El agua previamente obtenida pasa a la planta de tratamiento en donde se le dará un proceso adecuado y en muchos casos pasa directamente a las reservas o tanques de reserva. En la planta de tratamiento el agua recibe un proceso donde se llevan a cabo diferentes acciones para mejorar las características fisicoquímicas para su potabilización transformándola de esta manera en apta para el consumo humano. Luego del tratamiento el agua pasa a los tanques de reserva que suelen ser construidos en hormigón, es allí donde el agua se almacena para su futura distribución (CARE Y AVINA, 2012).

2.2 Evaluación de la gestión de mantenimiento

La evaluación de la gestión mantenimiento se realiza a una organización para establecer el grado de eficiencia y eficacia en la planificación, control y uso de los recursos con el objetivo de comprobar el uso racional de los mismos. El aporte de la evaluación de la gestión del mantenimiento beneficia fundamentalmente al desarrollo de la organización pues detalla las principales deficiencias permitiendo erradicarlas (ACOSTA, y otros, 2011).

La norma ISO 19011 define a auditoría o evaluación como un “proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva con

misión de determinar el grado en que se cumple cada uno de los criterios de auditoría (ISO 19011, 2018).

La base de la evaluación de la gestión se enmarca en términos de eficiencia y eficacia, además su aplicación está relacionada con la ecología y la equidad (DE ARMAS GARCÍA, 2008). La norma ISO 19011 clasifica a la auditoría como se muestra en la Gráfico 1-2.

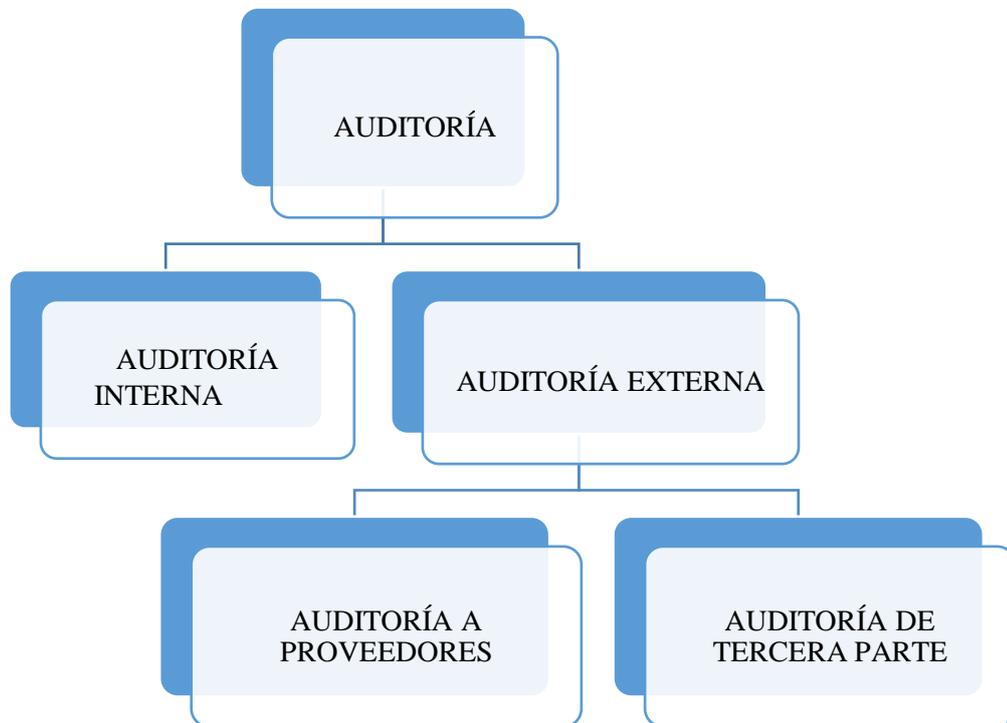


Gráfico 1-2: Clasificación de la auditoría

Fuente: (ISO 19011, 2018)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

El instrumento utilizado para realizar la auditoría a la gestión de mantenimiento fue desarrollado por (CHANG, 2019) en el trabajo de integración curricular “Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo” en el cual aplica las metodologías Delphi y AHP, para la obtención del instrumento de evaluación se aplica las siguientes etapas:

2.2.1 Criterios y subcriterios de la auditoría

El instrumento de evaluación está compuesto por diferentes criterios y subcriterios a tomar en consideración para su evaluación, cada uno tiene su propio código para una mejor identificación, como se muestra en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Criterios de auditoría de mantenimiento

Criterios de auditoría de mantenimiento			
Criterio	Código	Subcriterio	Código
Organización del mantenimiento	OM	Políticas de mantenimiento	OM1
		Organigrama	OM2
Recursos Humanos	RH	Proceso de selección de personal	RH1
		Formación profesional	RH2
		Capacitación y entrenamiento	RH3
Control de la gestión	CG	Presupuesto de mantenimiento	CG1
		Costos de mantenimiento	CG2
		Indicadores de mantenimiento	CG3
		Documentación técnica	CG4
Planificación y programación	PP	Inventario de bienes a mantener	PP1
		Plan implementado de mantenimiento preventivo	PP2
		Programación de actividades de mantenimiento	PP3
		Documentos de mantenimiento	PP4
		Análisis de criticidad basado en el riesgo	PP5
		Herramienta informática para la gestión de mantenimiento	PP6
Mantenimiento correctivo	MC	Documentación y análisis de fallas efectos y consecuencias	MC1
		Priorización de atención de fallas	MC2
Contratación externa del mantenimiento	CE	Elaboración de contratos de servicios externos	CE1
		Selección de contratistas	CE2
Manejo de inventario de bodega para mantenimiento	MI	Inventario valorado de ítems	MI1
		Gestión de stocks	MI2
		Manejo de sub-bodegas	MI3

Fuente: Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo (CHANG, 2019)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.2.2 *Priorización de los criterios*

Para determinar los pesos de los criterios y subcriterios Mariela Chang los determinó tomando opiniones de expertos en mantenimiento (CHANG, 2019). En la Tabla 2-2 se muestra los pesos de los criterios y subcriterios.

2.2.3 *Descripción del instrumento de evaluación*

El instrumento de evaluación permitirá evaluar la gestión del mantenimiento, este instrumento tiene para cada criterio y subcriterio su ficha de evaluación respectiva en la cual estarán

plasmadas los siguientes parámetros: criterio de evaluación, objetivo de cada criterio y subcriterio, niveles de referencia, exigencias del criterio, puntuación cuantitativa y valoración.

Tabla 2-2: Pesos de los criterios

Criterios		Peso	Subcriterios:		Pesos
OM	Organización del mantenimiento	21%	OM1	Políticas de mantenimiento	0,72
			OM2	Organigrama	0,28
RH	Recursos humanos de mantenimiento	17%	RH1	Proceso de selección de personal	0,23
			RH2	Formación de personal	0,32
			RH3	Capacitación y entrenamiento	0,45
CG	Control de la gestión	20%	CG1	Presupuesto de mantenimiento	0,23
			CG2	Costos de mantenimiento	0,18
			CG3	Indicadores de mantenimiento	0,30
			CG4	Documentación técnica	0,29
PP	Planificación y programación	18%	PP1	Inventario de bienes a mantener	0,13
			PP2	Plan implementado de mantenimiento preventivo	0,31
			PP3	Programación de actividades de mantenimiento	0,22
			PP4	Documentos de mantenimiento	0,10
			PP5	Análisis de criticidad basado en el riesgo	0,12
			PP6	Herramienta informática para la gestión de mantenimiento	0,12
MC	Mantenimiento correctivo	10%	MC1	Documentación y análisis de fallas efectos y consecuencias	0,67
			MC2	Priorización de atención de fallas	0,33
CE	Contratación externa del mantenimiento	6%	CE1	Elaboración de contrato de servicios externos	0,52
			CE2	Selección de contratistas	0,48
MI	Manejo de inventario para bodega de mantenimiento	8%	MI1	Inventario valorado y etiquetado de ítems	0,37
			MI2	Gestión de stocks	0,41
			MI3	Manejo de sub-bodegas	0,22

Fuente: Elaboración de un modelo de auditoria para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo (CHANG, 2019)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Existen niveles de referencia con su respectiva puntuación que se deben tomar en cuenta para una correcta calificación dentro de cada subcriterio, estos niveles son: deficiente, poco satisfactorio, cuasi satisfactorio, y satisfactorio. En la Tabla 3-2 se detalla cada uno de los niveles de referencia con su respectiva puntuación y su explicación.

En la Tabla 4-2, se observa un modelo de ficha del subcriterio políticas de mantenimiento perteneciente al criterio OM (Organización del mantenimiento).

Tabla 3-2: Niveles de referencia

Nivel de referencia	Puntuación	Explicación
Deficiente	0	Se asigna esta puntuación cuando la empresa no cumple con lo solicitado en el instrumento de evaluación.
Poco satisfactorio	0,35	Este nivel se asigna cuando existe evidencia del cumplimiento de cierta parte del subcriterio evaluado.
Cuasi Satisfactorio	0,70	Se asigna esta puntuación si existe cumplimiento de gran parte de la exigencia del subcriterio evaluado.
Satisfactorio	1	Se asigna esta puntuación cuando la organización tenga un cumplimiento total del subcriterio evaluado.

Fuente: Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo (CHANG, 2019)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 4-2: Subcriterio políticas de mantenimiento

Criterio de la evaluación	OM1:	Políticas de mantenimiento	
Objetivo	Establecer un compromiso por parte de todos los involucrados con la gestión del mantenimiento de activos físicos de la organización		
Niveles de referencia	Exigencias de criterio	Puntuación	Valoración
Deficiente	No se dispone de un documento con las políticas	0	
Poco satisfactorio	Documento con la política de mantenimiento	0,35	
Cuasi satisfactorio	Documento actualizado en los últimos 5 años	0,7	
Satisfactorio	Actas de reuniones para promulgar la política de mantenimiento dentro de la organización	1	

Fuente: “Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) planta Chimborazo” (CHANG, 2019)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.3 Generalidades de mantenimiento

En la actualidad el desarrollo del mantenimiento es una parte esencial en el campo industrial y está enfocado a disminuir costos, aumentar la disponibilidad y confiabilidad y sobre todo aumentar el periodo de vida útil de los activos (DÍAZ, y otros, 2016).

El mantenimiento considerado como una acción fundamental para el funcionamiento y durabilidad de los sistemas de agua, su adecuada planificación y ejecución, así como el trabajo en conjunto de las áreas técnicas y administrativas dan como resultado sostenibilidad de la organización asegurando calidad en el servicio (CARE Y AVINA, 2012).

En el servicio de agua potable, el mantenimiento al cual la norma UNE EN 13306 lo define como la “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizada durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida” (UNE-EN 13306, 2011), es importante debido a que

los equipos deben estar en óptimas condiciones de funcionamiento, el fallo de alguno afectaría a la producción y calidad de agua.

2.4 Inventario y codificación de equipos

El inventario es un paso fundamental para tener en cuenta, la norma UNE EN 13306 define al inventario como “Un registro de los elementos identificados individualmente junto con su ubicación” (UNE-EN 13306, 2011). El inventario permitirá identificar los equipos que están dentro del plan de mantenimiento de forma jerárquica

2.4.1 Inventario Técnico

El inventario técnico de equipos e infraestructura es un registro descriptivo en el que constan las principales características de los equipos, sobre el cual se basará la planificación, programación y control del mantenimiento. Para obtener un inventario debidamente estructurado se lo realizará de acuerdo con los lineamientos de la norma ISO 14224 en la cual existen nueve niveles que se muestran en la Figura 1-2.

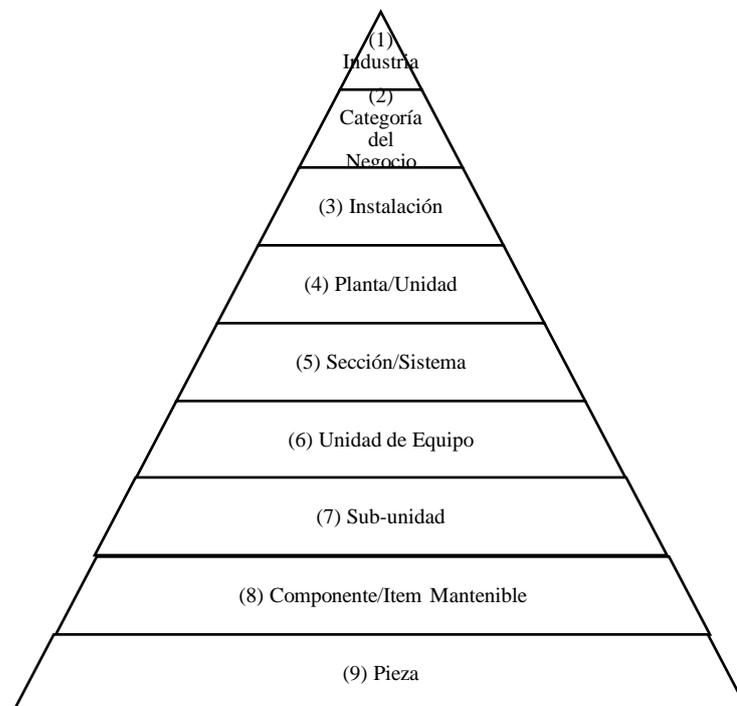


Figura 1-2: Niveles jerárquicos según la norma ISO 14224

Fuente: (ISO 14224, 2016)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

De los nueve niveles para el presente trabajo de integración curricular se tomará como referencia a los siguientes niveles: planta, área, sistema y equipo.

- **Planta:** es la empresa o institución donde se realizará el estudio, este nivel englobará los niveles industria, categoría de negocio e instalación.
- **Área o localización:** es el lugar específico en donde se encuentran los activos a mantener.
- **Sistema o máquina:** a este nivel le pertenecen todos las maquinas que están localizadas en cada área.
- **Equipo:** en este nivel se encuentran todos los equipos a mantener que componen los diferentes sistemas.

2.4.2 Codificación

Con el inventario técnico previamente realizado es importante elaborar la codificación, lo que significa dar a las máquinas y equipos una identificación, el código debe ser lo más simple posible el cual debe indicar la descripción del activo y su ubicación, lo cual permitirá una correcta gestión del mantenimiento. Hay dos formas de codificación que se detallan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Sistemas de codificación

Sistema de codificación	
Sistemas de codificación no significativos	Sistemas de codificación significativos
Se la realiza con la asignación de un número o un código correlativo, la desventaja de esta forma de codificación es que no aporta información adicional.	En este sistema de codificación se utilizan combinaciones numéricas, alfanuméricas o alfabéticas, se caracteriza por el amplio aporte de información.

