



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA  
EL SISTEMA DE BOMBEO “EL SOCAVÓN DE LA EP-EMAPA  
AMBATO”**

**CÁRDENAS SALINAS, ROMEL DANIEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Tipo: PROYECTOS TÉCNICOS**

**Previo a la obtención del título de:  
INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2017-04-28

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CÁRDENAS SALINAS ROMEL DANIEL**

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO  
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE BOMBEO “EL  
SOCAVÓN DE LA EP-EMAPA AMBATO”.**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Ángel Daniel Larrea Moreano  
**DIRECTOR**

---

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CÁRDENAS SALINAS ROMEL DANIEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE BOMBEO “EL SOCAVÓN DE LA EP-EMAPA-AMBATO”.

**Fecha de Examinación:** 2017-12-14

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO PRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Ángel Daniel Larrea Moreano <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Marco Heriberto Santillán G. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Cárdenas Salinas Romel Daniel**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Cárdenas Salinas Romel Daniel, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente consultados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Cárdenas Salinas Romel Daniel**

Cédula de Identidad: 180441866-1

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios por haberme dado la fortaleza y valentía para pasar todos los obstáculos que se pusieron en la trayectoria de mi temporada politécnica, por darme las habilidades y dones necesarios para llevar a flote este proyecto y que será de apoyo para la vida que apenas comienza.

A mis padres Gilberto y Roció, a mi hermana, abuelita, tíos y primos quienes con esfuerzo, sacrificio y trabajo han hecho lo posible e imposible por inculcarme en valores desde pequeño y me han guiado y me guiarán por el camino del bien en lo que resta de mi vida.

Con mucho cariño para Jimena Alexandra Freire Córdova quien aparte de ganarse un espacio muy amplio en mi corazón me ha brindado sus palabras de apoyo, motivación y presión para poder alcanzar esta meta.

**Romel Daniel Cárdenas Salinas**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme brindado tanta riqueza espiritual, gracia y sabiduría para poder estar en el camino del bien.

A mi familia en general por el respaldo moral, económico, ayuda y palabras de aliento en mi trayectoria politécnica.

Agradezco de manera especial al Ing. Ángel Larrea M. e Ing. Marco Santillán G., por brindarme la ayuda necesaria para que el presente trabajo sea realizado de la mejor manera.

A la Empresa Pública EMAPA de la ciudad de Ambato, de manera especial a la Ingeniera Cristina Flores por hablarme de la importancia de mi rama en tan prestigiosa empresa, al señor Gerente Fidel Castro Solórzano por la apertura brindada en tan prestigiosa institución, al Ing. Paúl Navarrete por ser guía dentro de la sección de electromecánica y demás personal que me han demostrado que en el ambiente laboral se requiere una gran amistad para llegar a grandes logros.

**Romel Daniel Cárdenas Salinas**

# CONTENIDO

Pág.

## CAPÍTULO I

1.	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1	Antecedentes. ....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos. ....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos.</i> .....	3

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1	Mantenimiento. ....	4
2.1.1	<i>Tipos de Mantenimiento.</i> .....	5
2.1.2	<i>Estrategias de Mantenimiento.</i> .....	6
2.1.3	<i>Relación entre el Mantenimiento Preventivo y Proactivo</i> .....	8
2.1.4	<i>Tecnologías de Mantenimiento</i> .....	8
2.1.5	<i>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.).</i> .....	9
2.2	Factor de potencia .....	13
2.2.1	<i>Potencia</i> .....	13
2.2.2	<i>Método recomendado para cálculo de Potencia Capacitiva(Compensación).</i> 14	
2.2.3	<i>Ecuaciones necesarias para el cálculo de compensación.</i> .....	14
2.2.4	<i>Compensación en grupo</i> .....	15

## CAPÍTULO III

3.	<b>ANÁLISIS DE SITUACIÓN INICIAL DE LA RED DE BOMBEO SOCAVÓN</b> .....	16
3.1	Información general del Empresa .....	16
3.2	Proceso general de captación y tratamiento de agua en la red de bombeo SOCAVÓN .....	16
3.3	Estación de bombeo PIA SOCAVÓN.....	18
3.3.1	<i>Conjuntos Motor-Bomba S-140 y S-150.</i> .....	20
3.3.2	<i>Tablero eléctrico.</i> .....	21
3.4	Estación de bombeo TANQUE SIN PISO .....	22
3.4.1	<i>Conjunto Motor-Bomba S-130.</i> .....	22

3.4.2	<i>Instalaciones eléctricas.</i> .....	24
3.5	Estación de bombeo SOCAVÓN .....	25
3.5.1	<i>Conjuntos Motor-Bomba S-110 y S-120.</i> .....	25
3.5.2	<i>Tablero eléctrico.</i> .....	27

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y PROPUESTA PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA</b> .....	<b>30</b>
4.1	Descripción de la importancia del plan de mantenimiento .....	30
4.1.1	<i>Estación de bombeo PIA SOCAVÓN.</i> .....	30
4.1.2	<i>Estación de Bombeo TANQUE SIN PISO.</i> .....	31
4.1.3	<i>Estación de Bombeo SOCAVÓN.</i> .....	32
4.2	Implementación del plan de mantenimiento .....	44
4.2.1	<i>Programación de Mantenimiento.</i> .....	44
4.2.2	<i>Creación de la orden de trabajo.</i> .....	44
4.2.3	<i>Etiquetado de Mantenimiento.</i> .....	47
4.2.4	<i>Capacitación del personal.</i> .....	48
4.2.5	<i>Ejecución del Plan de Mantenimiento.</i> .....	51
4.3	Propuesta de mejoramiento del Factor de Potencia .....	52

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>55</b>
5.1	Conclusiones .....	55
5.2	Recomendaciones.....	56

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 2-1</b> Hoja de Información RCM.....	11
<b>Tabla 2-2</b> Hoja de Decisión RCM .....	12
<b>Tabla 3-1</b> Componentes de la Estación PIA SOCAVÓN.....	19
<b>Tabla 3-2</b> Componentes de la Estación de bombeo TANQUE SIN PISO .....	23
<b>Tabla 3-3</b> Componentes de la Estación SOCAVÓN .....	27
<b>Tabla 4-1</b> Hoja de información de PIA SOCAVÓN .....	33
<b>Tabla 4-2</b> Hoja de decisión PIA SOCAVÓN .....	34
<b>Tabla 4-3</b> Plan de Mantenimiento para PIA SOCAVÓN .....	35
<b>Tabla 4-4</b> Hoja de información del TANQUE SIN PISO.....	37
<b>Tabla 4-5</b> Hoja de decisión del TANQUE SIN PISO.....	38
<b>Tabla 4-6</b> Plan de Mantenimiento para TANQUE SIN PISO .....	39
<b>Tabla 4-7</b> Hoja de información del SOCAVÓN.....	40
<b>Tabla 4-8</b> Hoja de decisión de SOCAVÓN .....	41
<b>Tabla 4-9</b> Plan de Mantenimiento para SOCAVÓN.....	42
<b>Tabla 4-10</b> Datos obtenidos por el analizador de redes .....	52
<b>Tabla 4-11</b> Datos calculados para mejoramiento de FP.....	53
<b>Tabla 4-12</b> Tabla de Potencias y Factor de Potencia .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1</b> Tipos de Mantenimiento. ....	5
<b>Figura 2-2</b> Tasa de Fallos vs. Tiempo. ....	7
<b>Figura 2-3</b> Escala del Factor de Potencia .....	13
<b>Figura 2-4</b> Triángulo de Potencias.....	14
<b>Figura 2-5</b> Compensación grupal.....	15
<b>Figura 3-1</b> Estaciones de Bombeo de la zona norte de la EP-EMAPA-A.....	17
<b>Figura 3-2</b> Ubicación geográfica Estaciones de la Red de Bombeo SOCAVÓN .....	17
<b>Figura 3-3</b> Diagrama de Proceso tratamiento de agua red de bombeo SOCAVÓN....	18
<b>Figura 3-4</b> Conjunto Motor bomba.....	20
<b>Figura 3-5</b> Diagnóstico de la condición de los rodamientos del conjunto S-140 .....	20
<b>Figura 3-6</b> Diagnóstico de la condición de los rodamientos del conjunto S-150 .....	20
<b>Figura 3-7</b> Tablero Eléctrico de PIA SOCAVON .....	21
<b>Figura 3-8</b> Termograma de Fusibles del circuito de potencia de PIA SOCAVÓN....	21
<b>Figura 3-9</b> Análisis de factor de potencia de PIA SOCAVÓN .....	22
<b>Figura 3-10</b> Conjunto motor-bomba S-130 .....	22
<b>Figura 3-11</b> Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-130 .....	23
<b>Figura 3-12</b> Instalaciones eléctricas del TANQUE SIN PISO .....	24
<b>Figura 3-13</b> Termograma de contactor .....	24
<b>Figura 3-14</b> Voltaje de Ingreso al TANQUE SIN PISO.....	25
<b>Figura 3-15</b> Conjuntos motor-bomba S-110 y S120.....	26
<b>Figura 3-16</b> Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-110 .....	26
<b>Figura 3-17</b> Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-120 .....	26
<b>Figura 3-18</b> Tablero eléctrico de la estación SOCAVÓN .....	28
<b>Figura 3-19</b> Termograma del contactor .....	28
<b>Figura 3-20</b> Análisis del factor de potencia de SOCAVÓN.....	29
<b>Figura 4-1</b> Parte superior de la orden de trabajo.....	45
<b>Figura 4-2</b> Datos generales de la orden de trabajo .....	45
<b>Figura 4-3</b> Datos de anomalías en la orden de trabajo.....	46
<b>Figura 4-4</b> Detalles de la Intervención y recursos .....	47
<b>Figura 4-5</b> Aceptación de la orden de trabajo.....	47
<b>Figura 4-6</b> Etiqueta de Mantenimiento .....	47