Fuente: Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para las máquinas y equipos del área de cuidados intensivos, fisioterapia y ginecología del Hospital IESS Riobamba basado en la Organización mundial de la salud. (QUISHPE , y otros, 2019)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Para el presente trabajo, se utilizará un sistema de codificación significativo. La estructura de codificación tendrá un código único para cada nivel que lo identificará y ayudará a una correcta gestión de información. Ver Figura 2-2.

Planta/unidad	Sección/sistema	Equipo/unidad	Componente
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4

Figura 2-2: Codificación de equipos

Fuente: (ISO 14224, 2016)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

- 1. Planta:** se utilizará dos dígitos alfabéticos.
- 2. Áreas:** se utilizará cinco dígitos entre alfabéticos y numéricos.
- 3. Sistema:** constará de tres dígitos numéricos que indican el número de sistema.

4. Equipos: estará formado por 5 dígitos, primer dígito alfabético muestra la familia de equipo, los dos siguientes dígitos alfabéticos indican la clase de equipo y los dos siguientes dígitos numéricos muestra el número de equipo.

2.4.3 Ficha técnica

Una ficha técnica es un formulario el cual contiene los datos más sobresalientes de los equipos (GARCÍA GARRIDO , 2003). Para realizar la ficha técnica lo primero que se debe hacer es disponer del inventario técnico de todos los equipos que deberá ser extremadamente detallada. Una vez se cuente con el listado de todos los equipos se debe elaborar una ficha para cada uno de los activos

La elaboración de las fichas técnicas se realiza a todos los equipos pertenecientes a una organización. En la Tabla 6-2 se observa un modelo de ficha técnica.

Tabla 6-2: Ficha técnica de equipos

Ficha técnica para equipos:			
Fotografía			
Equipo		Código	
Ubicación		Año de fabricación	
Datos Técnicos:		Marca:	
Modelo:		Caudal:	
Etapas:		Altura:	
Criticidad:			
Observaciones:			

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.5 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad se utiliza para establecer una jerarquía entre los sistemas pertenecientes a una empresa, con el objetivo de aplicar el tipo de mantenimiento adecuado para una buena gestión de mantenimiento y así asignar los recursos como mano de obra, materiales, repuestos, herramientas más necesarias.

El método para utilizar en el análisis de criticidad de los sistemas pertenecientes al agua potable es el método cualitativo de (GARCÍA GARRIDO , 2003), donde se evaluará factores relacionados con la seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento.

Existen tres niveles de criticidad: crítico, semi-crítico y no crítico. Un sistema es crítico cuando su incorrecto funcionamiento afecta enormemente a los objetivos de la empresa. Sistemas con criticidad semi-crítico significa que su avería total o parcial afecta a la empresa, pero las consecuencias que podría ocasionar son asumibles y si la criticidad de un sistema resulta no crítica significa una menor incidencia en los objetivos que busca la empresa. En la Tabla 7-2 se muestra los factores que se evalúan para obtener la criticidad de un sistema con su respectivo nivel de criticidad.

Tabla 7-2: Matriz de criticidad

Análisis de Criticidad				
Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	Puede originar accidente muy grave	Su parada afecta a la producción	Es clave para la calidad del producto	Alto costo en reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales)		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos	Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y materiales)
B SEMI-CRÍTICO	Necesita revisiones periódicas (anuales)	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega afectar a clientes o al plan de producción)	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático	Coste medio en mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave pero las posibilidades son remotas			
C NO CRÍTICO	Poca influencia en la seguridad	Poca influencia en producción	No afecta a la calidad	Bajo coste de mantenimiento

Fuente: Organización y Gestión integral de Mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.6 Modelos de mantenimiento

Una vez obtenido el análisis de criticidad de todos los sistemas se procede con la selección del modelo de mantenimiento. Los modelos de mantenimiento se detallan en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2: Modelos de mantenimiento

Modelo	Descripción
Alta disponibilidad	Se da cuando el equipo necesita estar en funcionamiento la mayor parte del tiempo (90%). Este modelo es el más caro y completo en el cual no se incluye la reparación de averías porque se parte de la base de que estas averías no pueden surgir.
Sistemático	Si es un equipo del que precisamos una disponibilidad media. Se incluyen aquí aquellos equipos que no funcionan de manera continua pero que cuando lo hacen deben hacerlo con absoluta fiabilidad.
Condicional	A este tipo corresponde equipos cuya probabilidad de fallo es baja o bien la disponibilidad que se precisa es muy baja. Se realizarán determinadas pruebas funcionales o determinados ensayos y se actuará en caso de observar algo anormal en estas pruebas o ensayos.
Básico	Se utiliza en equipos cuyas fallas inciden en la producción y por lo general son activos de baja criticidad, este modelo abarca tareas como inspección, lubricación y trabajo al fallo.

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.7 Selección del modelo de mantenimiento

Para seleccionar el modelo de mantenimiento adecuado se parte del análisis de criticidad donde los sistemas pueden ser críticos, semi-críticos y no críticos.

En caso de obtener sistemas críticos, se selecciona entre los modelos programados los cuales son de alta disponibilidad (disponibilidad mayor al 90%), modelo sistemático (disponibilidad entre 40% y 90%) y el modelo condicional (disponibilidad menor al 40%) (GARCÍA GARRIDO , 2003). En la Tabla 9-2 se indica el porcentaje de uso general de un sistema:

Tabla 9-2: Porcentaje de uso de un equipo

Disponibilidad	%Uso de equipo
Alta disponibilidad	el equipo es usado más del 90%
Media disponibilidad	el equipo es usado entre 40% y 90%
Baja disponibilidad	el equipo es usado menos del 40%

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En caso de que los sistemas en su análisis de criticidad resulten semi-críticos se responderá a dos interrogantes ¿Valor hora de parada? y ¿Costo de reparación?, si el valor obtenido en estas dos preguntas es alto se redireccionara a los modelos programados siguiendo el análisis de los sistemas críticos, en caso de que el valor obtenido en las interrogantes sea bajo se seleccionara un modelo básico.

Si se obtienen sistemas con criticidad no críticos se ejecuta de forma directa un modelo de mantenimiento básico. En la Gráfico 2-2 se observa el flujograma que servirá para seleccionar el modelo de mantenimiento.

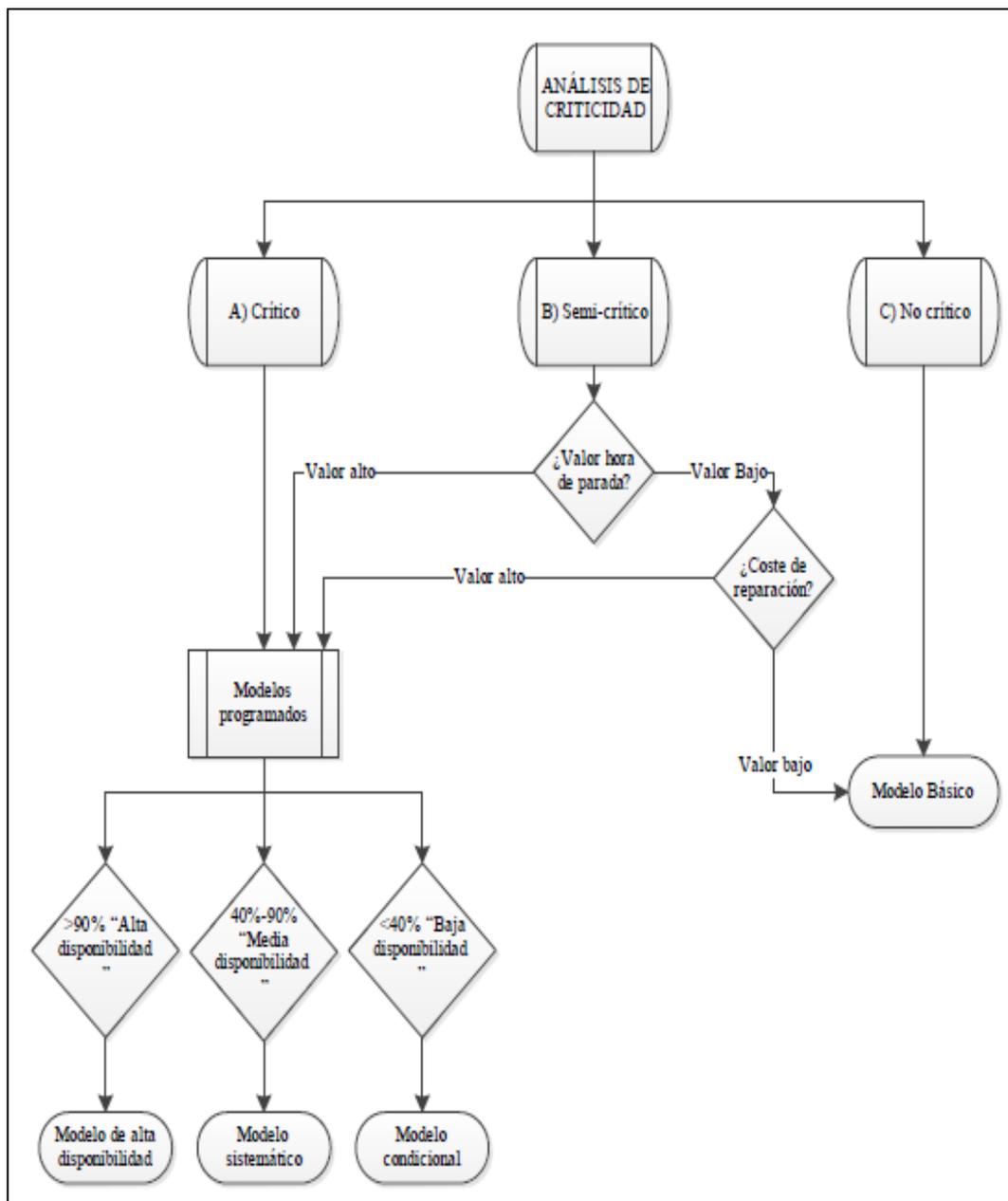


Gráfico 2-2: Modelos de mantenimiento

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003)

Realizado por: Guamán Darío Paredes Freddy, 2021

2.8 Metodología RCM abreviado

La metodología del RCM abreviado es muy utilizada para realizar planes de mantenimiento de forma rápida en comparación con el RCM de forma completa (MOUBRAY, 2004). El proceso del RCM consta de los siguientes puntos:

- Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos
- Determinación de modos de fallos y análisis de consecuencias del fallo
- Selección de tareas de mantenimiento
- Determinación de frecuencias de mantenimiento
- Determinación de logística de mantenimiento
- Agrupación de tareas en rutas y rutinas de mantenimiento

2.8.1 Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

2.8.1.1 Falla Funcional

“La falla funcional es el fallo total que impide al equipo cumplir con su función es por esta razón que se debe evitar la ocurrencia de este” (SAE JA1012, 2002). Además, el mantenimiento centrado en la confiabilidad abreviado utiliza el término falla funcional para describir estados de falla en lugar de simplemente falla

2.8.1.2 Fallo Técnico

El fallo técnico es aquel que, aunque no impida al equipo cumplir la función requerida supone un funcionamiento fuera de los parámetros establecidos del mismo (GARCÍA GARRIDO , 2003). Existen varias fuentes para determinar los fallos funcionales y técnicos, entre estas fuentes se menciona al histórico de averías, personal de mantenimiento y producción y documentos del equipo.

2.8.2 Determinación de modos de fallos

Una vez definidos los fallos funcionales y técnicos el próximo paso a seguir es identificar las causas que producen los fallos es decir los modos de fallos.

La norma UNE EN 13306 describe al modo de fallo como “La forma en que se produce la incapacidad de un equipo para realizar una función requerida” mientras que la SAE JA 1012 lo define como “Un evento único que provoca una falla funcional” (SAE JA1012, 2002), es decir un modo de fallo es la causa en la cual se produce un fallo.

2.8.3 Clasificación de los modos de fallos

Para la clasificación de los fallos es muy importante estudiar las consecuencias que pueden producir. Estas consecuencias darán un punto de partida para decidir si el fallo debe ser evitado o se debe buscar la forma de amortiguar sus posibles efectos. Existen dos categorías de clasificación de fallos: a evitar y a amortiguar (GARCÍA GARRIDO , 2003).

Existen diferentes formas de actuar ante un fallo, si se tienen equipos con modelo de mantenimiento de alta disponibilidad o modelo sistemático los fallos funcionales se deben evitar mientras que los fallos técnicos se deben amortiguar. Los fallos técnicos y funcionales se deben amortiguar siempre y cuando los equipos estén dentro de un modelo de mantenimiento condicional. En caso de que los equipos estén en un modelo de mantenimiento básico no es necesario realizar un análisis detallado. En la Tabla 10-2 se observa las formas de actuación ante un fallo.

Tabla 10-2: Formas de actuación ante un fallo

Formas de actuación ante un fallo	
Equipos con modelo de mantenimiento de alta disponibilidad	Fallos funcionales: a evitar
	Fallos técnicos: a amortiguar
Equipos con modelo de mantenimiento sistemático	Fallos funcionales: a evitar
	Fallos técnicos: a amortiguar
Equipos con modelos de mantenimiento condicional	Fallos funcionales: a amortiguar
	Fallos técnicos: a amortiguar
Equipos con modelo de mantenimiento básico	No se estudian

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.8.4 Determinación de tareas de mantenimiento

Son los trabajos que se pueden realizar con el único objetivo de evitar el fallo o minimizar sus efectos (GARCÍA GARRIDO , 2003). Son actividades que ejecutadas correctamente reducen las consecuencias de los fallos. En la Tabla 11-2 se observan los tipos de tareas de mantenimiento.

Tabla 11-2: Tipos de tareas de mantenimiento

Tipos de tareas de mantenimiento	
Tipo 1	Inspecciones visuales: estas actividades son rentables en el mantenimiento porque tienen un costo bajo en su ejecución.
Tipo 2	Lubricación: estas tareas tienen un bajo costo y muy son rentables
Tipo 3	Verificación de correcto funcionamiento: este tipo de tarea consiste en la toma de datos utilizando los propios medios del equipo.
Tipo 4	Verificación del correcto funcionamiento mediante instrumentos externos: con este tipo de tareas se determina si el equipo cumple con los estándares determinados para lo cual se utilizará instrumentos o herramientas especiales.
Tipo 5	Limpiézas técnicas condicionales: se realizan dependiendo el estado que se encuentra el activo a mantener
Tipo 6	Ajustes condicionales: se lo realiza cuando el equipo tiene síntomas de estar desajustado
Tipo 7	Limpiézas técnicas sistemas: se lo realiza cada cierta hora o cada cierto tiempo sin importar el estado del activo
Tipo 8	Ajustes sistemáticos: sin considerar si el equipo tiene síntomas de estar desajustado
Tipo 9	Sustitución sistemática de piezas: se lo realiza por horas de servicio o por echas calendario si comprobar su estado
Tipo 10	Grandes revisiones: consiste en la sustitución de todos los elementos desgastados.

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Una vez determinado el modelo de mantenimiento se selecciona que tareas son posibles. Si el modelo es básico serán posibles realizar tareas tipo 1 y 2 y en casos excepcionales tareas del tipo 3. Si el modelo es condicional es posible realizar tareas del tipo 1 hasta las del tipo 6. Si el modelo es sistemático será posible realizar tareas del tipo 7, 8 y 9 incluidas las del tipo 1 hasta las del tipo 6 y si el modelo es de alta disponibilidad será posible realizar todos los tipos de tareas.

En la Tabla 12-2 se observa los modelos de mantenimiento y las tareas que se pueden realizar en cada uno de los modelos.

2.8.5 Determinación de las frecuencias de mantenimiento

La frecuencia de mantenimiento es el número de veces que se va a realizar una tarea de mantenimiento durante un tiempo establecido.

Para la determinación de las frecuencias de mantenimiento existen criterios para la determinación de estas, estos criterios son: criterio contractual, criterio del fabricante, criterio analítico estadístico y el criterio basado en la experiencia (SEXTO, 2017). En la Tabla 13-2 se describe cada uno de estos criterios.

Tabla 12-2: Tareas de mantenimiento

Tipos de tareas de mantenimiento	Modelos de mantenimiento a los que se puede aplicar ese tipo de tarea			
	Básico	Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
1. Inspecciones visuales	Básico	Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
2. Tareas de lubricación	Básico	Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
3. Verificación de parámetros de funcionamiento	Básico	Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
4. Verificaciones predictivas <u>Verificaciones sencillas</u> Medición de temperatura Medición de vibraciones Medición de consumo de corriente <u>Medición con instrumentos complejos</u> Análisis de vibraciones Termografías Ultrasonidos Alineaciones		Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
5. Limpieza según la condición		Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
6. Ajustes condicionales		Condicional	Sistemático	Alta disponibilidad
7. Limpiezas sistemáticas			Sistemático	Alta disponibilidad
8. Ajustes sistemáticos			Sistemático	Alta disponibilidad
9. Sustitución sistemática de piezas			Sistemático	Alta disponibilidad
10. Grandes revisiones				Alta disponibilidad

Fuente: Organización y Gestión integral del Mantenimiento

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 13-2: Criterios para la determinación de la frecuencia

Determinación de la frecuencia	Descripción
Criterio contractual	Las frecuencias de mantenimiento por este criterio se determinan mediante la información que otorga las diferentes empresas encargadas de mantenimiento.
Criterio del fabricante	En este criterio para la determinación de las frecuencias de mantenimiento se utilizan frecuentemente los manuales que brindan los fabricantes. La principal desventaja de este criterio es que el fabricante no conoce el contexto operacional de los equipos.
Criterio analítico estadístico	En este criterio se utiliza la experiencia del historial de fallas combinado con las técnicas del análisis cualitativo de fallos (FMEA/FMECA, arboles de fallo, análisis causa raíz).
Criterio basado en la experiencia	Este criterio se basa en el dominio del contexto operacional del activo y ayuda a combatir los fallos inducidos por errores de operación y mantenimiento y garantiza que se respeten las exigencias ambientales y de seguridad.

Fuente: ¿Cómo determinar la frecuencia de mantenimiento? (SEXTO, 2017)

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Además, en las frecuencias de mantenimiento existen varios modos de ejecución que son:

- Por modo calendario las mismas que pueden ser diarias, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales.
- Por modo de operación
- Por unidades operadas que pueden ser kilómetros, horas, ciclos, etc.

2.8.6 Rutinas de mantenimiento

Las rutinas de mantenimiento son la agrupación de tareas de mantenimiento con el propósito de facilitar la ejecución del plan de mantenimiento (GARCÍA GARRIDO , 2003), Para la agrupación de las tareas de mantenimiento es importante tener cuenta los siguientes aspectos:

- Tareas referidas a la misma área
- Tareas referidas al mismo equipo
- Tareas que deben ser realizadas por profesionales de la misma especialidad
- Tareas agrupadas por frecuencias de realización

2.8.7 Rutas de mantenimiento

Las rutas de mantenimiento consisten en la asociación de rutinas de mantenimiento teniendo en cuenta la ubicación física y la criticidad del activo (YERBABUENA, y otros, 2019). Existen varias rutas y estas pueden ser diarias, semanales, mensuales y anuales.

2.9 Logística de mantenimiento

La logística de mantenimiento es la capacidad de una organización para suministrar la cantidad de recursos necesarios para realizar actividades referentes a mantenimiento con el fin de asegurar el cumplimiento de un servicio (GUILCAPI, 2019).

Los principales elementos de logística de mantenimiento son: mano de obra, repuestos y materiales, herramientas, procedimientos, manuales técnicos, planos, etc.

2.9.1 *Mano de obra*

Es la cantidad de personal necesario para la ejecución de cada una de las tareas de mantenimiento de acuerdo con su grado de conocimiento y su experiencia. La mano de obra debe ser personal calificado perteneciente a la empresa de agua potable. La Tabla 14-2 representa los parámetros de mano de obra.

Tabla 14-2: Mano de obra

Mano de obra			
Código	Especialidad	Numero de técnicos	Horas hombre

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.9.2 *Repuestos y materiales*

Los repuestos son piezas destinadas a sustituir elementos de un activo, estos debes ser determinados para cada una de las tareas de mantenimiento. Los materiales se caracterizan porque son usados en una sola intervención de mantenimiento y al igual que los repuestos deben ser determinados para cada una de las tareas de mantenimiento. Para una adecuada determinación de los recursos necesarios para las actividades de mantenimiento será necesario el trabajo en conjunto del personal de mantenimiento y el personal de bodega.

En la Tabla 15-2 se observa un modelo de ficha de repuestos y materiales para los equipos de los pozos, redes y planta de tratamiento.

Tabla 15-2: Ficha de repuestos y materiales

Repuestos y materiales					
Código	Descripción del material o repuesto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.9.3 *Herramientas y equipos*

Son instrumentos que ayudan a la realización de tareas de mantenimiento. Es importante disponer de la cantidad y variedad suficiente de herramientas para cada una de las actividades

de mantenimiento que se vayan a ejecutar. En la Tabla 16-2 se observa un ejemplo de una ficha de herramientas y equipos.

Tabla 16-2: Ficha de herramientas y equipos

Herramientas y equipos			
Código	Descripción de la herramienta	Cantidad	Unidad

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.9.4 Procedimientos

Es una descripción detallada de pasos a seguir para una correcta ejecución de una tarea de mantenimiento. Los procedimientos deben contener instrucciones de seguridad industrial, cuidados del medio ambiente y procedimientos de ejecución.

Los procedimientos se podrán presentar en archivos digitales, documentos impresos o en contenido audiovisual. En la Tabla 17-2 se observa un modelo para procedimientos de tareas de mantenimiento.

Tabla 16-2: Procedimientos de ejecución de mantenimiento

Procedimiento para la ejecución de tareas de mantenimiento		
N°	Tarea de mantenimiento	Procedimiento

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.9.5 Manuales técnicos y planos

Se debe entender que para la realización de las tareas de mantenimiento se debe tener información técnica (manuales, planos), la misma que debe estar organizada y codificada para la fácil ubicación para el personal técnico.

Los manuales técnicos ayudan al personal técnico en la ejecución adecuada de las actividades de mantenimiento, además pueden servir como una fuente de consulta para la realización de las actividades de mantenimiento.

Los planos detallan la ubicación de un activo los mismos que muestran detalles constructivos y especificaciones técnicas dentro de una planta. En la Tabla 18-2 se muestra un modelo de codificación de manuales y planos.

Tabla 17-2: Codificación de manuales técnicos y planos

Código	Departamento	Ubicación	Tipo	Descripción	Compañía	Idioma	No Páginas	Pertenece a

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.10 Plan de mantenimiento

La mayoría de los expertos en mantenimiento concuerdan que las actividades de mantenimiento deben ser planificadas, la principal herramienta que permite la planificación es el plan de mantenimiento (BONILLA, 2011).

El plan de mantenimiento según la UNE EN 13306 está definido como un “Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento” (UNE-EN 13306, 2011).

En la Tabla 19-2 se evidencia el formato del plan de mantenimiento basado en RCM abreviado el cual tendrá los siguientes parámetros: código de equipo, equipo, código de tarea de mantenimiento, tarea de mantenimiento, frecuencia, tiempo de ejecución y la logística de mantenimiento.

Tabla 18-2: Formato de plan de mantenimiento

Código del equipo	Equipo	Código de tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Tiempo de ejecución	Logística de mantenimiento				
						Mano de obra	Repuestos y materiales	Herramientas	Equipos de protección personal	Procedimiento

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.10.1 Cronograma de mantenimiento

El cronograma es una herramienta gráfica que sirve para gestionar las actividades de mantenimiento con fechas establecidas. En la Tabla 20-2 se muestra el modelo del cronograma de mantenimiento.

Tabla 20-2: Cronograma de mantenimiento

Equipo	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Mes											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.11 Documentos de mantenimiento

Se define documento como "soporte físico de información en forma específica" (UNE-EN 13460, 2009). Esta información puede ser de soporte digital o impreso y sirve para un control adecuado de las actividades de mantenimiento. Estos documentos pueden ser técnicos, administrativos, de gestión u otros. Los principales documentos de mantenimiento a tomar en cuenta son: solicitud de trabajo, orden de trabajo, solicitud de materiales y el historial de mantenimiento.

2.11.1 Solicitud de trabajo

Es un documento que generan los operarios encargados de los equipos y en estos se plasman las diferentes anomalías que se detectaron en los activos. La solicitud de trabajo va dirigida al departamento de mantenimiento para su posterior cumplimiento. En la Tabla 21-2 se observa un modelo de solicitud de trabajo.

Tabla 19-2: Solicitud de trabajo

EP-EMAPAR SOLICITUD DE TRABAJO			
Solicitud de trabajo N°		Código del equipo	
Nombre del solicitante		Descripción del equipo	
Fecha		Descripción del problema	
Prioridad	Urgente ()	Normal ()	Moderado ()
Observaciones			
Firma (Nombre)			

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.11.2 Orden de trabajo

La norma UNE-EN 13460 define a la orden de trabajo como un “documento que contienen toda la información relativa a una operación de mantenimiento y las referencias a otros documentos necesarios para llevar a cabo el trabajo de mantenimiento” (UNE-EN 13460, 2009). La orden de trabajo es el documento habilitante para realizar unan actividad de mantenimiento. En la Tabla 22-2 se observa los principales campos que contiene la orden de trabajo.

Tabla 20-2: Orden de trabajo

EP-EMAPAR						
ORDEN DE TRABAJO						
TÍTULO DE LA ORDEN DE TRABAJO						
Orden de trabajo N°		Código del equipo			Descripción del equipo	
Solicita		Ejecuta			Número de ST	
Fecha/hora inicio		Fecha/hora fin			Fecha de emisión OT	
Prioridad	Urgente ()	Normal ()	Moderado ()	Tipo de mantenimiento	Preventivo ()	Correctivo ()
Tareas de mantenimiento						
HH/Personal requerido				Materiales/repuestos		
Observaciones generales				Observaciones de seguridad		
Emite		Aprueba			Cierra	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.11.3 Requisición de materiales

La requisición de materiales es un “documento dirigido estrictamente a bodega para la entrega de materiales necesarios para la ejecución de una actividad de mantenimiento” (YERBABUENA, y otros, 2019). Además, este documento servirá para la actualización del maestro de bodega. En la Tabla 23-2 se muestra un modelo de solicitud de materiales.

2.11.4 Historial de mantenimiento

El historial de mantenimiento es un documento en el cual se agrupa la información referente a todos los trabajos de mantenimiento que han sido realizados en un equipo por el personal de mantenimiento. En la Tabla 24-2 se observa el modelo del historial de mantenimiento.

Tabla 21-2: Requisición de materiales

EP-EMAPAR REQUISICIÓN DE MATERIALES					
Requisición de materiales N°		N° de orden de trabajo		Fecha	
Despachado por		Recibido por		Hora	
Código del equipo		Descripción del equipo			
Área de destino					
Código del material	Descripción del material	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 22-2: Historial de mantenimiento

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO								
N° OT	Código equipo	Descripción de la tarea	Fecha de ejecución	Tipo de mantenimiento		Tiempo de parada	Horas hombre empleadas	Costo de orden de trabajo
				Preventivo	Correctivo			

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

2.12 Gestión de mantenimiento asistido por ordenador

La automatización de la planificación y programación del mantenimiento es importante para las organizaciones y empresas, por este motivo la implementación de un software para la gestión del mantenimiento asistido por ordenador es fundamental.

En el área de la gestión la aplicación de la computadora dentro de sus procesos se ha efectuado de forma lenta. “En el campo del mantenimiento la automatización de su gestión está en pleno auge esto surgió a partir de la década de los 90” (RODRÍGUEZ RAMÍREZ, 2003).

La gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) es una herramienta informática de apoyo la misma que se encarga de la gestión de servicios de mantenimiento de una empresa, puesto que contiene información relevante sobre el departamento de mantenimiento (SIGUENCIA, y otros, 2016). Un programa de gestión de mantenimiento sirve para gestionar la información de manera más rápida y así facilita que las tareas de mantenimiento se las realicen de forma adecuada y segura. Este sistema debe ser interactivo y de fácil uso para sus usuarios.

2.12.1 Ventajas de implementar el GMAO

A continuación, se detallan las ventajas de implementar un sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador definidos por (GUILCAPI, 2019).

- Actualización constante de datos
- Mejor control sobre las actividades de mantenimiento
- Mayor control sobre el plan de mantenimiento y sus tiempos de ejecución
- Fácil obtención de información de costos e indicadores

2.13 Capacitación al personal de mantenimiento

La fase de capacitación del personal debe estar enfocada a la gestión del mantenimiento y uso del GMAO, la etapa de capacitación es una parte esencial del trabajo de integración curricular.

Según Aguilar Alfonso define a capacitación como “actividad planeada y la vez basada en necesidades propias de una empresa con el objetivo de adquirir un amplio rango de conocimientos y habilidades que harán que los trabajadores tengan un rendimiento elevado en un área específica” (AGUILAR, 2006).

En el trabajo de integración curricular se utilizará el siguiente método de capacitación:

2.13.1 Capacitación presencial

La capacitación presencial es una modalidad de enseñanza donde se incorpora el uso de tecnología de comunicación e información y también la presencia de personal operativo de forma directa para el proceso de aprendizaje.