<b>Figura 4-7</b>	Presentación del Proyecto .....	48
<b>Figura 4-8</b>	Tipos, tecnologías y estrategias de mantenimiento.....	48
<b>Figura 4-9</b>	Explicación de los KPI de mantenimiento.....	49
<b>Figura 4-10</b>	Personal de electromecánica .....	49
<b>Figura 4-11</b>	Aplicación de la orden de trabajo .....	50
<b>Figura 4-12</b>	Explicación del factor de potencia.....	50
<b>Figura 4-13</b>	Anclaje de equipos de bombeo .....	51
<b>Figura 4-14</b>	Etiquetado de mantenimiento en turbidímetro.....	51
<b>Figura 4-15</b>	Diagrama eléctrico propuesto para PIA SOCAVÓN.....	54

## **LISTA DE ANEXOS**

- A.** Distribución de la Estación PIA SOCAVÓN y diagrama p&id.
- B.** Distribución de la Estación TANQUE SIN PISO y diagrama p&id.
- C.** Distribución de la Estación SOCAVÓN y diagrama p&id.
- D.** Análisis vibracional del conjunto motor-bomba S-140
- E.** Análisis vibracional del conjunto motor-bomba S-150
- F.** Análisis vibracional del conjunto motor-bomba S-130
- G.** Análisis vibracional del conjunto motor-bomba S-110
- H.** Análisis vibracional del conjunto motor-bomba S-120
- I.** Análisis termográfico del tablero eléctrico de la estación PIA SOCAVÓN.
- J.** Análisis termográfico de los circuitos eléctricos de la estación TANQUE SIN PISO.
- K.** Análisis termográfico del tablero eléctrico de la estación SOCAVÓN.
- L.** Análisis del Factor de Potencia de la estación PIA SOCAVÓN.
- M.** Análisis del Factor de Potencia de la estación SOCAVÓN.
- N.** Hoja de Información de la Estación PIA SOCAVÓN.
- O.** Hoja de Decisión de la Estación PIA SOCAVÓN.
- P.** Hoja de Información de la Estación TANQUE SIN PISO.
- Q.** Hoja de Decisión de la Estación TANQUE SIN PISO.
- R.** Hoja de Información de la Estación SOCAVÓN.
- S.** Hoja de Decisión de la Estación SOCAVÓN.
- T.** Programación del Mantenimiento para la estación PIA SOCAVÓN.
- U.** Programación del Mantenimiento para la estación TANQUE SIN PISO.
- V.** Programación del Mantenimiento para la estación SOCAVÓN.
- W.** Diagrama de Decisión RCM.

## RESUMEN

El agua potable es un servicio básico indispensable para la supervivencia del ser humano por lo que es requerido en cantidad adecuada y de manera permanente para su confort y bienestar, pensando en esto se diseñó e implementó el Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sistema de bombeo “El SOCAVÓN” de la EP-EMAPA-Ambato cuya finalidad es incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, equipos y componentes ubicados dentro de las estaciones de bombeo PIA SOCAVÓN, TANQUE SIN PISO Y SOCAVÓN que permiten la impulsión del agua cruda desde las vertientes naturales ubicadas a orillas del río Ambato hacia la estación San Luis donde la misma es tratada por el sistema de cloración y distribuida a la zona norte de la ciudad. Para esto hemos analizado el factor de potencia de los motores que permiten la entrega de energía cinética al agua y se ha recolectado toda la información del contexto operacional de todos los equipos, se ha evaluado su condición de funcionamiento y con esto se ha podido establecer las funciones, fallos funcionales, modos de fallo, efectos que se producen así como también ha permitido evaluar las consecuencias que estos conllevan para poder establecer tareas preventivas que eviten que se tengan paros imprevistos en los equipos y por ende impedir que la ciudadanía tenga corte de servicio. El proyecto permitió plantear una propuesta para la mejora del factor de potencia de los motores eléctricos de la estación PIA SOCAVÓN al ser la que poseía una tendencia de amonestación ante la EEASA y también ayudó a demostrar claramente por qué realizar cada una de las tareas preventivas dentro del plan maestro de mantenimiento permitiendo justificar la intervención a una frecuencia adecuada para cada una de las actividades.

**PALABRAS CLAVES:** <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)>, <CRITICIDAD DE EQUIPOS>, <CONFIABILIDAD DE EQUIPOS>, <MODO DE FALLA>, <TAREAS PROACTIVAS>, <EFECTO DEL MODO DE FALLA>, <CONSECUENCIA DEL MODO DE FALLA>, <COMPENSACIÓN EN FACTOR DE POTENCIA>.

## ABSTRACT

Drinking water is an indispensable basic service for the survival of human beings, and required in an adequate quantity and permanently forms for their comfort and well-being; that is why, it designed in order to implement the Maintenance Plan focused on the reliability for the pumping system "El SOCAVÓN de la EP-EMAPA- Ambato" whose purpose is to increase the availability and reliability of the systems, equipments and components located within the pumping stations: "PIA SOCAVÓN", "TANQUE SIN PISO Y SOCAVÓN" and allowed the row water impulsion from the natural springs located on the banks of Ambato river, towards the San Luis station, where it is treated by the chlorination system and distributed to the northern part of the city. In order to carry out this process, it has analyzed the power factor of the motors that allow providing kinetic energy to water. On the other hand, it collected the all information of the operational context of all the equipments; it evaluated their operation conditions and based on this data was possible to establish the functions, functional failures, failure modes, and effects that occur; as well as it evaluated the consequences that these operations involve to establish preventive tasks, which prevent unexpected downtime in the equipments, and thus prevent citizens from cutting service. The project allowed presenting a proposal to improve the power factor of the electric motors of the "PIA SOCAVÓN" station, that had a kind of reprimand by the EEASA, and also helped to demonstrate clearly the reasons to perform each of the preventive tasks within of the maintenance master plan, allowing to justify the intervention at a suitable frequency for each of the activities.

**KEYWORDS:** RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM), CRITICALTY OF EQUIPMENT, EQUIPMENT RELIABILITY, FAILURE MODE, PROACTIVE TASKS, FAULT MODE EFFECT, CONSEQUENCE OF FAILURE MODE, POWER FACTOR COMPENSATION.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes.

El sistema de bombeo “El SOCAVÓN” de la EP – EMAPA Ambato posee bombas centrífugas horizontales y verticales dentro de tres diferentes estaciones (PIA SOCAVÓN, TANQUE SIN PISO, El SOCAVÓN); mismos que carecen de una adecuada planificación de tareas de mantenimiento para su intervención, dejando una amplia posibilidad de que los mismos tengan una parada inesperada provocada por algún tipo de fallo. Además de aquello las estaciones de bombeo del sistema “El SOCAVÓN” poseen instalaciones eléctricas precarias que ponen en riesgo los componentes de sus circuitos y en peligro la seguridad de su operador debido a los altos voltajes que se manejan; el anclaje de sus equipos en las cimentaciones requieren de especial cuidado, en su mayoría carecen de sujeción directa lo que provoca vibraciones en los equipos que se refleja en los desgastes prematuros de sus componentes.

### 1.2 Justificación.

La red de bombeo “SOCAVÓN” dentro de sus tres estaciones de bombeo carece de un adecuado plan de mantenimiento preventivo que busque la optimización de costos y se analice las tareas que se puedan realizar dentro de las mismas, dicha situación se ha palpado en la falta de mantenimiento de los diferentes equipos y sistemas de las estaciones de bombeo lo cual ha provocado fallos imprevistos que han paralizado el bombeo afectando al suministro de agua potable a los habitantes de la zona norte de la ciudad y al Parque Industrial en general.

Respecto a los últimos estudios realizados acerca del mantenimiento en general se ha considerado al mantenimiento Centrado en la confiabilidad como una tecnología de apoyo que nos permite establecer las políticas de mantenimiento, a su vez contribuye al aseguramiento de la confiabilidad operacional de los equipos y sistemas en general

existentes en la industria; y en el presente caso será insertado en las estaciones de bombeo de la Red SOCAVÓN de la EP-EMAPA-Ambato. Se debe recalcar que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) tiene como objetivo principal que los activos físicos cumplan las funciones requeridas dadas en su contexto operacional.

La razón primordial para tomar esta tecnología como punto de partida para la elaboración de los planes de mantenimiento de las estaciones de bombeo se debe al enfoque a los activos tangibles que abarca tales como sistemas, subsistemas y equipos siendo analizados a profundidad cada uno de los mismos.

Esta tecnología posee una adecuada inserción en las industrias convencionales y al contribuir a la confiabilidad operacional se puede tener el aseguramiento de la producción.

Con la elaboración del presente proyecto se obtendrá una adecuada planificación de actividades de mantenimiento técnicamente demostradas y que una vez aplicadas permitirá que estos equipos de bombeo existentes en el sistema de bombeo “El SOCAVÓN” adquieran una mayor confiabilidad y disponibilidad, con esto también se podrá optimizar los costos de mantenimiento y evitar el corte del servicio básico para la población, ya que de éstos depende el suministro de agua potable a todos los usuarios de la Red Izamba, Red Concepción y la Red PIA-Macasto, misma que alimenta a todo el parque Industrial de la ciudad.

Al evitar paros imprevistos en los equipos se reducirá el lucro cesante para la empresa por concepto de pérdidas de producción y se mantendrán los objetivos de la calidad de la empresa.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 *Objetivo general.***

Diseñar e Implementar el Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sistema de bombeo “El SOCAVÓN” de la EP-EMAPA-Ambato.

### **1.3.2 *Objetivos específicos.***

Establecer la función principal, secundaria y contexto operacional del sistema de Bombeo.

Identificar las fallas funcionales y los modos de falla del sistema de bombeo.

Determinar los efectos y consecuencias de los fallos encontrados en los sistemas de bombeo.

Establecer tareas proactivas de Mantenimiento para ser planificadas.

Elaborar un plan de mantenimiento en base al Análisis RCM.

Analizar el factor de potencia de los equipos de bombeo dentro del contexto operacional.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TÉORICO**

#### **2.1 Mantenimiento**

Según Moubray (2004) el mantenimiento asegura que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

La Norma COVENIN 3049 (1993) reconoce al Mantenimiento como el conjunto de acciones que permite conservar o reestablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado.