La capacitación se la realizará en las instalaciones de la EP EMAPAR mediante el uso de un aula interactiva donde se socializará el trabajo realizado entre los capacitadores con el personal, en la cual se pondrá a consideración temas relacionados con el uso del sistema de gestión asistido por ordenador (GMAO) y los principales documentos de mantenimiento, dirigida específicamente al personal de EP EMAPAR.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Evaluación de la gestión de mantenimiento de la EP EMAPAR

En el presente trabajo de integración curricular se evaluó la gestión del mantenimiento de EP EMAPAR. Este análisis se lo realizó a la Jefatura de producción el mismo que está encargado del mantenimiento de los pozos y redes de la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado de la Ciudad de Riobamba.

3.1.1 Herramienta de evaluación

Para evaluar la gestión del mantenimiento la herramienta utilizada consta de siete criterios principales, cada uno con sus respectivos subcriterios y estos a su vez cuentan con su ficha de evaluación de la gestión del mantenimiento como se indica en el ANEXO A. Una vez aplicado el instrumento de evaluación para la auditoría de la gestión del mantenimiento procedieron a llenar cada una de las fichas utilizadas, en la Tabla 1-3 se indica un ejemplo del llenado de la ficha de evaluación para el subcriterio OM1.

Tabla 1-3: Valores obtenidos de la ficha políticas de mantenimiento

Criterio de evaluación	OM1: Políticas de Mantenimiento		
Objetivo	Establecer un compromiso por parte de todos los involucrados con la gestión del mantenimiento de activos físicos de la organización		
Niveles de referencia	Exigencias del criterio	Puntuación	Valoración
Deficiente	No se dispone de un documento con las políticas	0	0
Poco Satisfactorio	Documento con la política de mantenimiento	0,35	0
Cuasi Satisfactorio	Documento actualizado en los últimos 5 años	0,7	0
Satisfactorio	Actas de reuniones para promulgar la política de mantenimiento dentro de la organización	1	0

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

El resto de las fichas de los 20 subcriterios evaluados se encuentran en el ANEXO A. Los datos obtenidos por medio de las fichas previamente llenadas se registran para la determinación del umbral de desempeño o nivel de desempeño diseñado en el trabajo de integración curricular de Mariela Chang, estos valores obtenidos se muestran en la Tabla 2-3.

En la Tabla 3-3 se observa la tabla de comparación con los valores de umbral de desempeño y los valores obtenidos en la auditoría de mantenimiento realizada a EP EMAPAR.

Tabla 3-3: Tabla de comparación de valores del umbral de desempeño y valores obtenidos

Tabla de comparación		
Niveles de referencia	Valores de umbral de desempeño	Valores obtenidos
Deficiente	0%	0%
Poco Satisfactorio	35%	18%
Cuasi Satisfactorio	70%	25%
Satisfactorio	100%	6%
Subtotal	205%	50%
Desempeño Obtenido		24%

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En la Tabla 4-3 se observa la tabla de resumen de evaluación la cual detalla el desempeño en porcentaje de cada uno de los parámetros evaluados con su respectivo valor.

Tabla 4-3: Tabla de resumen de evaluación de mantenimiento

Requerimiento	Nivel Exigido	Deficiente	Poco Satisfactorio	Casi Satisfactorio	Satisfactorio	Desempeño	Valoración Perdida
Organización del mantenimiento	21%	0	0	0	0	0%	21%
Recursos humanos de mantenimiento	17%	0	0,045815	0,03808	0	4%	13%
Control de la gestión	20%	0	0,049	0,0574	0,036	7%	13%
Planificación y programación	18%	0	0,02835	0,0567	0	4%	14%
Mantenimiento correctivo	10%	0	0,01155	0,0231	0	2%	8%
Contratación externa del mantenimiento	6%	0	0,021	0,042	0,0288	4%	2%
Manejo de inventario para mantenimiento	8%	0	0,028	0,03304	0	3%	5%
TOTAL	100%	0	18%	25%	6%	24%	76%

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 2-3: Valores obtenidos del nivel de desempeño de la Empresa Pública municipal de Agua y Alcantarillado de Riobamba

CRITERIOS	PESOS	SUBCRITERIOS	PESOS	NIVEL DE DESEMPEÑO											
				DEFICIENTE			POCO SATISFACTORIO			CASI SATISFACTORIO			SATISFACTORIO		
OM	21%	OM1	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		OM2	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUMA:				0		0		0		0		0			
RH	17%	RH1	0,23	0	0	0	0	0	0,045815	0	0	0,03808	0	0	0
		RH2	0,32	0	0		0,35	0,112		0,7	0,224		0	0	
		RH3	0,45	0	0		0,35	0,1575		0	0		0	0	
SUMA:				0		0,2695		0,224		0		0			
CG	20%	CG1	0,23	0	0	0	0,35	0,0805	0,049	0,7	0,161	0,0574	0	0	0,036
		CG2	0,18	0	0		0,35	0,063		0,7	0,126		1	0,18	
		CG3	0,3	0	0		0	0		0	0		0	0	
		CG4	0,29	0	0		0,35	0,1015		0	0		0	0	
SUMA:				0		0,245		0,287		0,18		0			
PP	18%	PP1	0,13	0	0	0	0,35	0,0455	0,02835	0,7	0,091	0,0567	0	0	0
		PP2	0,31	0	0		0	0		0	0		0		
		PP3	0,22	0	0		0,35	0,077		0,7	0,154		0	0	
		PP4	0,1	0	0		0,35	0,035		0,7	0,07		0	0	
		PP5	0,12	0	0		0	0		0	0		0	0	
		PP6	0,12	0	0		0	0		0	0		0	0	
SUMA:				0		0,1575		0,315		0		0			
MC	10%	MC1	0,67	0	0	0	0	0	0,01155	0	0	0,0231	0	0	0
		MC2	0,33	0	0		0,35	0,1155		0,7	0,231		0	0	
SUMA:				0		0,1155		0,231		0		0			
CE	6%	CE1	0,52	0	0	0	0,35	0,182	0,021	0,7	0,364	0,042	0	0	0,0288
		CE2	0,48	0	0		0,35	0,168		0,7	0,336		1	0,48	
SUMA:				0		0,35		0,7		0,48		0			
MI	8%	MI1	0,37	0	0	0	0,35	0,1295	0,028	0,7	0,259	0,03304	0	0	0
		MI2	0,41	0	0		0,35	0,1435		0	0		0	0	
		MI3	0,22	0	0		0,35	0,077		0,7	0,154		0	0	
SUMA:				0		0,35		0,413		0		0			
VALORES OBTENIDOS DEL NIVEL DE DESEMPEÑO (%)				0%			18%			25%			6%		

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2

3.2 Diseño del plan de mantenimiento basado en RCM abreviado

3.2.1 Identificación de las áreas

Para el trabajo de integración curricular se realizó el análisis de los equipos utilizados en la captación, planta de tratamiento y tanques de reserva, los mismos que se encuentran en las áreas identificadas como pozos y redes. Para la identificación del nombre de las áreas se realizó una previa investigación con el personal de EP EMAPAR, los mismos que facilitaron las designaciones y ubicaciones de estas.

3.2.1.1 Área pozos (sistemas de captación)

Es el área por medio del cual se extrae el agua subterránea. Existen una gran variedad de pozos en el cantón Riobamba y en su gran mayoría están compuestos por los siguientes sistemas principales:

- **Captación:** está formado por una columna vertical de tubería, la misma que está enterrada a una profundidad mínima de 50 metros bajo tierra, hasta una profundidad máxima de 240 metros.
- **Bombeo:** su principal elemento es una bomba sumergible con su respectivo motor eléctrico destinado a la extracción de agua, además cuenta con diferentes tuberías, válvulas y accesorios para la descarga y desfogue de agua.
- **Generación:** Su principal elemento es un generador eléctrico el mismo que abastece de energía eléctrica en caso de algún corte imprevisto de la misma.

3.2.1.2 Área redes (tanques de reserva y planta de tratamiento)

Se encarga del almacenamiento de agua en sus diferentes tanques de reserva, los mismos que tienen un volumen de reserva como mínimo de 100 m^3 y un almacenamiento máximo de 2500 m^3 .

Al igual que los pozos cuenta con una variedad de válvulas, tuberías y accesorios los mismos que sirven para el desfogue y distribución de agua a la población. También en el área redes se localiza la planta de tratamiento de la EP EMAPAR.

3.2.2 *Inventario técnico y niveles jerárquicos de máquinas y equipos*

La recopilación de la información se ha realizado en base a una inspección previa a las áreas antes mencionadas (pozos y redes) y a la información otorgada por parte del departamento de Ingeniería de la EP EMAPAR. Los niveles jerárquicos identificados se describen a continuación:

3.2.2.1 *Nivel 1: Planta*

En este nivel jerárquico indica la ubicación de la empresa de agua potable la cual es:

- **EP EMAPAR:** Empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado de Riobamba.

3.2.2.2 *Nivel 2: Área*

A este nivel le corresponden los pozos (sistemas de captación) y redes (tanques de reserva y planta de tratamiento) que fueron identificados las cuales se muestran en la Tabla 5-3 y en la Tabla 6-3.

3.2.2.3 *Nivel 3: Sistemas*

En este nivel se inventariaron todos los sistemas que se conforman cada una de las áreas antes detalladas. En la Tabla 7-3 se visualiza los sistemas encontrados en las áreas de pozos y redes.

Tabla 5-3: Pozos identificados en EP-EMAPAR

Pozos			
Ítem	Descripción	Ítem	Descripción
1	Pozo Llio #1	10	Pozo San Gabriel
2	Pozo Llio #2	11	Pozo Yaruquies
3	Pozo Llio #3	12	Pozo 24 de mayo
4	Pozo Llio #4	13	Pozo San Antonio de las Abras
5	Pozo Llio #5	14	Pozo Las Hierbas
6	Pozo Llio #6	15	Pozo Lazcano
7	Pozo Llio #7	16	Pozo Maldonado
8	Pozo La Huerta	17	Pozo 21 de abril
9	Pozo Servidores	18	Pozo los Ángeles
		19	Pozo Santa Anita

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 6-3: Redes identificados en la EP-EMAPAR

Redes			
Ítem	Descripción	Ítem	Descripción
1	Red el Carmen	5	Red Piscin
2	Red el Recreo	6	Red Saboya
3	Red el Tratamiento	7	Red San José de Tapi
4	Red Maldonado	8	Red Yaruquies

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 7-3: Sistemas de pozos y redes

Área	Nombre del área	Sistemas
Pozos	Pozo Las Hierbas	Sistema de captación
		Sistema de bombeo
		Sistema de generación
Redes	Red El Recreo	Sistema del tanque A
		Sistema del tanque B
		Sistema del tanque C

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Los sistemas restantes, se encuentran en el ANEXO B.

3.2.2.4 Nivel 4: Equipos

En este nivel se encuentran inventariados todos los equipos que conforman los sistemas antes mencionados, en la Tabla 8-3 se especifican los equipos que conforman los sistemas.

Tabla 8-3: Equipos inventariados en sistemas de pozos y redes

Área	Nombre área	Sistemas	Equipos
Pozos	Pozo Las Hierbas	Sistema de captación	Pozo del sistema de captación
		Sistema de bombeo	Bomba sumergible del sistema de bombeo
			Motor eléctrico del sistema de bombeo
			Tablero de control del sistema de bombeo
			Caudalímetro del sistema de bombeo
			Medidor de presión del sistema de bombeo
			Válvula de descarga del sistema de bombeo
Válvula de desfogue del sistema de bombeo			
Redes	El Recreo	Sistema del tanque A	Tanque A del sistema del tanque A
			Válvula de ingreso del sistema del tanque A
			Válvula de descarga del sistema del tanque A
			Válvula de desfogue del sistema del tanque A
			Medidor de nivel del sistema del tanque A

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En el ANEXO B, se encuentran los equipos restantes.

3.2.3 Codificación de equipos

Para realizar la codificación se debe tomar en cuenta el inventario técnico con cada uno de los niveles jerárquicos establecidos. Para la codificación de los equipos se ha utilizado la siguiente propuesta que se muestra en la Gráfico 1-3.

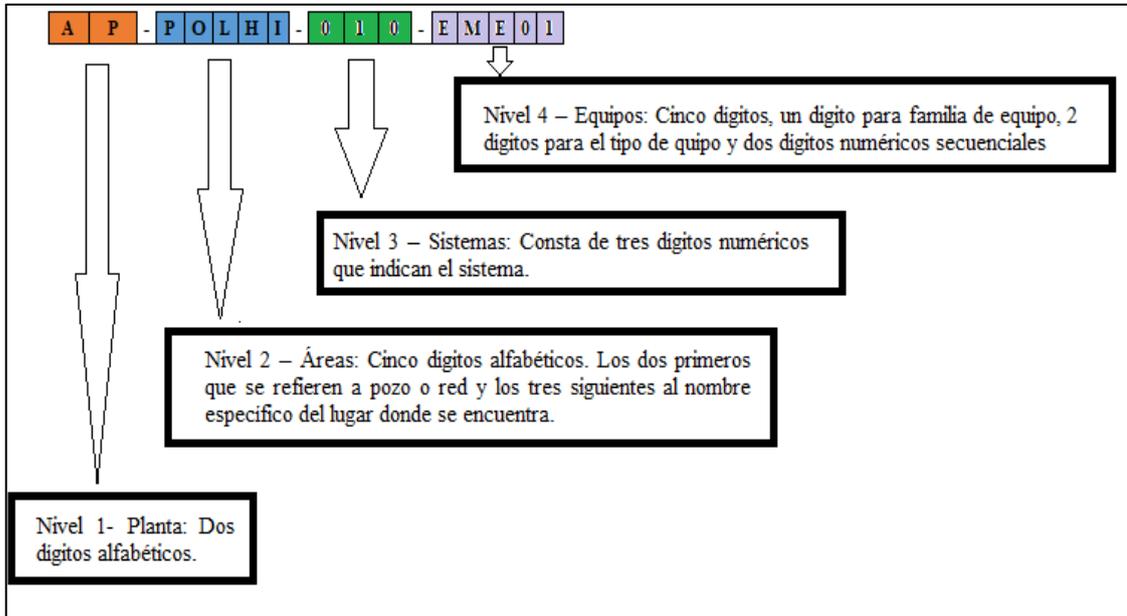


Gráfico 1-3: Codificación propuesta para EP-EMAPAR

Fuente: Autores

Realizado: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.2.3.1 Nivel 1

La codificación de este nivel consta de 2 dígitos alfabéticos que indican la planta la misma que es Agua Potable. En la Tabla 9-3 se indica la codificación a nivel de planta.