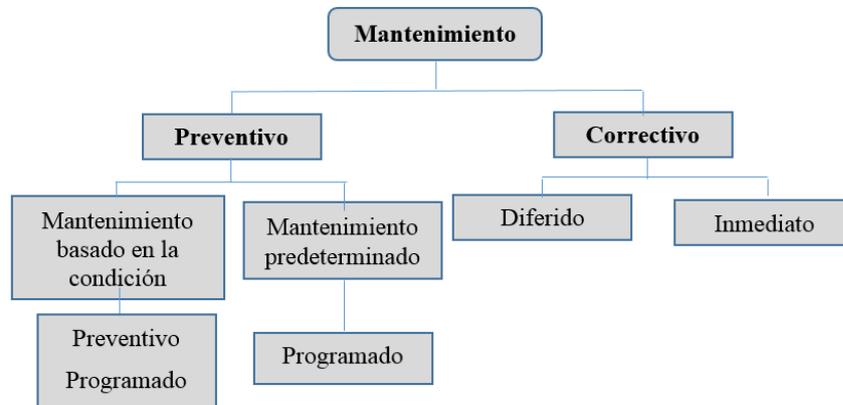
La Norma UNE-EN 13306 (2010) muestra al mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizada durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.

La GESTIÓN MODERNA DEL MANTENIMIENTO (2010) hace referencia a la norma AFNOR NF X 60 010 y define al mantenimiento como el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado.

Según la publicación de la editorial PC MANAGEMENT (2008) añaden al concepto de anterior las nociones de acciones a tomar antes del montaje de los bienes (etapa de diseño) y la de la vida útil nominal del equipo, que determina también las acciones a tomar.

Analizando los conceptos antes expuestos se dice que el Mantenimiento es el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de gestión que se llevan a cabo desde la etapa de diseño, se extiende durante el ciclo de vida de un activo en busca de conservarlo o devolverlo a un estado específico para que pueda cumplir una función requerida.

**2.1.1 Tipos de Mantenimiento.** Según la Norma (UNE-EN 13306, 2010) el mantenimiento se clasifica en dos tipos y dentro de estos se halla una sub clasificación que se muestra a continuación:



**Figura 2-1** Tipos de Mantenimiento.

Fuente: (UNE-EN 13306, 2010)

Cada tipo de mantenimiento tiene un concepto que se describe a continuación:

“Mantenimiento Preventivo es el que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.” (UNE-EN 13306, 2010)

“El mantenimiento predeterminado es el mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición”. (UNE-EN 13306, 2010)

“El mantenimiento basado en la condición es el mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento”. (UNE-EN 13306, 2010)

“El Mantenimiento predictivo es el mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento”. (UNE-EN 13306, 2010)

“El mantenimiento correctivo es aquel mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida”. (UNE-EN 13306, 2010)

El mantenimiento correctivo diferido es aquel que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas”. (UNE-EN 13306, 2010)

El mantenimiento correctivo inmediato es el que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables”. (UNE-EN 13306, 2010 pág. 13)

**2.1.2 Estrategias de Mantenimiento.** De acuerdo con la publicación *COMPRENDIENDO LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO* realizada por (MANAGEMENT, 2003) se dice que una adecuada aplicación de las estrategias de mantenimiento permite evitar:

- Pérdidas de producción y costos de reparación por fallas de equipos.
- Fallas consecutivas de los equipos.
- Tener programas de mantenimiento idénticos para equipos similares sin importar la aplicación o su impacto económico.
- Estancamiento sin estándares ni mejores prácticas de mantenimiento.

Una buena estrategia de mantenimiento debe atacar a todos estos efectos, permitiendo mejorar las operaciones de proceso y reducir los costos. Una estrategia de mantenimiento debe ser importante para los resultados de la empresa y sus objetivos de la calidad.

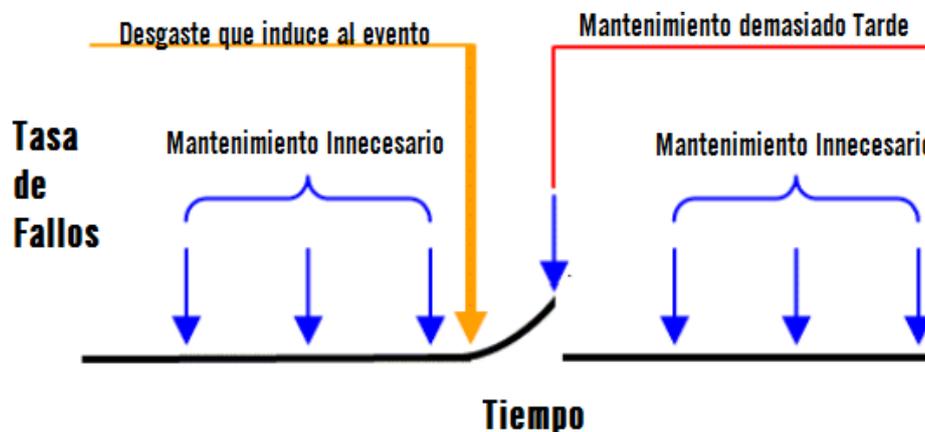
Las estrategias del Mantenimiento son basadas en uno o más de los cuatro enfoques básicos del mantenimiento:

- Reactivo
- Preventivo
- Predictivo
- Proactivo

En la publicación REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO realizada por EMERSON PROCESS MANAGEMENT (2003) se analiza el concepto de estas estrategias definiéndolas de la siguiente manera:

2.1.2.1 *La estrategia reactiva.* “Se describe como arréglole cuando se descomponga, esta es la estrategia de mantenimiento más básica. Su mayor inconveniente es el costo de reparar (o reemplazar) equipo hasta que falla normalmente es mucho más alto que si el problema fuera detectado y corregido antes; sin mencionar el costo de producción perdida durante el tiempo muerto prolongado”. (EMERSON PROCESS MANGEMENT, 2003)

2.1.2.2 *La estrategia preventiva.* “Asume que el equipo es relativamente confiable hasta que después de algún período de tiempo entra a una zona de desgaste donde las fallas aumentan. Para posponer este desgaste, se da servicio al equipo basado en el calendario o en tiempo de trabajo sin importar si lo necesita o no. En promedio, este enfoque de “corríjalo por si acaso” es aproximadamente 30% menos costoso que el mantenimiento reactivo pero que implica también un costo de sobre mantenimiento que representa un gasto innecesario pues algunos elementos aún se encuentran en condiciones óptimas”. (EMERSON PROCESS MANGEMENT, 2003 pág. 5)



**Figura 2-2** Tasa de Fallos vs. Tiempo.  
Fuente: (EMERSON PROCESS MANGEMENT, 2003)

2.1.2.3 *La estrategia Predictiva.* “Es la tercera estrategia, supera los inconvenientes de la anterior estrategia monitoreando la condición real del equipo constantemente y utilizando la información para predecir cuándo es posible que ocurra un problema. Con esa visión, se puede programar el mantenimiento para el equipo que lo necesita y sólo el que lo necesita antes de que el problema afecte el rendimiento de proceso o del equipo. Esa es

una gran manera de mejorar la productividad del mantenimiento, así como de reducir los costos por reparaciones y tiempo muerto inesperado”. (EMERSON PROCESS MANGEMENT, 2003)

2.1.2.4 *La estrategia Proactiva.* “Analiza porqué el rendimiento se está degradando y luego corrige la fuente de los problemas. La meta no sólo es evitar una “falla difícil”, sino restablecer o incluso mejorar el rendimiento del equipo”. (EMERSON PROCESS MANGEMENT, 2003)

Tomando en cuenta los conceptos anteriormente analizados se aprecia que la mejor estrategia que se puede aplicar en la EP-EMAPA-Ambato es la Proactiva debido a que sus equipos pueden ser estudiados y analizados respecto a su rendimiento y tomar los correctivos en el origen de los problemas que se puedan hallar.

**2.1.3 *Relación entre el Mantenimiento Preventivo y Proactivo.*** Con la referencia de los de conceptos de las Estrategias anteriores podemos deducir que el mantenimiento preventivo posee la capacidad de anticiparse a la ocurrencia del fallo, pero se puede recaer en el sobre mantenimiento o mantenimiento innecesario, que se lo puede evitar mediante un monitoreo de la condición real de los equipos (mantenimiento predictivo), mientras que el mantenimiento proactivo analiza las causas raíz de las averías suscitadas o que podrían presentarse; es decir, el mantenimiento proactivo analiza los resultados de las demás estrategias evitando tener la aparición de fallas atacando directamente en las causas que las provocan, reduciendo así un mantenimiento rutinario innecesario.

**2.1.4 *Tecnologías de Mantenimiento.*** Según BARRIOS (2008) las tecnologías de Mantenimiento son métodos o herramientas que se pueden aplicar a los equipos, sistemas e incluso en la formación de personal para asegurar la producción industrial, en estos aspectos destacan el TPM y el RCM.

2.1.4.1 *Mantenimiento Productivo Total (TPM).* Cubre todas las funciones de la empresa y busca eliminar todas las pérdidas trabajando con cero averías, cero defectos, cero accidentes con procesos de mejora continua. Es una derivación de la calidad total. Además el TPM es considerado como una filosofía que promueve el mantenimiento

autónomo, es decir involucra a los operarios en tareas de mantenimiento. (ARACELLI, 2008)

2.1.4.2 *Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. Se encarga de los activos tangibles logrando q cumplan las funciones requeridas dadas en su contexto operacional. (ARACELLI, 2008)

**2.1.5 *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.)***. Tomando en cuenta las definiciones de MOUBRAY (2004) se manifiesta que el RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. El RCM busca la respuesta a siete preguntas acerca del activo o sistema las mismas que abarcan lo correspondiente a: funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, consecuencias, tareas proactivas y frecuencias de ejecución y acciones predeterminadas.