Tabla 9-3: Codificación a nivel de Planta

Nivel 1	Descripción
AP	AGUA POTABLE

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.2.3.2 Nivel 2

En este nivel nos permite identificar las áreas de EP EMAPAR donde los dos primeros dígitos indican si se trata de un pozo o una red y los tres siguientes dígitos muestran el nombre del pozo o red. En la Tabla 10-3 se visualiza la codificación utilizada para las áreas:

Tabla 10-3: Codificación a nivel de áreas de EP-EMAPAR

Código		
Nivel 1	Nivel 2	Descripción
AP	POYAR	POZO YARUQUIES
	POVCM	POZO VEINTE Y CUATRO DE MAYO
	POSAA	POZO SAN ANTONIO DE LAS ABRAS
	POLHI	POZO LAS HIERBAS
	POJLA	POZO LASCANO
	POMAL	POZO MALDONADO
	RDCAR	RED EL CARMEN
	RDREC	RED EL RECREO
	RDTRA	RED EL TRATAMIENTO
	RDMAL	RED MALDONADO
RDPIS	RED PISCIN	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

La codificación de las áreas restantes se encuentra en el ANEXO B.

3.2.3.3 Nivel 3

La codificación que se establece para este nivel consta de 3 dígitos numéricos que expresan el tipo de sistema que se encuentra en cada área. La Tabla 11-3 indica la codificación utilizada para los sistemas encontrados en las áreas de pozos y redes.

Tabla 11-3: Codificación de sistemas de EP-EMAPAR

Código			
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Descripción
AP	POLHI	005	SISTEMA DE CAPTACIÓN
		010	SISTEMA DE BOMBEO
		015	SISTEMA DE GENERACIÓN
	POJLA	005	SISTEMA DE CAPTACIÓN
		010	SISTEMA DE BOMBEO
		015	SISTEMA DE GENERACIÓN
	RDCAR	035	SISTEMA DEL TANQUE A
		040	SISTEMA DEL TANQUE B
	RDREC	035	SISTEMA DEL TANQUE A
		040	SISTEMA DEL TANQUE B
		045	SISTEMA DEL TANQUE C

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En el ANEXO B, se encuentra la codificación de los sistemas restantes.

3.2.3.4 Nivel 4

La codificación utilizada a nivel de equipos consta de 3 dígitos alfabéticos y 2 dígitos numéricos, donde el primer dígito alfabético expresa la familia del equipo, los dos siguientes dígitos alfabéticos indican el tipo de equipo, y los dígitos numéricos indican el número de equipos existentes en el sistema.

En la Tabla 12-3 se muestra la codificación establecida para el nivel 4. La codificación de todos los equipos se encuentra en el ANEXO B.

Tabla 12-3: Codificación de equipos

Código					
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	
AP	POLHI	005	CPO01	Pozo del sistema de captación del Pozo Las Hierbas	
		010	MBB01	Bomba sumergible del sistema de bombeo	
			EME01	Motor eléctrico del sistema de bombeo	
			ETC01	Tablero de control del sistema de bombeo	
			ECM01	Caudalímetro del sistema de bombeo	
			IMP01	Medidor de presión del sistema de bombeo	
			MVA01	Válvula de descarga del sistema de bombeo	
			MVA02	Válvula de desfogue del sistema de bombeo	
			EMN01	Medidor de flujo electromagnético del sistema de bombeo	
		015	EGE01	Generador del sistema de generación	
			ETR01	Transformador del sistema de generación	
		RDREC	025	CTQ01	Tanque A del sistema del tanque A
				MVA01	Válvula de ingreso del sistema del tanque A
				MVA02	Válvula de descarga del sistema del tanque
	MVA03			Válvula de desfogue del sistema del tanque	
	IMN01			Medidor de nivel del sistema del tanque A	
	030		CTQ01	Tanque B del sistema del tanque B	
			MVA01	Válvula de ingreso del sistema del tanque B	
			MVA02	Válvula de descarga del sistema del tanque B	
			MVA03	Válvula de desfogue del sistema del tanque B	
			IMN01	Medidor de nivel del sistema del tanque B	
	035		CTQ01	Tanque C del sistema del tanque C	
			MVA01	Válvula de ingreso del sistema del tanque C	
			MVA02	Válvula de descarga del sistema del tanque C	
			MVA03	Válvula de desfogue del sistema del tanque	
			IMN01	Medidor de nivel del sistema del tanque C	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.2.4 Fichas Técnicas

Una ficha técnica es el documento que indica los datos técnicos más relevantes de un equipo. En la Tabla 13-3 se muestra un ejemplo de ficha técnica de un equipo perteneciente a una de las áreas de la EP EMAPAR:

Tabla 13-3: Ficha técnica de una bomba sumergible

Ficha técnica para equipos:			
Fotografía	 <p style="text-align: center;">Bomba sumergible del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas</p>		
Equipo	Bomba Sumergible	Código:	AP-POLHI-010-MBB01
Ubicación	Pozo Las Hierbas	Año de fabricación	S/N
Datos Técnicos:		Marca:	GRUNDFOS
Modelo:	SP 60-10	Caudal:	67 m ³ /h
Etapas:	10	Altura:	121 m
Criticidad:	Crítico		
Observaciones:			

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En la Tabla 14-3 y Tabla 15-3, se muestran ejemplos de fichas técnicas de migración que fueron realizadas en una hoja de Excel e importadas al GMAO.

Tabla 14-3: Fichas técnicas de migración de Bombas Electro sumergibles

BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES							
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	MODELO	ALTURA	CAUDAL	MARCA	ETAPAS
AP	POLHI	010	SP125-5	235	28,2	GRUNDFOS	5
	POLL1	010	SP215-1	54	37,2	GRUNDFOS	1
	POLL2	010	SP215-2	55	38,1	GRUNDFOS	1

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 15-3: Fichas técnicas de migración de Motores Electro sumergibles

MOTORES ELECTROSUMERGIBLES							
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	MARCA	POTENCIA (hp)	CORRIENTE (A)	VOLTAJE (V)	TIPO DE ARRANQUE
AP	POLL1	010	FRANKLIN ELECTRIC	40	110	230	VDF
AP	POLL2	010	FRANKLIN ELECTRIC	40	110	230	DELTA Y
AP	POLL3	010	FRANKLIN ELECTRIC	40	110	230	DELTA Y

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Las fichas técnicas del resto de equipos se muestran en el ANEXO C.

3.2.5 *Determinación de la criticidad de los equipos de la EP EMAPAR*

El análisis de criticidad fue realizado mediante el método cualitativo, el mismo que fue desarrollado por García.

Para determinar la criticidad de los equipos se realizan varias preguntas enfocadas a aspectos como: seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento, y así se define si el activo es crítico, importante o prescindible. En la Tabla 16-3 se muestra un ejemplo para la determinación de la criticidad aplicado a una bomba sumergible:

Hay que señalar para la determinación de la criticidad es suficiente que una de las respuestas a las interrogantes anteriores sea crítica para que todo el equipo tome esta criticidad. En el ejemplo anterior se determina la criticidad de una bomba sumergible la cual pertenece al sistema de bombeo del pozo Las Hierbas. El análisis de criticidad realizado para los sistemas pertenecientes a los pozos y redes se indica en la Tabla 17-3

3.2.6 *Selección del modelo de mantenimiento*

Una vez obtenido el análisis de criticidad se procedió a seleccionar el modelo de mantenimiento utilizando el flujograma de la Figura 2-2 del capítulo II.

Como ejemplo se realizó la selección del modelo de mantenimiento del sistema de bombeo del pozo Las Hierbas, este sistema se determinó como crítico con una disponibilidad mayor al 90%, además que el modelo de mantenimiento seleccionado es un modelo de alta disponibilidad.

Ver el Gráfico 2-3 en donde se detalla el flujograma para la selección del modelo de mantenimiento.

Tabla 16-3: Ejemplo de análisis de criticidad de una bomba sumergible

Categorías de criticidad	Criterios	Preguntas en base a la matriz de criticidad	Si	No
Crítico (A)	Seguridad y medio ambiente	¿Puede originar accidentes muy graves?		X
		¿Necesita revisiones frecuentes mensuales?		X
		¿Ha producido accidentes en el pasado?		X
	Producción	¿Su parada afecta el plan de producción?	X	
	Calidad	¿Es clave para la calidad de producto?	X	
		¿Es la causante de un alto porcentaje de rechazos?		X
Mantenimiento	¿Alto costo de reparación en caso de averías?	X		
	¿Averías muy frecuentes?		X	
	¿Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (Mano de obra y materiales)?	X		
Semi-crítico (B)	Seguridad y medio ambiente	¿Necesita revisiones periódicas anuales?	X	
		¿Puede ocasionar un accidente grave pero las posibilidades son remotas?	X	
	Producción	¿Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a producción)?		X
	Calidad	¿Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemática?		X
Mantenimiento	¿Coste medio en mantenimiento?		X	
No Crítico (C)	Seguridad y medio ambiente	¿Poca influencia en la seguridad?		X
		Producción	¿Poca influencia en producción?	
	Calidad	¿No afecta a la calidad?		X
	Mantenimiento	¿Bajo costo de mantenimiento?		X

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 17-3: Análisis de criticidad de los sistemas de la EP-EMAPAR

Análisis de criticidad	Seguridad y medio ambiente			Producción			Calidad			Mantenimiento			CRITICIDAD
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
POZO LAS HIERBAS													
SISTEMA POZO	X			X			X			X			Crítico
SISTEMA DE BOMBEO	X			X			X			X			Crítico
SISTEMA DE GENERACION		X			X			X			X		Importante
RED EL RECREO													
SISTEMA DEL TANQUE A		X			X			X			X		Importante
SISTEMA DEL TANQUE B		X			X			X			X		Importante
SISTEMA DEL TANQUE C		X			X			X			X		Importante

Fuentes: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

El análisis de criticidad de los sistemas restantes se encuentra en el ANEXO D.

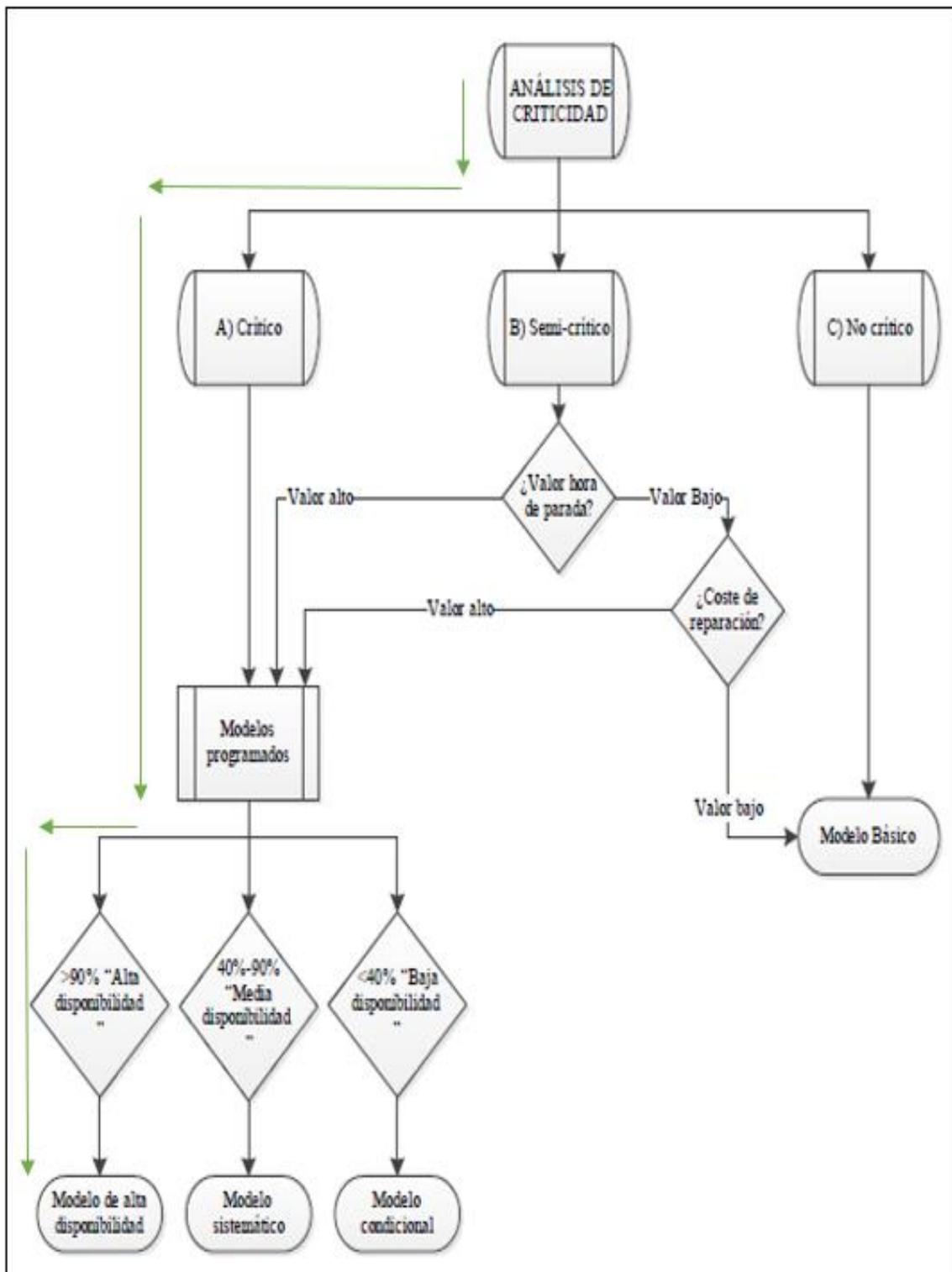


Gráfico 2-3: Modelo de mantenimiento de una bomba sumergible

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

A continuación, en la Tabla 18-3 se muestra el modelo de mantenimiento seleccionado para los sistemas del pozo Las Hierbas.

Tabla 18-3: Modelo de mantenimiento para los sistemas del Pozo las Hierbas

Selección del modelo de mantenimiento	Criticidad	Disponibilidad	Modelo de mantenimiento
Descripción			
POZO LAS HIERBAS			
SISTEMA POZO	Crítico	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DE BOMBEO	Crítico	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DE GENERACION	Importante	Baja	Condicional
POZO LAZCANO			
SISTEMA POZO	Crítico	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DE BOMBEO	Crítico	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DE GENERACIÓN	Importante	Baja	Condicional
RED EL CARMEN			
SISTEMA DEL TANQUE A	Importante	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DEL TANQUE B	Importante	Alta	Alta disponibilidad
RED EL RECREO			
SISTEMA DEL TANQUE A	Importante	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DEL TANQUE B	Importante	Alta	Alta disponibilidad
SISTEMA DEL TANQUE C	Importante	Alta	Alta disponibilidad

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

La selección del modelo de mantenimiento del resto de sistemas se encuentra en el ANEXO E,

3.2.7 Aplicación de la metodología del RCM abreviado

3.2.7.1 Determinación de fallas funcionales y técnicas

En los equipos de la EP EMAPAR que pertenecen a los pozos y redes es decir los sistemas de captación, planta de tratamiento y tanques de reserva, es necesario realizar una lista de fallos que pueden ser técnicos o funcionales. Esta lista de fallas de cada uno de los equipos es el primer proceso en la definición de tareas en el análisis del RCM abreviado, posteriormente se debe determinar los modos de falla de cada fallo registrado.