Según la Norma SAE JA 1011 (1999) para obtener la información anteriormente expuesta se debe recolectar información y tomar las decisiones; además, indica que es recomendable que toda la información y decisiones deben ser documentadas de manera que estén totalmente disponibles para el dueño o usuario y sean aceptables para los mismos.

2.1.5.1 *Funciones*. De acuerdo con MOUBRAY (2004) se concuerda que según lo profundamente que se entienda el rol de los activos en el mundo de los negocios podemos entender el significado de cada activo físico en servicio y porque alguien quiere que un activo haga algo determinado. Por esta razón el mantenimiento busca el preservar el estado de un activo permitiendo que continúe haciendo lo que quieren que haga respecto a los requerimientos de sus usuarios.

2.1.5.2 *Contexto Operacional*. Analizando el concepto de MOUBRAY (2004) se dice que el contexto operacional se inserta por completo en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones. Para este efecto se debe tener en cuenta todas las condiciones posibles que intervienen en su funcionamiento debido a que estos aspectos permiten tener una apropiada definición de la función principal.

En resumen según en la Norma (SAE JA 1011) definen al contexto operacional como las circunstancias bajo las cuales se espera que opere el activo físico o sistema.

2.1.5.3 *Tipos de Funciones.* Según la perspectiva de MOUBRAY (2004) y la Norma SAE JA 1011 (1999) compaginan que todo activo físico de manera general cumple más de una función y el objetivo del mantenimiento es asegurarse de que continúe realizando sus funciones y por esta razón todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. También apreciamos que las funciones se dividen en categorías principales (funciones primarias y secundarias) y esta a su vez en varias subcategorías.

La ***función principal*** se caracteriza por ser la razón principal por la que se adquiere un activo físico, es de fácil reconocimiento en la mayoría de activos físicos tienen nombre en base a su función primaria. (MOUBRAY, 2004 pág. 37)

Las ***funciones secundarias*** son las funciones adicionales a la primaria y que contribuyen para que ésta pueda ejecutarse de manera satisfactoria. Para este efecto se puede tomar en consideración la ecología, seguridad, contención, confort, apariencia, protección y eficiencia. (MOUBRAY, 2004 pág. 40)

2.1.5.4 *Fallos Funcionales.* “Conocidos también como estados de falla que se presenta cuando un activo físico no es capaz de cumplir una función respecto a los parámetros de funcionamientos requeridos y considerados como aceptables por parte del usuario”. (MOUBRAY, 2004)

Son considerados como fallos funcionales la incapacidad de cumplir con su función principal o sus funciones secundarias por las que fue adquirido un activo físico. (MOUBRAY, 2004 pág. 9)

2.1.5.5 *Modos de Falla.* Según la norma SAE JA 1011 (1999) el modo de fallo es un evento único que causa un fallo funcional.

Según MOUBRAY (2004) respalda el concepto anterior expresando que los modos de fallo razonablemente posibles se analizan incluyendo lo ocurridos en equipos similares o que operan en el mismo contexto, fallas que son prevenidas por regímenes de

mantenimiento y fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

2.1.5.6 *Efectos de falla.* “Este proceso consiste en crear una lista de efectos de falla que describe al ocurrir cada modo de falla, debe incluir toda la información necesaria de apoyo para evaluación de consecuencias de la falla tales como: evidencias de la falla ocurrida, el modo que representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente, manera de afectación a la producción o a las operaciones, daños físicos causados por la falla y que debe hacerse para reparar la falla”. (MOUBRAY, 2004 pág. 10)

2.1.5.7 *Hoja de Información RCM.* Analizando los conceptos de (MOUBRAY, 2004) decimos que la hoja de Información RCM permite determinar las funciones del equipo, identificar los fallos funcionales así como los modos de falla que son los causantes de los mismos, se puede añadir diferentes niveles de modos de fallos hasta llegar a la causa raíz del fallo funcional, tenemos también un área que distingue los efectos que son capaces de provocar los mismos. Es decir en esta hoja adjuntamos toda la información antes descrita en párrafos anteriores.

**Tabla 2-1** Hoja de Información RCM

<b>EP-EMAPA-A</b>	<b>Red de Bombeo</b>	<b>Facilitador</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hoja N°</b>	
<i>Hoja de Información</i>	Socavón	Romel Cárdenas	20/10/2017		
<i>RCM</i>	Estación de Bombeo		<b>Fecha</b>	<b>de</b>	
<b>2017</b>	SOCAVON		20/10/2017		
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>					
<b>Función</b>	<b>Falla Funcional</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>MODO DE FALLA (2)</b>	<b>MODO DE FALLA (3)</b>	<b>EFECTO DEL MODO DE FALLA</b>

**Fuente:** Autor.

2.1.5.8 *Consecuencias.* Para la evaluación de las consecuencias de los modos de fallos MOUBRAY (2004) nos indica que se debe evaluar según el diagrama de decisión que lo tenemos en el ANEXO W del presente trabajo donde se podrá apreciar claramente el impacto de los mismos en las funciones que el activo debe desempeñar.

Además de indicarnos si las consecuencias son operacionales o no operacionales permite evaluar qué tipo de tareas se pueden tratar respecto al caso indicando que sean técnicamente factibles y que merezcan la pena hacer.

2.1.5.9 *Tareas de Mantenimiento*. MOUBRAY (2004) muestra el tipo de tareas que se pueden ejecutar dentro del plan de mantenimiento lo cual indica que las tareas propuestas pueden ser preventivas que se adelanten al fallo, tareas predictivas basadas en el monitoreo a la condición de los equipos que tienen identificable el periodo P-F. Como un punto adicional indica que las tareas a falta de permiten tener una búsqueda de la falla, no acudir a un mantenimiento no programa o rutinas de inspección que permitan tener un control adecuado de los equipos o componentes.

2.1.5.10 *Intervalo inicial*. El intervalo inicial se puede determinar en el intervalo P-F, el reacondicionamiento y sustitución cíclica se basan en la vida útil del elemento que se analice, las tareas de las búsquedas de falla están determinadas por las consecuencias de las fallas múltiples. El tiempo con el que se trabaje puede ser tipo calendario, tiempo de funcionamiento, distancia o cualquier medida pero siempre es recomendado el tiempo calendario por su facilidad de administración. (MOUBRAY, 2004)

2.1.5.11 *Puede ser realizado por*. Puede estar dirigido a cualquier tipo de persona que se encuentre apta, pero se recomienda para las tareas de alta frecuencia que sean realizadas por los operadores que deben estar capacitados, que tengan acceso para acciones simples y confiables que puedan reportar cualquier defecto, que se tenga la seguridad que puedan tomar acción sobre los reportes o que reciban una contestación constructiva a los errores en los Diagnósticos. (MOUBRAY, 2004)

2.1.5.12 *Hoja de Decisión RCM*. Según MOUBRAY la hoja de decisión abarca la evaluación de las consecuencias, las tareas propuestas para mitigar los modos de fallo, el intervalo inicial propuesto y la persona responsable para el trabajo, aspectos que se han indicado en párrafos anteriores.

**Tabla 2-2** Hoja de Decisión RCM

EP-EMAPA-A		Red de Bombeo			Facilitador	Fecha	Hoja N°					
Hoja de Decisión		Socavón			Romel Cárdenas	20/10/2017	1					
RCM		Estación de Bombeo				Fecha	de					
2017		SOCAVON				20/10/2017	1					
Referencia de Información	Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de	Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
					S1	S2	S3					
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4

Fuente: Autor

2.1.5.13 *Plan de Mantenimiento*. Documento con una lista de tareas de mantenimiento a realizarse en una frecuencia especificada por una persona que posea un nivel de conocimientos específicos.

2.1.5.14 *Programa de Mantenimiento*. Según MOUBRAY (2008) es el planteamiento basado en el tiempo para saber cuándo se deberán ejecutar las tareas de mantenimiento.

## 2.2 Factor de potencia

“El  $\cos \varphi$  es la relación entre la potencia activa (P) y la aparente (S). En una instalación eléctrica donde todos los equipos conectados se comportan como cargas resistivas (hornos, bombillas,...) toda la potencia aparente consumida es activa por lo que  $\cos \varphi = 1$ . Pero, en una instalación eléctrica industrial, se suelen conectar máquinas que actúan como cargas inductivas (motores, transformadores) entonces aparece un desfase entre la tensión y la corriente ( $\cos \varphi < 1$ ) que implica el consumo de potencia reactiva (Q)”. (GUASCH, 2015)

Para REZENTTI (2008) el factor de potencia es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. El Factor de Potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que:



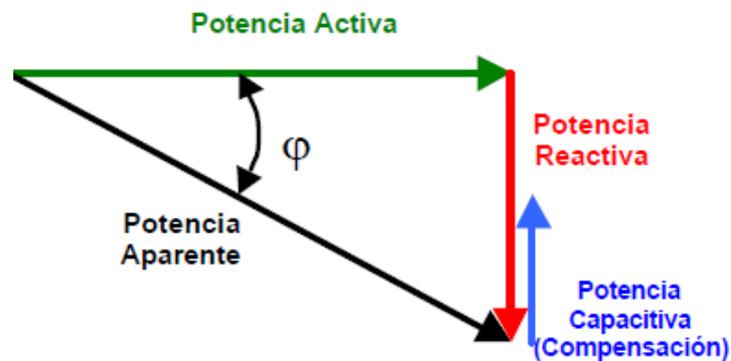
**Figura 2-3** Escala del Factor de Potencia  
Fuente: (REZENTTI M, 2008)

**2.2.1 Potencia.** Según REZENTTI (2008) la potencia es la capacidad de producir o demandar energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo.