En la Tabla 19-3 y en la Tabla 20-3 se indica un ejemplo de fallos técnicos y funcionales del sistema de bombeo del pozo Las Hierbas y del sistema del tanque A de la Red el Recreo respectivamente.

Tabla 19-3: Fallos funcionales y técnicos del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas

AREA	EQUIPO	FALLO	TIPO DE FALLO
POZO LAS HIERBAS	Pozo del sistema Pozo las Hierbas	El caudal de agua reducido	Técnico
	Bomba sumergible del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	La bomba arranca, pero no bombea agua	Funcional
	Motor eléctrico del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	El motor no gira a la velocidad deseada	Funcional
		El motor no arranca	Funcional
		Contactores no se activan inmediatamente	Técnico
	Caudalímetro del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	Lectura de caudal baja	Funcional
		Flujo de caudal reducido	Funcional
	Medidor de presión del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	Lectura errónea de presión	Funcional
	Válvula de descarga del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	Fugas de agua	Técnico
		Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Funcional
		Desgaste externo de la válvula	Técnico
	Válvula de desfogue del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	Fugas de agua	Técnico
		Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Técnico
		Desgaste externo de la válvula	Técnico
	Visualizador de caudal del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	Lectura de caudal baja	Funcional
Pantalla no muestra lectura de caudal		Funcional	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 20-3: Fallos técnicos y funcionales del sistema del tanque A de la Red el Recreo

AREA	EQUIPO	FALLO	TIPO DE FALLO
RED EL RECREO	Tanque A del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico
	Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico
		Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Funcional
		Desgaste externo de la válvula	Técnico
	Válvula de descarga del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico
		Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Funcional
		Desgaste externo de la válvula	Técnico
	Válvula de desfogue del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico
		Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Funcional
		Desgaste externo de la válvula	Técnico
	Medidor de agua del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Señales mostradas erróneas	Funcional
Caja de breaker del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Cortocircuito en la caja de breaker	Funcional	
Medidor de nivel del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Señal transmitida débil	Funcional	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En el ANEXO F se encuentra la determinación de fallas de todos equipos.

3.2.7.2 Determinación de los modos de fallo

Un fallo puede ser producido por uno o varios modos de fallo, en la Tabla 21-3 y en la Tabla 22-3 se muestran un ejemplo de modos de fallo de equipos del Pozo las Hierbas y de la Red el Recreo, además se muestra la clasificación de los modos de fallo los cuales pueden ser a evitar o a amortiguar.

Tabla 21-3: Modos de fallos de equipos del Pozo las Hierbas

EQUIPO	FALLO	TIPO DE FALLO	MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN
Pozo del sistema Pozo las Hierbas	El caudal de agua reducido	Técnico	Incrustaciones en el pozo	A amortiguar
Motor eléctrico del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	El motor no gira a la velocidad deseada	Funcional	Calentamiento excesivo del motor	A evitar
		Funcional	Terminales mal conectados	A evitar
	El motor no arranca	Funcional	Aislamiento deteriorado o cable eléctrico aplastado	A evitar

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 22-3: Modos de fallos de equipos de la Red el Recreo

EQUIPO	FALLO	TIPO DE FALLO	MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN
Tanque A del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico	Presencia de fisuras y residuos en el interior del tanque	A amortiguar
Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo	Fugas de agua	Técnico	Empaques rotos	A amortiguar
			Flojo ajuste con tubería	A amortiguar
	Atascamiento del vástago de apertura y cierre	Funcional	Falta de lubricación del vástago	A evitar
	Desgaste externo de la válvula	Técnico	Válvula sucia	A amortiguar

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

La determinación de modos de fallos del resto de equipos se encuentra en el ANEXO F.

3.2.7.3 Selección de tareas de mantenimiento

El objetivo de las tareas de mantenimiento es reducir o eliminar los modos de falla, en las siguientes tablas se visualiza las tareas seleccionadas para los modos de fallo para los equipos del Pozo las Hierbas y la Red el Recreo, observar la Tabla 23-3 y la Tabla 24-3.

Tabla 23-3: Tareas de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas

MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN	CODIGO DE LA TAREA	TAREA DE MANTENIMIENTO
EQUIPO: Pozo del sistema Pozo las Hierbas			
MODELO DE MANTENIMIENTO: ALTA DISPONIBILIDAD			
Incrustaciones en el pozo	A amortiguar	T:C001	Inspección interior del pozo y verificación del estado de filtros
		T: D001	Limpieza interna del pozo mediante jetting
		T: D002	Cepillado interno del pozo
		T: D003	Desalojo de sedimentos mediante aire a presión
		T: D004	Limpieza de tubería de descarga
		T: D005	Prueba de funcionamiento del pozo
EQUIPO: Motor eléctrico del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas			
MODELO DE MANTENIMIENTO: ALTA DISPONIBILIDAD			
Calentamiento excesivo del motor	A evitar	T:C008	Medición de resistencia en los devanados del motor
Terminales mal conectados		T:C009	Medición del voltaje en los terminales del motor
Aislamiento deteriorado o cable eléctrico aplastado		T: B006	Inspección del estado del cable eléctrico que conecta al motor

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 24-3: Tareas de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo

MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN	CODIGO DE LA TAREA	TAREA DE MANTENIMIENTO
EQUIPO: Tanque A del sistema del tanque A de la Red El Recreo			
MODELO DE MANTENIMIENTO: ALTA DISPONIBILIDAD			
Presencia de fisuras y residuos en el interior del tanque	A amortiguar	T: B001	Inspección del estado del tanque
		T: D001	Limpieza interna del tanque
EQUIPO: Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo			
MODELO DE MANTENIMIENTO: ALTA DISPONIBILIDAD			
Empaques en mal estado	A amortiguar	T: B001	Inspección de fugas de la válvula
Flojo ajuste con tubería	A amortiguar	T: D001	Ajuste de pernos de unión con la tubería – válvula
Falta de lubricación del vástago	A amortiguar	T: D002	Apertura y cierre total de la válvula
Válvula sucia y en mal estado	A amortiguar	T: D003	Limpieza exterior de la válvula

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

La selección de tareas de mantenimiento de los equipos restantes se encuentra en el ANEXO G.

3.2.7.4 Determinación de frecuencias de mantenimiento

Las frecuencias de mantenimiento para cada una de las tareas previamente seleccionadas fueron determinadas con la ayuda de manuales del fabricante y del personal del departamento de Ingeniería y operación de la EP EMAPAR. Para el caso explicativo de las frecuencias de los equipos de EMAPAR se visualizan en la Tabla 25-3 y en la Tabla 26-3. (Análisis completo de las frecuencias de mantenimiento se encuentran en el ANEXO G)

Tabla 25-3: Frecuencias de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas

EQUIPO	CODIGO DE LA TAREA	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (SEMANAS)
Pozo del sistema Pozo Las Hierbas	T:C001	Inspección interior del pozo y verificación del estado de filtros	104 s
	T: D001	Limpieza interna del pozo mediante jetting	104 s
	T: D002	Cepillado interno del pozo	104 s
	T: D003	Desalajo de sedimentos mediante aire a presión	104 s
	T: D004	Limpieza de tubería de descarga	104 s
	T: D005	Prueba de funcionamiento del pozo	104 s
Motor eléctrico del sistema de bombeo del Pozo Las Hierbas	T: C008	Medición de resistencia en los devanados del motor	104 s
	T: C009	Medición del voltaje del motor en el tablero de control	104 s
	T: B006	Inspección del estado del cable eléctrico que conecta al motor	104 s

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 26-3: Frecuencias de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo

EQUIPO	CODIGO DE LA TAREA	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (SEMANAS)
Tanque A del sistema del tanque A de la Red El Recreo	T: B001	Inspección del estado del tanque	26 s
	T: D001	Limpieza interna del tanque	26 s
Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo	T: B001	Inspección de fugas de la válvula	12 s
	T: D001	Ajuste de pernos de unión con la tubería – válvula	26 s
	T: D002	Apertura y cierre total de la válvula	26 s
	T: D003	Limpieza exterior de la válvula	26 s

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.2.7.5 Determinación de la logística de mantenimiento

Una vez determinado las tareas de mantenimiento con sus respectivas frecuencias se procedió a determinar la logística de mantenimiento la cual está compuesta por: mano de obra, cantidad de personal para la ejecución de la tarea, los repuestos y materiales, herramientas/equipos y EPP. (Equipos de protección personal que consta de guantes, calzado de seguridad, ropa de trabajo, gafas, casco y orejeras de acuerdo con el tipo de trabajo a realizar). En la Tabla 27-3 y Tabla 28-3 se observa la logística de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas y de la Red el Recreo.

Tabla 27-3: Logística de mantenimiento de equipos del Pozo las Hierbas

Equipo	Código de la tarea	Tarea de mantenimiento	Frecuencia (Semanas)	Tiempo de ejecución	Logística de mantenimiento				
					Mano de obra	Número de Personal	Repuestos y materiales	Herramientas	Equipos de protección personal
Pozo del sistema Pozo las Hierbas	T:C001	Inspección interior del pozo y verificación del estado de filtros	104 s	30 min	Mecánico	2	N/S	Cámara de video	EPP
	T: D001	Limpieza interna del pozo mediante jetting	104 s	240 min	Mecánico	4	Hipo clorito	Llaves, compresor, depósito de agua	EPP
	T: D002	Cepillado interno del pozo	104 s	240 min	Mecánico	4	N/S	Cepillo de cuerdas	EPP
	T: D003	Desalojo de sedimentos mediante aire a presión	104 s	180 min	Mecánico	4	N/S	Compresor	EPP
	T: D004	Limpieza de tubería de descarga	104 s	120 min	Mecánico	4	Guaípe	Amoladora	EPP
	T: D005	Prueba de funcionamiento del pozo	104 s	60 min	Mecánico - Eléctrico	2	N/S	Megger	EPP
Motor eléctrico del sistema de bombeo del Pozo las Hierbas	T:C008	Medición de resistencia en los devanados del motor	104 s	60 min	Eléctrico	1	N/S	Ohmímetro	EPP
	T:C009	Medición del voltaje en los terminales del motor	104 s	60 min	Eléctrico	1	N/S	Multímetro, Pinza amperimétrica	EPP

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 28-3: Logística de mantenimiento de equipos de la Red el Recreo

Equipo	Código de la tarea	Tarea de mantenimiento	Frecuencia (Semanas)	Tiempo de ejecución	Logística de mantenimiento				
					Mano de obra	Número de Personal	Repuestos y materiales	Herramientas	Equipos de protección personal
Tanque A del sistema del tanque A de la Red El Recreo	T: B001	Inspección del estado del tanque	26 s	30 min	Civil	1	N/S	N/S	EPP
	T: D001	Limpieza interna del tanque	26 s	30 min	Mecánico	2	Cloro	Escobas	EPP
Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo	T: B001	Inspección de fugas de la válvula	12 s	30 min	Mecánico	1	N/S	N/S	EPP
	T: D001	Ajuste de pernos de unión con la tubería - válvula	26 s	30 min	Mecánico	1	N/S	Llaves	EPP
	T: D002	Apertura y cierre total de la válvula	26 s	30 min	Mecánico	1	N/S	Llaves	EPP
	T: D003	Limpieza exterior de la válvula	26 s	30 min	Mecánico	1	Guaípe	Brochas	EPP

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

La logística de mantenimiento de los equipos restantes se encuentra en el ANEXO G.

3.2.7.6 Agrupación de tareas de mantenimiento en rutinas de mantenimiento

Con las rutinas de mantenimiento se agrupa las tareas de acuerdo con los siguientes aspectos:

- Tareas de acuerdo con la frecuencia de ejecución
- Tareas de acuerdo con el área
- Tareas referidas al mismo equipo
- Tareas ejecutadas por el profesional de la misma rama.

En la Tabla 29-3 y en la Tabla 30-3 se observa un ejemplo de la agrupación de tareas de acuerdo con la frecuencia de ejecución, se seleccionó una rutina anual para el pozo y una rutina semestral para una válvula.

Tabla 29-3: Rutina de mantenimiento de equipo del Pozo las Hierbas

RUTINA ANUAL DE EQUIPO DEL POZO LAS HIERBAS			
Equipo	Código de tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia (Semanas)
Pozo del sistema pozo las Hierbas	T:C001	Inspección interior del pozo y verificación del estado de filtros	104 s
	T: D001	Limpieza interna del pozo mediante jetting	
	T: D002	Cepillado interno del pozo	
	T: D003	Desalojo de sedimentos mediante aire a presión	
	T: D004	Limpieza de tubería de descarga	
	T: D005	Prueba de funcionamiento del pozo	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

Tabla 30-3: Rutina de mantenimiento de equipo de la Red el Recreo

RUTINA SEMESTRAL DE EQUIPO DE LA RED EL RECREO			
Equipo	Código de tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia (Semanas)
Válvula de ingreso del sistema del tanque A de la Red El Recreo	T: D001	Ajuste de pernos de unión con la tubería - válvula	26 s
	T: D002	Apertura y cierre total de la válvula	
	T: D003	Limpieza exterior de la válvula	

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.2.8 Procedimiento de mantenimiento aplicado a un equipo de pozos y redes

Equipo: Pozo **Tarea:** Inspección interior del pozo y verificación del estado de filtros

1. Utilizar el equipo de seguridad necesario como casco, visores, overol, calzado de seguridad, guantes.
2. Se verifica los permisos de trabajo correspondientes
3. Se registra los parámetros eléctricos del pozo antes de apagarlo
4. Se desenergiza y bloquea el tablero de control
5. Se solicita que se apliquen todos los bloqueos, pues en algunos casos se observa un arranque automático asociado al generador de emergencia
6. Se procede a desmontar el cabezal del pozo y la tubería asociada

7. Para el desmontaje de tubería se utiliza las llaves adecuadas además del uso de maquinaria pesada (grúa)
8. Se verifica que el equipo de inspección visual (cámara sea el adecuado)
9. Se instala el soporte de la cámara de video en el pozo a observar
10. Se ingresa la cámara de video en el interior del pozo
11. Se verifica el estado y ubicación de filtros

Equipo: Válvula de ingreso **Tarea:** Apertura y cierre totales de la válvula

1. Utilizar el equipo de protección personal tales como casco, gafas, ropa de trabajo, zapatos de seguridad
2. Inspeccionar el estado de la válvula es decir si se encuentra abierta o cerrada
3. En caso de estar abierta realizar el cierre manual en su totalidad de la válvula
4. Si está cerrada realizar la apertura a tope de la válvula
5. En caso de que la válvula se encuentre atascada utilizar herramientas manuales para aflojar

El resto de los procedimientos de las tareas de mantenimiento se encuentran en el ANEXO H.

3.3 Introducción al GMAO

Un GMAO es un software que ayuda en el control, planificación, programación y evaluación de la gestión del mantenimiento.

3.3.1 Ingreso al Software

El ingreso al sistema de mantenimiento asistido por computador SisMAC se lo realiza a través de la página web <https://cloud.sismac.net/>, en la cual se digita el usuario y la contraseña respectiva, como se observa en la Figura 1-3.



Figura 1-3: Ingreso usuario y contraseña
Fuente: SisMAC

3.3.2 Inicio de sesión

Una vez ingresado a la página web, el software requiere que cada encargado de mantenimiento cuente con su usuario y contraseña personal para el uso del programa. (Observar la Figura 2-3). Las contraseñas y los usuarios se crearán para el personal que ejecutará el mantenimiento de acuerdo con las funciones que realizará.



Figura 2-3: Ingreso personal a SisMAC
Fuente: SisMAC

3.3.3 Estructura del software

El programa SisMAC posee una interfaz de fácil manejo y amigable para el usuario. El software en su presentación inicial está formado por tres secciones principales como se indica en la Figura 5-3.

1. En la sección ubicada en la parte izquierda de la Figura -3 se visualiza las principales herramientas de SisMAC como son: vista global, infraestructura, fichas técnicas, LBR (lista base recambios), mantenimiento, inventaros, compras, activos, personal, multimedia, biblioteca, informes, migrar desde Exel y seguridad.
2. En la sección ubicada en la parte central se puede ejecutar múltiples acciones como navegar a través de la información, ingresar, editar, eliminar y copiar datos, además de la configuración adecuada del mantenimiento.
3. La tercera sección permite observar las diferentes referencias gráficas es decir se puede visualizar planos, despieces e imágenes de los equipos.

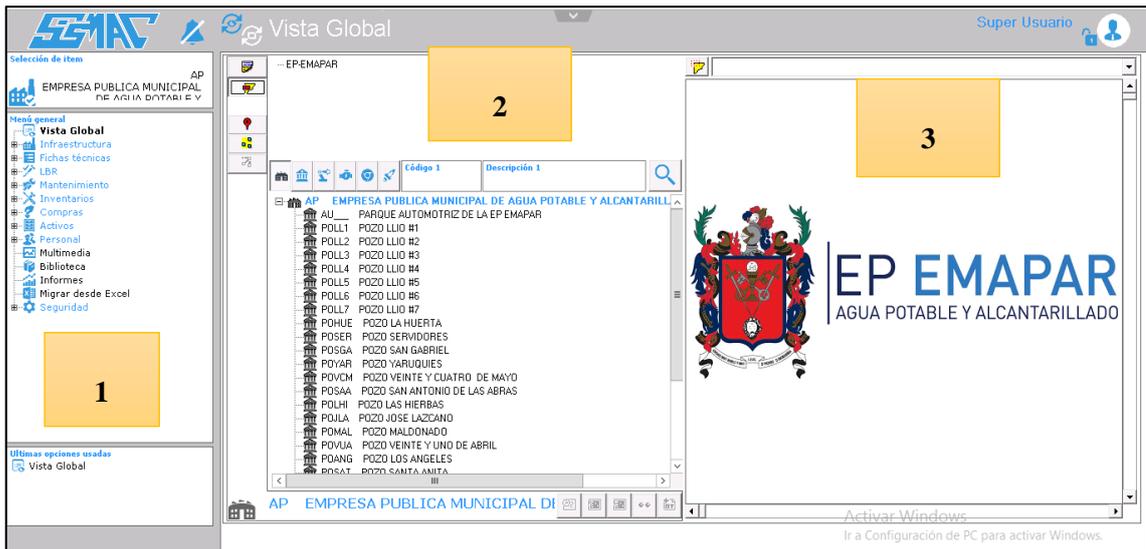


Figura 3-3: Vista Principal de SisMAC
Fuente: SisMAC

3.3.4 Ingreso del inventario técnico al software

Con la información previamente recolectada de pozos (sistemas de captación) y redes (tanques de reserva y planta de tratamiento), se procedió a ingresar los datos al software tomando en consideración los niveles jerárquicos y su codificación, como se indica en la Figura 4-3.

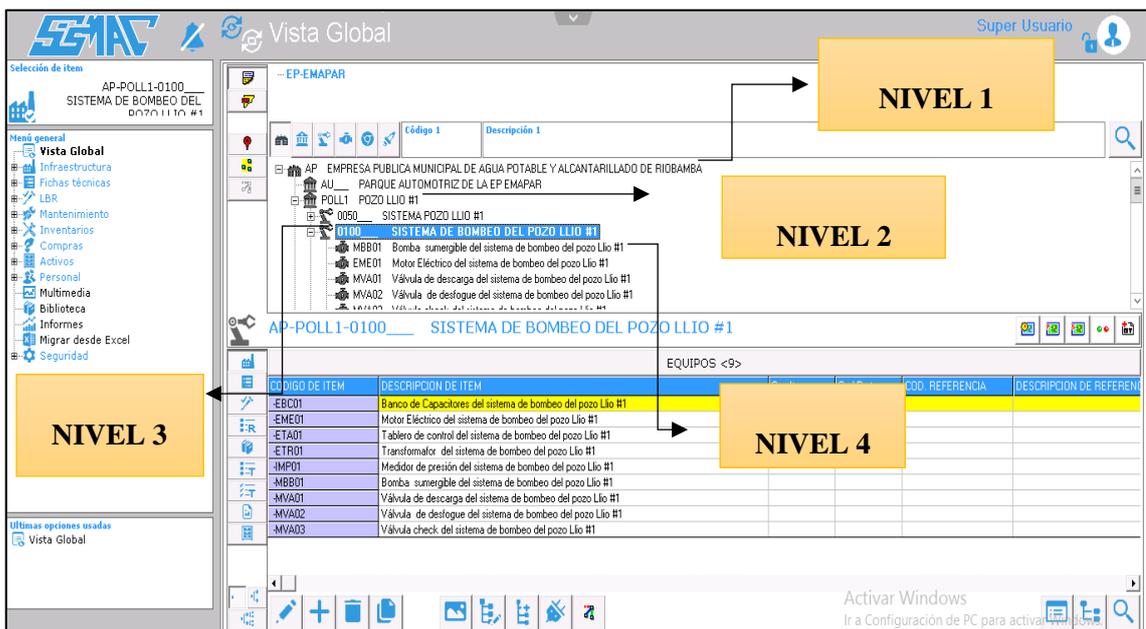


Figura 4-3: Inventario ingresado al software
Fuente: SisMAC

Donde:

1. Nivel 1: Ubicación (AGUA POTABLE)
2. Nivel 2: Área (Pozo Llio #1)

3. Nivel 3: Sistema (Sistema de bombeo)

4. Nivel 4: Equipo (bomba sumergible)

3.3.5 Cronograma de mantenimiento

El cronograma de mantenimiento permite observar las rutas a realizarse en un tiempo determinado, como se observa en la Figura 5-3.

Programación cíclica en sub rutas :																			
#Sr	Sub ruta	Frc.	D/S	# Día	# Cuadr.	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
1	Pozos Llio 1, 2, 3, 4, 5, 6	26	S	1		■													
2	Pozos Llio 7, S.Anita, 24Mayo, Huerta,	26	S	2			■												
3	Pozos 21Abril, Hierbas, SanGabriel,	26	S	3				■											
4	Pozos Angeles, Lazaano, Yaruquies	26	S	4					■										

Figura 5-3: Cronograma de mantenimiento

Fuente: SisMAC

3.3.6 Documentos de mantenimiento

SisMAC tiene la capacidad de generar los principales documentos de mantenimiento como solicitudes de trabajo y ordenes de trabajo. En la Figura 6-3 y Figura 7-3 se muestra un ejemplo de los documentos de mantenimiento respectivamente.

Figura 6-3: Solicitud de trabajo de mantenimiento

Fuente: SisMAC

Orden de trabajo	
Descripción (Trabajo a ejecutar)	# O.T. 1
Cambio de empaques de la válvula	Fecha 30/03/2021 12:21
Datos básicos Datos adicionales Programación Costeo Reporte Estado	
Destino	AP-POLL1-010-MVA01 Válvula de descarga del sistema de bombeo del poz...
Tipo de OT	Tipo específico OT
COR Correctiva	
Motivo de trabajo	Motivo específico
IMP Imprevisto	
Departamento solicitante	Sección solicitante
MAG MANTENIMIENTO DE POZOS	PO POZOS
Departamento ejecutante	Sección ejecutante
MAG MANTENIMIENTO DE POZOS	PO POZOS
<input type="checkbox"/> Externa	Proveedor sugerido
<input type="checkbox"/> Servicio	
Centro de costo	Cuenta contable

Figura 7-3: Orden de trabajo de mantenimiento

Fuente: SisMAC

3.3.7 Capacitación al personal

La capacitación ejecutada en la EP EMAPAR, se trató los siguientes temas: “Plan de mantenimiento realizado en el presente trabajo”, “Navegación y uso de las principales herramientas de SisMAC” y en “Generación de principales documentos de mantenimiento (órdenes y solicitudes de trabajo)”. La capacitación fue desarrollada a los técnicos del Departamento de ingeniería.

3.3.8.1 Objetivo de la capacitación

Dar a conocer el plan de mantenimiento realizado, así como las principales herramientas y usos del software y la generación de los principales documentos de mantenimiento.

3.3.8.2 Modalidad de la capacitación

La capacitación realizada fue en forma práctica con una duración de una hora y media dirigida al personal de EP EMAPAR encabezada por los técnicos del Departamento de Ingeniería.

3.3.8.3 Cronograma de capacitación

El cronograma de la capacitación de los temas tratados fue desarrollado en un solo grupo, en la Tabla 31-3 se observa el cronograma de la capacitación, la fecha y los temas tratados.

Tabla 31-3: Cronograma de capacitación de personal de EP EMAPAR

N°	FECHAS	TEMAS
1	26/04/2021	Presentación del plan de mantenimiento realizado
		Introducción e ingreso a SisMAC.
		Uso de principales herramientas del software.
		Generación de documentos de mantenimiento (ordenes de trabajo preventivas y correctivas, solicitudes de trabajo)

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

3.3.8.4 Personal capacitado

La nómina del personal capacitado se encuentra en la Tabla 32-3.

Tabla 32-3: Personal capacitado de EP EMAPAR

CAPACITACIÓN				
TEMAS	Introducción e ingreso al software y sus principales herramientas			
	Generación de documentos de mantenimiento (ordenes de trabajo y solicitudes de trabajo)			
ITEM	NOMBRES	CÉDULA	ÁREA DE TRABAJO	FECHA DE CAPACITACIÓN
1	Edgar Lara	0603234212	Operaciones	26/4/2021
2	Paul Gómez	0603787334	Agua Potable	26/4/2021
3	Geovany Moreno	0602760282	Agua Potable	26/4/2021
4	Lisette Jara	0605896602	Agua Potable	26/4/2021
5	María García	0604270330	Agua Potable	26/4/2021

Fuente: Autores

Realizado por: Guamán Darío, Paredes Freddy, 2021

En la Figura 8-3 se observa el listado del personal capacitado de EP EMAPAR.

CAPACITACIÓN				
TEMAS	Introducción e ingreso al software y sus principales herramientas			
	Generación de documentos de mantenimiento (ordenes de trabajo y solicitudes de trabajo)			
ITEM	NOMBRE Y APELLIDO	CEDULA	ÁREA DE TRABAJO	FECHA DE CAPACITACIÓN
1	YBELS EUGENIO GARCÉS	0604270330	AGUA POTABLE	26-04-2021
2	Lisette Maritza Jaramilla	0603787334	AGUA POTABLE	26-04-2021
3	EDGAR LARA	0603234212	OPERACIONES	26-04-2021
4	PAUL GOMEZ	0603787334	AGUA POTABLE	26-04-2021
5	Geovany F. Moreno D.	0602760282	AGUA POTABLE	26/04/2021

Figura 8-3: Personal capacitado de EP EMAPAR

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO

4.1 Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento

Como resultado de la evaluación de la gestión de mantenimiento realizado a la EP EMAPAR se obtuvo un valor del 24%. Este valor conlleva a una mejora en la gestión del mantenimiento de los sistemas de captación (pozos), tanques de reserva y planta de tratamiento (redes).

El Grafico 1-4 indica los resultados de la evaluación de la gestión del mantenimiento, la gráfica de color azul señala el nivel exigido por cada uno de los parámetros de la evaluación de la gestión de mantenimiento ejecutada, mientras que la gráfica de color anaranjado señala los valores obtenidos o el valor de desempeño una vez realizado la evaluación de la gestión del mantenimiento a la EP EMAPAR.

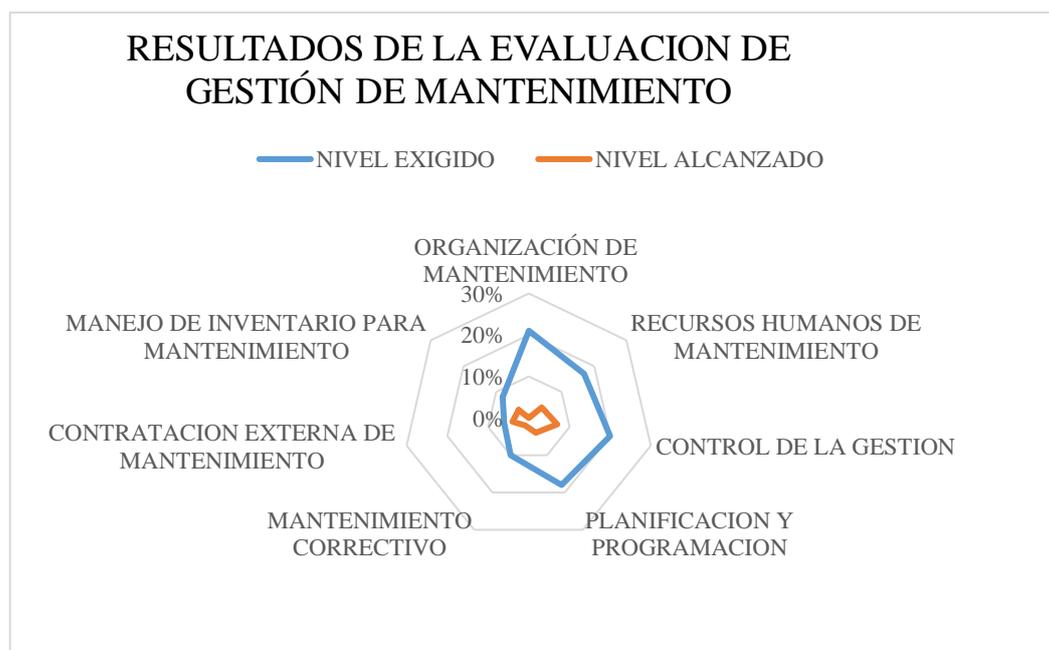


Gráfico 1-4: Gráfico de resultados de la evaluación de mantenimiento

Realizado por: Guamán, Darío; Paredes, Freddy; 2021

4.2 Resultados del análisis de criticidad realizado

Como resultado del análisis de criticidad de los sistemas de captación (pozos), tanques de reserva y planta de tratamiento (redes) se obtuvo que, de un total de 121 sistemas, 84 de estos son críticos y los 37 restantes son semi-críticos, es decir los sistemas críticos representan el 69%, mientras que los sistemas semi-críticos representan el 31%.