Afirma REZENTTI (2008) que para el funcionamiento de los diferentes equipos y máquinas se encuentran presentes las siguientes potencias:

- Potencia Aparente

- Potencia Reactiva
- Potencia Activa



**Figura 2-4** Triángulo de Potencias  
Fuente: (REZENTTI M, 2008)

### 2.2.2 Método recomendado para cálculo de Potencia Capacitiva (Compensación).

Tomando en cuenta el análisis realizado por REZENTTI (2008) decimos que para determinar la potencia capacitiva faltante (Q faltante) y compensar el factor de potencia a valores requeridos por la distribuidora de energía Eléctrica, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Medir el coseno  $\varphi$  instantáneo.
2. Medir la corriente por fase del circuito.
3. Calcular la máxima potencia activa del suministro.
4. Calcular la tangente  $\varphi$  actual (se calcula con el valor de Coseno  $\varphi$  instantáneo medido).
5. Calcular la potencia capacitiva necesaria o faltante. [kVAr faltantes ]

**2.2.3 Ecuaciones necesarias para el cálculo de compensación.** Tomando como referencia la trigonometría y las fórmulas utilizadas por REZETTI (2008) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q \text{ faltante} = (tg\varphi \text{ actual} - tg\varphi \text{ deseada}) \times P \quad \text{Ecuación (1)}$$

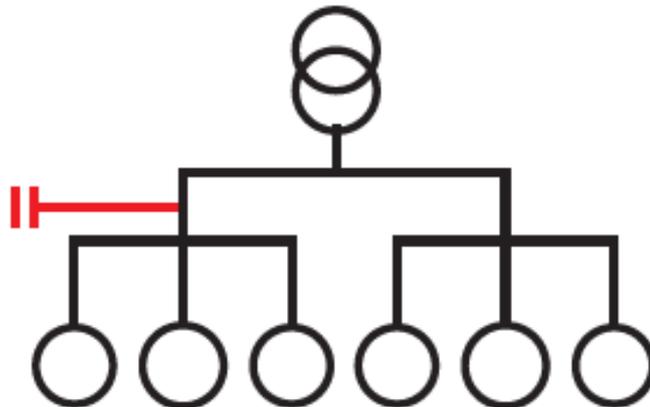
$$Tg \varphi = \frac{Q}{P} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$Q_{nuevo} = Q_{actual} - Q_{capacitivo} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación (5)}$$

**2.2.4 Compensación en grupo.** Para el DFE (2008) varias cargas de igual capacidad y periodo de trabajo, se pueden compensar con un capacitor en común, en un punto único como un centro de carga.



**Figura 2-5** Compensación grupal  
Fuente: (DFE, 2008)

## **CAPÍTULO III**

### **3. ANÁLISIS DE SITUACIÓN INICIAL DE LA RED DE BOMBEO SOCAVÓN**

#### **3.1 Información general del Empresa**

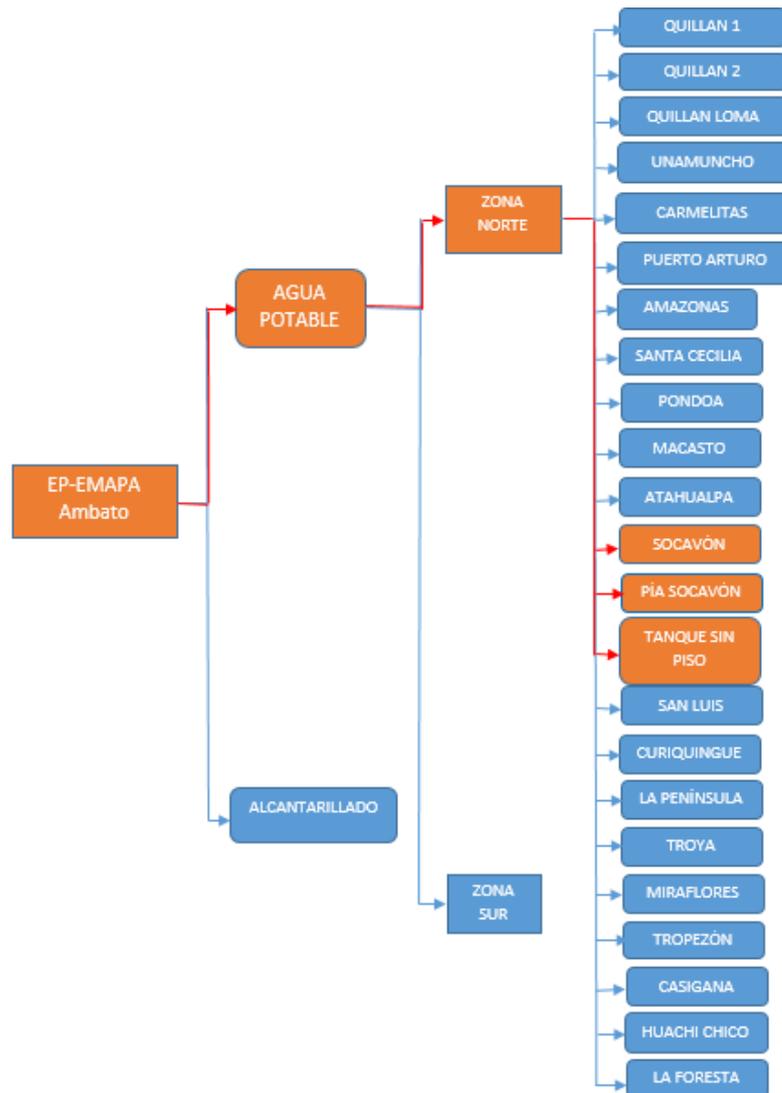
La EP-EMAPA-A es la empresa encargada del suministro de agua potable para la ciudad de Ambato por medio de diferentes etapas tales como: captación, tratamiento, bombeo, almacenamiento y distribución. Por la complejidad de la geografía de la ciudad y para poder abastecer a toda la población se encuentran diferentes captaciones, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento que bordean ciudad.

Las estaciones de bombeo se encuentran actualmente divididas por zonas tanto norte como sur respecto a su ubicación geográfica. Las estaciones que se analizan se encuentran ubicadas dentro de la zona norte como se distingue en la Figura 3-1.

Las estaciones de bombeo PIA SOCAVÓN, TANQUE SIN PISO y SOCAVÓN conforman una red de captación de vertientes y bombeo hacia el tanque de almacenamiento de “SAN LUIS”. En la Figura 3-2 podemos distinguir desde una vista satelital la ubicación geográfica de las estaciones analizadas.

#### **3.2 Proceso general de captación y tratamiento de agua en la red de bombeo SOCAVÓN**

El proceso que se efectua dentro de esta red consiste en la captacion de agua desde vertientes naturales y su respectivo bombeo hacia la cisterna de succión de la estación SOCAVÓN para luego ser impulsada hasta el tanque de almacenamiento de “SAN LUIS” donde el agua es purificada mediante suministro de cloro gas para su distribución a los habitantes de la zona norte de la ciudad.



**Figura 3-1** Estaciones de Bombeo de la zona norte de la EP-EMAPA-A.

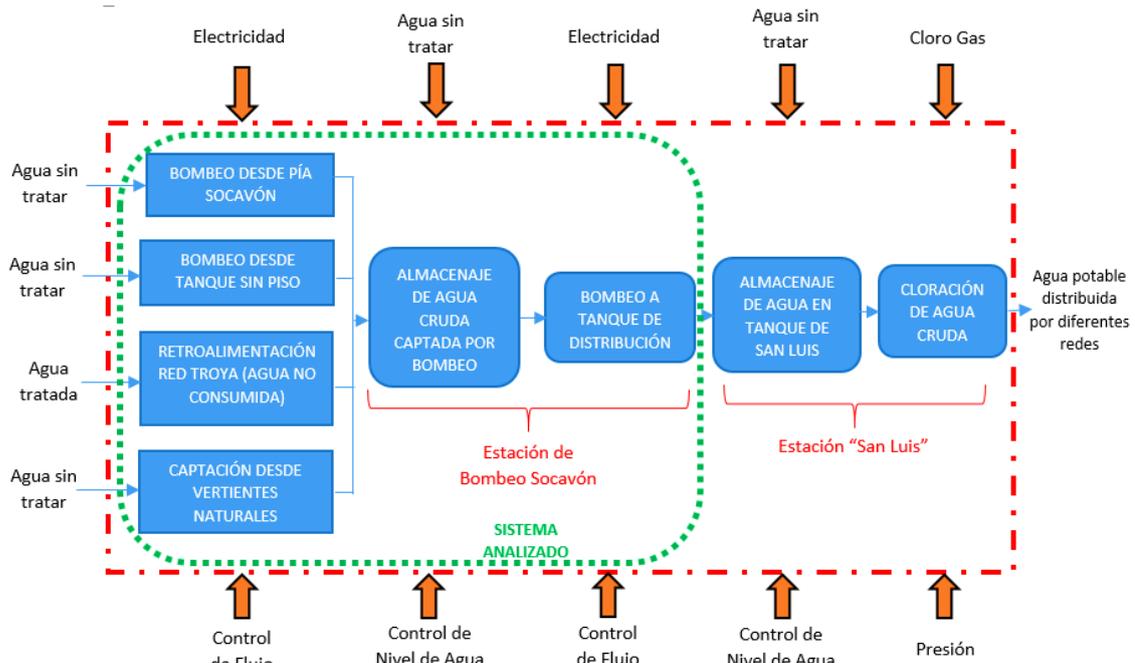
**Realizado por:** Autor.

**Fuente:** (REZENTTI M, 2008)



**Figura 3-2** Ubicación geográfica de las Estaciones de la Red de Bombeo SOCAVÓN

**Fuente:** Google Maps.



**Figura 3-3** Diagrama de Proceso del tratamiento de agua en la red de bombeo SOCAVÓN  
**Fuente:** Autor

En el diagrama de la Figura 3-3 se puede apreciar que en la fase de bombeo de agua se tiene el suministro de energía eléctrica que permite el movimiento de motores que impulsan las bombas centrífugas y en la parte de salida de cada estación de bombeo se puede tener un control de flujo. En las cisternas de succión y tanques de almacenamiento se tiene el ingreso de agua sin tratar, mismos que requieren control de nivel de agua y por último la fase de cloración es indispensable el suministro de cloro gas y deberá controlarse su presión.