En la gráfica se evidencia en porcentaje los resultados obtenidos del análisis de criticidad, la parte de color azul representa los sistemas críticos mientras que la zona de color naranja constituye los sistemas no críticos.

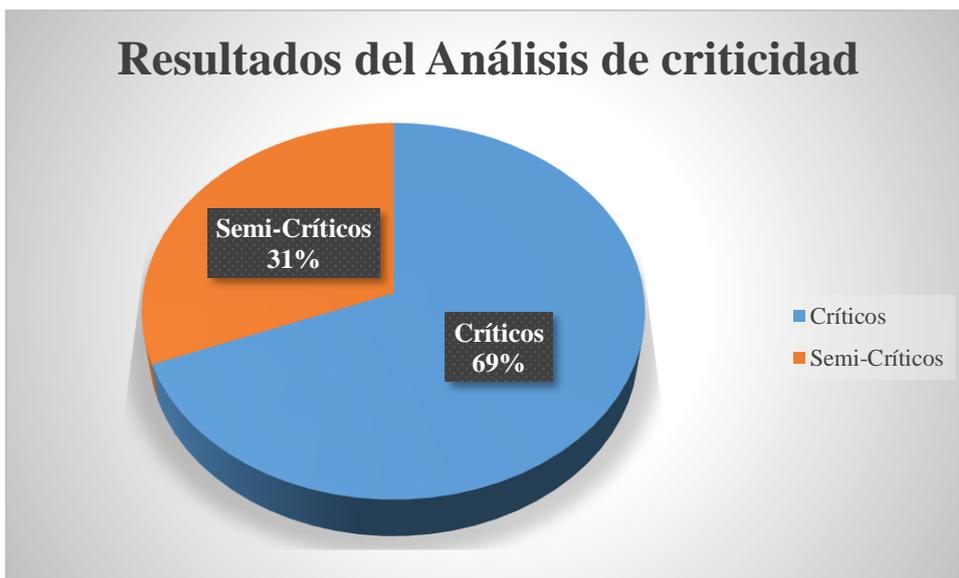


Gráfico 2-4: Gráfico de resultados del análisis de criticidad
Realizado por: Guamán, Darío; Paredes, Freddy; 2021

4.3 Resultados del plan de mantenimiento

Para el diseño del plan de mantenimiento es necesario contar con toda la información necesaria como el inventario técnico, análisis de criticidad, tareas de mantenimiento a ejecutar, frecuencias de tareas de mantenimiento y los recursos necesarios para la ejecución de estas, la unión compacta de estos parámetros conllevará a una adecuada gestión de mantenimiento.

En el gráfico 3-4 se representa la comparación en porcentajes del aporte dado por el personal de EP EMAPAR con el aporte obtenido por parte del proyecto técnico.

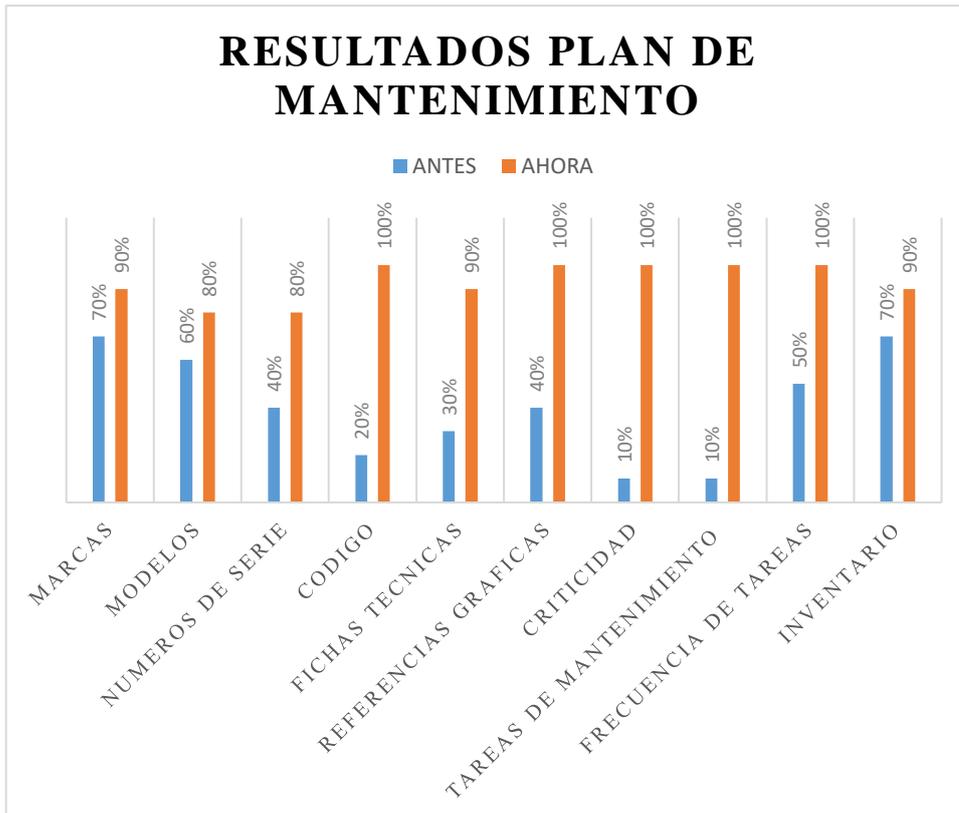


Gráfico 3-4: Grafico de resultados del plan de mantenimiento
Realizado por: Guamán, Darío; Paredes, Freddy; 2021

CONCLUSIONES

La evaluación del mantenimiento realizada a la EP EMAPAR mediante el método AHP, se obtuvo un valor del 24% de desempeño del total cuyos valores están en estándares inferiores a los valores establecidos en la herramienta utilizada. El criterio con un alto puntaje es el control de la gestión del mantenimiento cuyo valor del 7% y el criterio con más baja calificación es la organización del mantenimiento, como resultado para la mejora de la gestión se propone el desarrollo del plan de mantenimiento y la adecuada implementación del GMAO.

El análisis de criticidad fue realizado mediante los parámetros dados por Santiago García en su texto “Organización Integral del Mantenimiento”. De los 121 sistemas operativos que tiene la empresa se determinó que el 69% son críticos en los cuales se aplicó el modelo de mantenimiento de alta disponibilidad, el 31% de sistemas restantes son semi-críticos que implican un modelo de mantenimiento condicional, este método cualitativo permite determinar la criticidad de forma rápida, el proceso de análisis de criticidad se lo debe ejecutar con ayuda del personal interno de la empresa quienes tienen un amplio conocimiento del contexto operacional de los equipos.

En el desarrollo del plan del mantenimiento para los sistemas de captación, planta de tratamiento de agua y tanques de reserva de la EP EMAPAR, se realizó el inventario técnico con su respectiva codificación, posteriormente se utilizó la metodología del RCM abreviado donde se analizó los fallos y modos de fallos para la selección de las tareas de mantenimiento, estableciendo 1433 tareas para las 27 áreas de la empresa. Con el proceso realizado se determinó un inventario actualizado y eficaz el cual permitirá gestionar adecuadamente la información, además de una lista de tareas de mantenimiento apropiadas para los equipos.

Mediante la información ingresada al sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador se pudo gestionar de forma adecuada el plan de mantenimiento obteniendo una mejora en la planificación y programación de los equipos.

Al realizar la capacitación al personal sobre el sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador permitió la modernización de la gestión del mantenimiento y la implementación de los documentos de mantenimiento en los procesos: inventario técnico, fichas técnicas, documentación técnica y documentos de mantenimiento. Esto a su vez permitirá implementar indicadores de mantenimiento para la evaluación de la gestión continua.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el plan de mantenimiento realizado en este trabajo de integración curricular con el fin de mejorar la planificación y programación del mantenimiento de los equipos pertenecientes a EP EMAPAR.

Se recomienda que todos los criterios de evaluación de la gestión del mantenimiento deben mejorarse, además el instrumento de evaluación debe utilizarse anualmente para constatar las posibles mejoras.

Se sugiere actualizar el inventario técnico y la codificación cada vez que la empresa adquiera nuevos equipos para cada una de las áreas.

Se aconseja que se cuente con un maestro de ítems el cual tenga un stock mínimo de repuestos para cada uno de los equipos de la EP MAPAR, lo cual permitirá agilizar los trabajos de mantenimiento.

Se recomienda que todos los equipos estén debidamente etiquetados y con su respectiva codificación.

GLOSARIO

Automatizar: Aplicar a la industria ciertos procedimientos automáticos, que proporciona la electrónica y que facilitan y agilizan enormemente las operaciones de cálculo, selección y ordenamiento de datos.

Captación: Se denomina captación al acto y resultado de captar.

Confiabilidad: Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado.

Cronograma: Calendario de trabajo.

Disponibilidad: Aptitud de un elemento para encontrarse en un estado en que pueda realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios.

Flujograma: Esquema de la organización de un programa o de una actividad.

Inventario: Lista ordenada de las cosas de valor de una persona o sociedad.

Implementar: Poner los medios para la realización de alguna cosa.

Mantenimiento: Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un ítem con el fin de mantenerlo, o restaurarlo, a un estado en el cual pueda desempeñar su función requerida.

Referencia: Relación o dependencia de una cosa con otra.

Sistemático: Que sigue o se ajusta a un sistema.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Héctor y TRONCOSO, Mayra. *Auditoria integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo.* La Habana : s.n., 2011.

AGUATUYA. *Operación y mantenimiento de sistemas de distribución de agua.* Cochabamba : s.n., 2012.

AGUILAR, Alfonso. *Capacitación y desarrollo del personal.* Cuarta. México : Limusa, 2006.

BARREDA BELTRÁN, Salvador. *Universitat Jaume.* Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M) en la Edar de Nules-Vilavella, 2015.

BONILLA, Santiago. *Estudio del mantenimiento de las estaciones de bombeo en EMAPA para incrementar la disponibilidad de las maquinarias.* Ambato : s.n., 2011.

CARE Y AVINA. *Programa Unificado de Fortalecimiento de capacidades, Modulo 5, Operacion y mantenimiento de sistemas de agua potable.* 2012.

CHANG, Mariela. *Elaboración de un modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento en activos físicos en base a normativa internacional aplicando al caso de estudio: Unión Cementera Nacional (UCEM) Planta Chimborazo .* Riobamba : s.n., 2019.

CILIO, Pedro. *Gestión e implementación del plan de mantenimiento de la planta de tratamiento del sistema regional de agua potable de Esmeraldas y sus zonas de influencia.* Quito : s.n., 2017.

DE ARMAS GARCÍA, Raúl. *Auditoría de gestión: conceptos y métodos.* [ed.] Mirialis Cáceres Malagón. La Habana, Cuba : Félix Varela, 2008. 978-959-07-0421-5.

DÍAZ, Armando, DEL CASTILLO, Alfredo y VILLAR, Leisis. *Instrumento para evaluar el estado de la gestion de mantenimiento en plantas de bioproductos: Un caso de estudio.* 2016.

GARCÍA GARRIDO , Santiago. *Organización y gestión integral del mantenimiento.* Madrid : Diaz de Santos S.A, 2003. 84-7978-548-9.

—. *Reportero industrial.* [En línea] 21 de Octubre de 2016. [Citado el: 19 de Marzo de 2020.] Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/blogs/Ventajas-e-inconvenientes-de-la-aplicacion-de-RCM+115969>.

GUILCAPI, Italo. *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para las áreas de: oftalmología, quirófano y recuperación del Hospital General Riobamba-IESS, aplicando estándares de la Organización mundial de la salud*. Riobamba : s.n., 2019.

ISO 14224. *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. 2016.

ISO 19011. Cepec. *Cepec*. [En línea] 2018. [Citado el: 24 de 03 de 2020.] Disponible en: <https://www.cepec.edu.co/documentos/calidad/norma-iso-19011-2018.pdf>.

MOUBRAY, John. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. North Carolina : Aladon LLC, 2004.

PÉREZ, Carlos.. Academia.edu. *Academia.edu*. [En línea] 18 de Abril de 2011. [Citado el: 17 de Marzo de 2020.] Disponible en: https://www.academia.edu/7990093/RCM_Articulo_confiabilidad_evolucion_Abr_18_2011.

QUISHPE , José y ROBALINO, Riley. *Elaboración del plan de mantenimiento preventivo para las máquinas y equipos del área de cuidados intensivos, fisioterapia y ginecología del Hospital IESS Riobamba basado en la Organización mundial de la Salud*. Riobamba : s.n., 2019.

RODRÍGUEZ RAMÍREZ, José. *Gestión de mantenimiento asistido por computadora*. 2003.

SAE JA1012. *Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie*. 2002.

SÁNCHEZ SÁNCHEZ DE PUERTA, Benito Alberto. *Plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD*. Diseño de un Plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD, 2016.

SEXTO, Luis Felipe. Planet RAMS. *Planet RAMS*. [En línea] 17 de Julio de 2017. [Citado el: 05 de Mayo de 2020.] Disponible en: <http://planetrams.iusiani.ulpgc.es/?p=2062&lang=es>.

SIGUENCIA, Cristian Paúl y BERREZUETA, Fernando Andrés. *Propuesta de un GMAO para la gestión del mantenimiento de un sistema ferroviario*. Cuenca : s.n., 2016.

UNE-EN 13306. *Terminología de mantenimiento*. Genova : s.n., 2011.

UNE-EN 1346. *Mantenimiento, Documentos para el mantenimiento*. Madrid : s.n., 2009.

YERBABUENA, Sofía y ASHQUI, David. *Plan de mantenimiento preventivo para las áreas: pediatría, traumatología, casa de máquinas y piso técnico del Hospital General Riobamba IESS aplicando estándares de la Organización mundial de la Salud.* Riobamba : s.n., 2019.