### 3.3 Estación de bombeo PIA SOCAVÓN

La estación de bombeo PIA SOCAVÓN se encuentra ubicada a orillas del río Ambato junto al puente de la avenida Indoamérica en la parte posterior de la Gasolinera Primax, sitio estratégico para la captación de agua de vertientes y adopta condiciones de trabajo comunes de la serranía ecuatoriana; se tiene un equipo de bombeo principal y uno en stand by de similares características mismos que trabajan de manera alternada mensualmente. Las dimensiones de la estación se indican en el ANEXO A.

La estación tiene como propósito el suministrar agua de vertiente hacia la estación de bombeo “El SOCAVÓN” y sumar al caudal de ingreso de las demás captaciones para

juntos alcanzar el caudal que demanda la población. Está compuesta por diferentes sistemas con sus respectivos componentes que serán analizados.

**Tabla 3-1** Componentes de la Estación PIA SOCAVÓN

<b>COMPONENTES DE LA ESTACIÓN PIA SOCAVÓN</b>	
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>	
	Pozo
	Tubería
<b>CISTERNA DE SUCCIÓN</b>	
	Válvula de pie
	Tubería de alivio para reboso
	Sensor de nivel tipo flotador
<b>SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO</b>	
<b>MOTOR ELÉCTRICO</b>	
	Rotor
	Estator
	Ventilador
	Rodamientos: 6208-2ZJ/C3 - 6205-2ZJ/C3
	Energía Eléctrica
<b>BOMBA CENTRÍFUGA</b>	
	Voluta
	Impulsor cerrado de acero inoxidable de 10"
	Sello Mecánico 1 5/8 "
	Cople
	Oring
	Anillo de desgaste
	Eje
<b>ACCESORIOS HIDRÁULICOS</b>	
	Tubería
	Válvulas de compuerta
	Válvulas Check
	Válvulas de alivio
	Reducciones y Ampliaciones
	Macro medidor
	Válvula de pie
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL</b>	
	Conductores
	Breaker de 3A
	Contactador
	Fusibles de 3A
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA</b>	
	Conductores
	Breaker de 150A
	Variador de Frecuencia
	Fusibles de 125A

**Fuente:** Autor.

Para saber las condiciones actuales de funcionamiento de la estación se realizó una inspección del lugar y se tomó datos para saber la situación actual de los equipos de bombeo y las instalaciones eléctricas del lugar.

**3.3.1 Conjuntos Motor-Bomba S-140 y S-150.** Dentro de la inspección visual se apreció el mal anclaje a la cimentación por parte de los conjuntos motor bomba.



**Figura 3-4** Conjunto Motor bomba  
Fuente: Autor.

Al tomar datos de vibraciones con el equipo FLUKE 810 se pudo diagnosticar el estado de rodamientos de los equipos de bombeo. Para el conjunto S-140 se determinó que el rodamiento del extremo de accionamiento presentaba desgaste pero con una gravedad moderada, mientras que para el rodamiento del extremo libre se encontraba en desgaste con un índice de gravedad bajo, el análisis completo se aprecia en el ANEXO D.

**Diagnóstico**

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Desgaste En Rodamiento En El Extremo De Accionamiento	Moderada	29/100	
Desgaste De Un Cojinete De Bolas En El Extremo Libre	Baja	25/100	

**Figura 3-5** Diagnóstico de la condición de los rodamientos del conjunto S-140  
Fuente: Autor

Para el conjunto S-150 se obtuvo un Diagnóstico de desgaste en el rodamiento del extremo libre con un índice de gravedad bajo, el análisis completo se determina en el ANEXO E.

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Desgaste De Un Cojinete De Bolas En El Extremo Libre	Baja	19/100	

**Figura 3-6** Diagnóstico de la condición de los rodamientos del conjunto S-150  
Fuente: Autor

**3.3.2 Tablero eléctrico.** Por inspección visual se determinó que el tablero eléctrico de control y potencia se encuentra en condiciones precarias y necesita un reacondicionamiento que se encargará el personal de electromecánica.



**Figura 3-7** Tablero Eléctrico de PIA SOCAVON

**Fuente:** Autor

El análisis termográfico mediante la cámara FLUKE Ti 32 se pudo observar que existen puntos flojos. El informe general se encuentra en el ANEXO I.



**Figura 3-8** Termograma de Fusibles del circuito de potencia de PIA SOCAVÓN

**Fuente:** Autor

Al realizar la medición de parámetros eléctricos con el analizador de redes POWER PAD, modelo 3945, se determinó para esta estación un factor de potencia de 0.82 lo que daba oportunidad a tener una penalización en la planilla de energía ante la EEASA. El análisis del factor de potencia se muestra en el ANEXO L.



**Figura 3-9** Análisis de factor de potencia de PIA SOCAVÓN  
**Fuente:** Autor

### 3.4 Estación de bombeo TANQUE SIN PISO

La estación de bombeo TANQUE SIN PISO se ubica a orillas del río Ambato en el sector de las palmeras ubicadas aproximadamente entre las otras 2 estaciones en estudio y posee un solo equipo de bombeo. Las dimensiones de la estación se indican en el ANEXO B.

De forma similar alimenta a la estación “El SOCAVÓN” entregando un caudal promedio de 4 l/s y está compuesta por diferentes sistemas con sus respectivos componentes que serán analizados. La lista de sistemas y componentes la encontramos en la Tabla 3-2.

Al inspeccionar el lugar se pudo evaluar sus instalaciones eléctricas y mecánicas.

**3.4.1 Conjunto Motor-Bomba S-130.** Dentro de la inspección visual se distingue que se necesita realizar un adecuado anclaje con su respectiva cimentación que permita la adecuada mantenibilidad del equipo. De igual forma la parte eléctrica del motor requiere un especial cuidado al tener sus capacitores de arranque de una manera libre sin las protecciones adecuadas.



**Figura 3-10** Conjunto motor-bomba S-130  
**Fuente:** Autor

**Tabla 3-2** Componentes de la Estación de bombeo TANQUE SIN PISO

<b>COMPONENTES DE LA ESTACIÓN TANQUE SIN PISO</b>	
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>	
Pozo	
<b>CISTERNA DE SUCCIÓN</b>	
Válvula de pie	
Tubería de alivio para reboso	
Sensor de nivel tipo flotador	
<b>SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO</b>	
<b>MOTOR ELÉCTRICO</b>	
Rotor	
Estator	
Ventilador	
Capacitores	
Rodamientos: 6208-2ZJ/C3 - 6205-2ZJ/C3	
Energía Eléctrica	
<b>BOMBA CENTRÍFUGA</b>	
Voluta	
Impulsor cerrado de acero inoxidable de 6"	
Sello Mecánico 1 1/8 "	
Cople	
Oring	
Anillo de desgaste	
Eje	
<b>ACCESORIOS HIDRÁULICOS</b>	
Tubería	
Válvulas de compuerta	
Válvula de pie	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL</b>	
Conductores	
Contactor	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA</b>	
Conductores	
Breaker	

Fuente: Autor

Al diagnosticar las vibraciones del conjunto S-130 se determinó que el rodamiento del extremo de accionamiento y el rodamiento del extremo libre presentaban desgaste con una gravedad moderada, y de forma adicional un fallo adicional que no identificó el equipo FLUKE 810 pero se asume que es el inadecuado anclaje que provoca vibraciones excesivas al sistema; el análisis completo se aprecia en el ANEXO E.

**Diagnóstico**

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Fallo No Estándar Detectado	Seria	63/100	
Desgaste En Rodamiento En El Extremo De Accionamiento	Moderada	36/100	
Desgaste De Un Cojinete De Bolas En El Extremo Libre	Moderada	30/100	

**Figura 3-11** Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-130

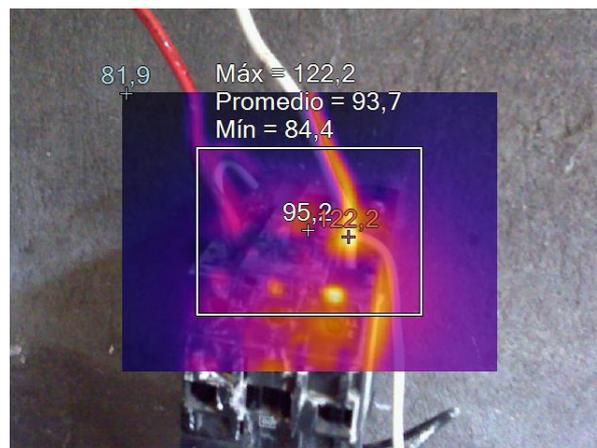
Fuente: Autor

**3.4.2 Instalaciones eléctricas.** Por inspección visual se aprecia las instalaciones eléctricas precarias que alimentan el motor eléctrico, se encuentra un nido de pájaros en el tablero del sistema de seguridad y el contactor en pésimas condiciones necesitando un reacondicionamiento total de este sistema.



**Figura 3-12** Instalaciones eléctricas del TANQUE SIN PISO  
**Fuente:** Autor

El análisis termográfico mediante la cámara FLUKE Ti 32 permitió observar que existen puntos flojos y el informe general se encuentra en el ANEXO J.



**Figura 3-13** Termograma de contactor  
**Fuente:** Autor

Al realizar la medición de parámetros eléctricos que alimentan la bobina del contactor se determinó una caída de tensión excesiva (182 V) que no permitía que se enclave de una manera apropiada.



**Figura 3-14** Voltaje de Ingreso al TANQUE SIN PISO  
Fuente: Autor

### **3.5 Estación de bombeo SOCAVÓN**

La estación de bombeo SOCAVÓN ubicada a orillas del río Ambato detrás del parque recreacional SOCAVÓN posee equipo de bombeo principal vertical y uno en stand by de similares características mismos que trabajan de manera alternada mensualmente. Las dimensiones de la estación se encuentran en el ANEXO C.

La estación tiene como propósito impulsar agua de las vertientes del sitio y las que llegan de PIA SOCAVÓN y del TANQUE SIN PISO hacia la estación “SAN LUIS” donde será almacenada, clorificada y distribuida a la ciudadanía de la zona Norte. Está compuesta por diferentes sistemas con sus respectivos componentes que serán analizados. El nombre de sistemas y componentes que la conforman se ubican en la Tabla 3-3.

Para identificar condiciones actuales de funcionamiento de la estación de forma similar a las anteriores se inspeccionó el lugar y se tomó datos para saber la situación actual de los equipos de bombeo y las instalaciones eléctricas del lugar.

**3.5.1 Conjuntos Motor-Bomba S-110 y S-120.** Los equipos poseen una adecuada cimentación y anclaje que permite que las vibraciones en el sistema sean mínimas.

Estos conjuntos motor bomba son los más críticos del sistema de impulsión de agua cruda hacia la estación SAN LUIS.



**Figura 3-15** Conjuntos motor-bomba S-110 y S120  
Fuente: Autor

Al tomar mediciones en las vibraciones con el equipo FLUKE 810 se pudo diagnosticar el estado de rodamientos de los equipos de bombeo. Para el conjunto S-110 se determinó que sus rodamientos tenían desgaste moderado, el análisis completo se aprecia en el ANEXO G.

**Diagnóstico**

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Desgaste De Un Cojinete De Bolas En El Extremo Libre	Moderada	27/100	
Desgaste En Rodamiento En El Extremo De Accionamiento	Moderada	26/100	

**Figura 3-16** Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-110  
Fuente: Autor

Para el conjunto S-120 se obtuvo un Diagnóstico de desgaste moderado en ambos rodamientos, el análisis completo se determina en el ANEXO E.

**Diagnóstico**

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Holgura Del Extremo Libre	Moderada	34/100	
Desgaste En Rodamiento En El Extremo De Accionamiento	Moderada	30/100	

**Figura 3-17** Diagnóstico de rodamientos del conjunto S-120  
Fuente: Autor

El conjunto S-120 posee un mayor desgaste por tener un mayor tiempo de operación respecto al conjunto S-110 en la fecha de evaluación.

**Tabla 3-3** Componentes de la Estación SOCAVÓN

<b>COMPONENTES DE LA ESTACIÓN SOCAVÓN</b>	
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>	
	Pozos
	Tubería
	Desarenador
<b>CISTERNA DE SUCCIÓN</b>	
	Válvula de pie
	Tubería de alivio para reboso
	Sensor de nivel tipo flotador
<b>SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO</b>	
<b>MOTOR ELÉCTRICO</b>	
	Rotor
	Estator
	Aceite Hidráulico
	Rodamientos: 7322 - 6215
	Energía Eléctrica
<b>BOMBA CENTRÍFUGA</b>	
	Rodete
	Eje
	Cople
	Prensaestopero
	Ducto de aspiración
	Ducto de descarga
	Bujes
	Válvula de pie
	Carcasa
<b>ACCESORIOS HIDRÁULICOS</b>	
	Tubería
	Válvulas de compuerta
	Válvulas Check
	Válvulas de alivio
	Reducciones y Ampliaciones
	Manómetros
	Válvula de pie
<b>SISTEMA DE MEDICION DE TURBIEDAD</b>	
	Turbidimetro
	Bomba centrífuga
	Tubería
<b>SISTEMA DE TRANSFORMACION</b>	
	Transformador seco
	Conductores
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL</b>	
	Conductores
	Breaker de 3A
	Contactador
<b>SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA</b>	
	Conductores
	Breaker
	Variador de Frecuencia

Fuente: Autor

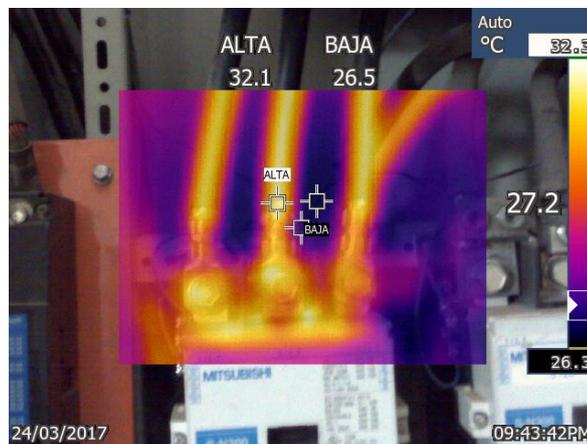
**3.5.2 Tablero eléctrico.** Al inspeccionar visualmente se determinó que se requiere una limpieza total del tablero, y una mejor estética en sus instalaciones.

Este tablero eléctrico es el más robusto de los que se analiza en el trabajo debido a la potencia de los equipos de bombeo que se encuentran en este lugar.



**Figura 3-18** Tablero eléctrico de la estación SOCAVÓN  
**Fuente:** Autor

El análisis termográfico mediante la cámara FLUKE Ti 32 nos permitió observar que existen puntos flojos en el sistema eléctrico. El informe general se encuentra en el ANEXO K.



**Figura 3-19** Termograma del contactor  
**Fuente:** Autor

Midiendo los parámetros eléctricos globales de la estación que alimenta de forma paralela a la estación TANQUE SIN PISO se obtuvo un factor de potencia de 0.93. El análisis del factor de potencia se muestra en el ANEXO M.

Dentro de la estación generalmente el bombeo se ejecuta con una frecuencia de 58.5 Hz mediante el variador de frecuencia.



**Figura 3-20** Análisis del factor de potencia de SOCAVÓN  
**Fuente:** Autor

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y PROPUESTA PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

#### 4.1 Descripción de la importancia del plan de mantenimiento

La EP-EMAPA-A al ser la empresa encargada del suministro de agua potable para la zona norte y de las fábricas y empresas del Parque Industrial de la ciudad de Ambato mediante ésta red de bombeo requiere equipos con alta confiabilidad y disponibilidad que impidan el corte de servicio por problemas electromecánicos en sus componentes o sistemas.

**4.1.1 Estación de bombeo PIA SOCAVÓN.** La estación se compone de sistema de captación, sistema hidráulico de bombeo, sistema eléctrico de control y sistema eléctrico de potencia. Tiene como objetivo el captar el agua de la vertiente de la orilla del río Ambato y transportar herméticamente el fluido hacia la estación de bombeo SOCAVÓN con un caudal no menor de 9 l/s.

4.1.1.1 *Análisis de los Modos de Fallo y Efectos (AMFE).* Para el análisis de los modos de fallo y sus respectivos efectos se utiliza la hoja de información de RCM, donde se realiza una división por sistemas donde se identifican sus respectivas funciones y mediante esto se puede determinar sus fallos funcionales que permitan la búsqueda de los modos de fallo en sus diferentes niveles de causalidad; una vez identificados los modos de fallo se describe el efecto que causa.

El ANEXO N permite observar la hoja de información completa de la estación, para que se tenga una idea de la metodología utilizada se emplea una pequeña parte de la misma que observamos en la Tabla 4-1.

4.1.1.2 *Hoja de decisión.* Una vez llenada la hoja de información con todos los datos se procede secuencialmente a llenar la hoja de decisión en la cual se evalúa las

consecuencias mediante el ANEXO W y se plantea una tarea de mantenimiento para combatir dichas consecuencias; para establecer las frecuencias para realizar cada actividad de mantenimiento tomamos como referencia los datos obtenidos por parte del personal de electromecánica y el operador de las estaciones. La hoja de Decisión completa de la estación se aprecia en el ANEXO O, para fines didácticos revise la Tabla 4-2.

4.1.1.3 *Plan de Mantenimiento de la estación PIA SOCAVÓN.* Como último punto se elabora el plan de mantenimiento identificando la parte de la estación a la que corresponde cada actividad y analizando la máxima optimización de las tareas de mantenimiento propuestas. El Plan de mantenimiento completo para la estación se ubica en la Tabla 4-3.

**4.1.2 Estación de Bombeo TANQUE SIN PISO.** La estación se compone de sistema de captación, sistema hidráulico de bombeo y un sistema eléctrico que activa el contactor para el funcionamiento del conjunto motor bomba.

La estación tiene como objetivo captar el agua de la vertiente de la orilla del río Ambato y transportar herméticamente el fluido hacia la estación de bombeo SOCAVÓN con un caudal no menor de 4 l/s.

4.1.2.1 *Análisis de los Modos de Fallo y Efectos (AMFE).* De forma similar que en la estación PIA SOCAVÓN se toman datos y se llena la hoja de información del RCM con lo que se distingue sus funciones, fallos funcionales, modos de falla con sus respectivos efectos para todos y cada uno de los sistemas.

Mediante el ANEXO P se aprecia la hoja de información donde se distingue las características de cada sistema y su respectivo análisis, para tener una mejor comprensión se muestra un extracto en la Tabla 4-4.

4.1.2.2 *Hoja de decisión.* Con los datos de la hoja de información pasamos a la evaluación de consecuencias en la hoja de decisión y proponiendo tareas de mantenimiento, su frecuencia y el responsable de ejecutar.

La información completa se considera en el ANEXO Q mientras que una parte para considerar la metodología aplicada se ubica en la Tabla 4-5.

4.1.2.3 *Plan de Mantenimiento de la estación TANQUE SIN PISO.* Al elaborar el plan de mantenimiento se optimizan las tareas y se las separa para cada parte de la estación para una mejor comprensión. La frecuencia y el responsable es un aspecto importante dentro del plan. El plan de mantenimiento para la estación se ubica en la Tabla 4-6.

**4.1.3 Estación de Bombeo SOCAVÓN.** La estación posee un sistema de captación de diferentes vertientes del sector, sistema hidráulico de bombeo, sistema eléctrico de control y un sistema eléctrico de potencia para el funcionamiento de los conjuntos motor bomba.

La estación tiene como objetivo el captar el agua de la vertiente y de las alimentaciones de PIA SOCAVÓN y del TANQUE SIN PISO para luego transportar herméticamente el fluido hacia la estación de bombeo SAN LUIS con un caudal no menor de 60 l/s.

4.1.3.1 *Análisis de los Modos de Fallo y Efectos (AMFE).* Con la misma metodología se completa la hoja de información del RCM con sus características propias de cada sistema.

Por medio del ANEXO R se puede apreciar la hoja de información completa de la estación, pero mediante la Tabla 4-7 se coloca una muestra de la misma.

4.1.3.2 *Hoja de Decisión.* Con todas las características se puede evaluar las consecuencias y proponer actividades de mantenimiento en la hoja de decisión cuya información completa se distingue en el ANEXO S.

Para comprensión de la metodología aplicada de evaluación según el diagrama de decisión se muestra la Tabla 4-8.

4.1.3.3 *Plan de mantenimiento de la estación SOCAVÓN.* Con todos los análisis anteriores se plantea el plan de mantenimiento para la estación.

El plan de mantenimiento completo para la estación de bombeo abarcando todos los tipos de sistema que contiene se ubica en la Tabla 4-9.

**Tabla 4-1** Hoja de información de PIA SOCAVÓN

EP-EMAPA-A		Red de Bombeo		Facilitador		Fecha		Hoja N°		
Hoja de Información		Socavón		Romel Cárdenas		20/10/2017		1		
RCM		Estación de Bombeo				Fecha		de		
2017		PIA SOCAVON				20/10/2017		1		
SISTEMA DE CAPTACIÓN										
Función		Falla Funcional		MODO DE FALLA		MODO DE FALLA (2)		MODO DE FALLA (3)		EFECTO DEL MODO DE FALLA
I	Captar el agua de la vertiente natural a la cisterna de succión de la estación	A	No capta el agua de la vertiente natural de la estación a la cisterna de succión	1	Tubería obstruida	1.1.	Acumulación de raíces y plantas acuáticas			Se puede apreciar que no se tiene ingreso de agua a la cisterna de succión de la estación mientras que al abrir el pozo se halla que todo el caudal se encuentra desviado al drenaje y tiende a escaparse por sus contornos, todo esto acompañado de una espesa vegetación acuática en la parte de ingreso a la tubería.
						1.2	Acumulación excesiva de Minerales en el interior de la tubería			Se puede apreciar que no se tiene ingreso de agua a la cisterna de succión de la estación mientras que al abrir el pozo se halla que todo el caudal se encuentra desviado al drenaje y tiene a escaparse por sus contornos, pero no se distingue ningún tipo de obstrucción en el ingreso a la tubería
		B	Capta un caudal menor de la capacidad entregada por las vertientes	1	Tubería parcialmente obstruida	1.1	Crecimiento de raíces y plantas acuáticas			Se distingue que la superficie del terreno comprendido entre el pozo de captación y la cisterna de succión mojado/húmedo mismo que provoca la disminución de caudal de ingreso en la cisterna de succión.
						1.2	Minerales adheridos a la parte interna de la tubería			Se puede apreciar una disminución en el caudal de ingreso a la cisterna de succión y acumulación del agua en el pozo que tiene a escapar al drenaje pero sin tener vegetación acuática que impida su flujo por la trayectoria de la tubería
	2			Tubería fisurada	2.1	Movimiento de tierra			Se distingue que la superficie del terreno comprendido entre el pozo de captación y la cisterna de succión mojado/húmedo mismo que provoca la disminución de caudal de ingreso en la cisterna de succión.	
					2.2	Corrosión				
	3	Pozo agrietado	3.1	Asentamiento de pozo			Se observa agua fugándose por el contorno del pozo de captación, permitiendo que el fluido se disperse por el lugar y disminuye el caudal de ingreso al tanque de succión			
	4	Válvula de compuerta de desagüe atascada en posición abierta	4.1	Oxidación			Se puede apreciar una baja en el caudal de bombeo que al inspeccionar el sistema de captación se distingue que el ingreso de agua a la cisterna es menor y que en la parte de la compuerta de desvío al drenaje se tiene fuga del agua dando paso a que el caudal se pierda en la parte de drenaje			

Fuente: Autor

**Tabla 4-2** Hoja de decisión PIA SOCAVÓN

EP-EMAPA-A			Red de Bombeo						Facilitador					Fecha	Hoja N°
Hoja de Decisión			Socavón						Romei Cárdenas					20/10/2017	1
RCM			Estación de Bombeo											Fecha	de
2017			PIA SOCAVON											20/10/2017	1
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Intervalo inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
SISTEMA DE CAPTACIÓN															
1	A	1.1	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza e inspección de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
		1.2	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza e inspección del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
	B	1.1	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza e inspección de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
		1.2	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza e inspección del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
		2.1	S	N	N	S	S						Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		2.2	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza e inspección del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
3.1	S	N	N	S	S						Inspección y control visual del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador		
4.1	S	N	N	S	N	S						Limpieza e inspección de la válvula de compuerta en la parte de desagüe del pozo de captación	Mensual	Operador	
2	A	1.1.1	S	N	N	S	N	S					Limpieza e inspección del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador
	B	1.1	S	N	N	S	S						Inspección y control visual de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador
		2.1	S	N	N	S	S						Inspección y control visual de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador

Fuente: Autor



**Tabla 4-3 Plan de Mantenimiento para PIA SOCAVÓN**

		<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA ESTACIÓN PIA SOCAVÓN</b>		
Nº	PARTE	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
1	Pozo de Captación	Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		Inspección y control del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspeccionar y realizar limpieza de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
		Inspección y limpieza de la válvula de compuerta en la parte de desagüe de la captación	Mensual	Operador
2	Tubería desde la captación hasta la cisterna de succión	Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		Inspeccionar y realizar limpieza del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
3	Cisterna de Succión	Inspección y control de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspección y limpieza del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador
		Limpieza de la válvula de pie en su totalidad	Mensual	Operador
		Inspección de parámetros eléctricos que alimentan el sensor de nivel tipo switch	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección del estado físico y las propiedades herméticas del sensor de nivel	6 meses	Asistente de Electromecánica
4	Conjunto Motor - Bomba S-140, S-150	Inspección de fugas de agua en la carcasa de la bomba	Diario	Operador
		Lubricar rodamientos con adecuado lubricante y con la cantidad apropiada	Mensual	Operador
		Inspección del libre movimiento del eje del motor y de la bomba	Mensual	Operador
		Realizar la medición, análisis de los parámetros eléctricos del motor eléctrico	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis de vibraciones en el conjunto motor bomba	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Ajuste de anclaje del conjunto motor bomba a su cimentación	6 meses	Operador
		Inspección del ajuste de pernos entre accesorios hidráulicos	6 meses	Operador
		Comprobación del equilibrio eléctrico y parámetros eléctricos de funcionamiento del motor	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Retirar la tapa del ventilador y realizar la Inspección y ajuste de ventilador	Anual	Asistente de Electromecánica

**Tabla 4-4 (Continuación) Plan de Mantenimiento para PIA SOCAVÓN**

5	Accesorios Hidráulicos	Inspección del caudal de ingreso a la estación Socavón	Diario	Operador
		Inspección de la trayectoria de la tubería de PIA SOCAVON hasta la estación Socavón	Semanal	Operador
		Inspección del funcionamiento de las válvulas aliviadoras de presión	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y limpieza completa de las válvulas Check	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y limpieza de la válvula aliviadora de presión	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y análisis de parámetros eléctricos que alimentan al macro medidor de salida de la estación	6 meses	Asistente de Electromecánica
6	Circuito de Control	Inspeccionar el estado del contactor, enclavamiento de su bobina y presencia de vibraciones en el mismo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición de voltaje entregado por el transformador	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección de valores de corrientes que circulan en el circuito de control	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición y Análisis de parámetros eléctricos en el circuito de control del sistema de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis termográfico al circuito de control del sistema de bombeo	6 meses	Analista Eléctrico
		Medir parámetros eléctricos que alimentan la bobina del contactor	6 meses	Asistente de Electromecánica
7	Circuito de potencia	Inspección de valores de corrientes que circulan en el circuito de potencia	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección, limpieza y control del adecuado funcionamiento del variador	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición y Análisis de parámetros eléctricos en el circuito de potencia del sistema de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis termográfico al circuito de potencia del sistema de bombeo	6 meses	Analista Eléctrico
		Medir parámetros eléctricos que alimentan al variador de frecuencia	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medir parámetros eléctricos que alimentan los equipos de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica

**Fuente:** Autor

Cada estación de bombeo en estudio tiene diferente contexto operacional, sistemas o componentes con diferentes características por lo cual se debe tener en cuenta cada detalle para el respectivo análisis.

**Tabla 4-5** Hoja de información del TANQUE SIN PISO

EP-EMAPA-A		Red de Bombeo		Facilitador		Fecha		Hoja N°										
Hoja de Información		Socavón		Romel Cárdenas		20/10/2017		1										
RCM		Estación de Bombeo				Fecha		de										
2017		TANQUE SIN PISO				20/10/2017		1										
SISTEMA DE CAPTACIÓN																		
Función		Falla Funcional		MODO DE FALLA		MODO DE FALLA (2)		MODO DE FALLA (3)		EFECTO DEL MODO DE FALLA								
1	Captar el agua de la vertiente natural a la cisterna de succión de la estación	A	No capta el agua de la vertiente natural de la estación a la cisterna de succión	1	Pozo colapsado	1.1.	Asentamiento de pozo			Se puede apreciar que no se tiene ingreso de agua a la cisterna de succión de la estación mientras que al verificar el contorno del pozo se distingue el agua dispersa por el lugar y la pared del pozo colapsado								
						1.2.	Tubería de rebose obstruida	1.2.1.	Acumulación de minerales y sedimentos									
		B	Capta un caudal menor de la capacidad entregada por las vertientes	1	Pozo agrietado	1.1.	Asentamiento de pozo			Se observa agua fugándose por el contorno del pozo de captación, permitiendo que el fluido se disperse por el lugar y disminuye el caudal de ingreso al tanque de succión de la misma estación y por ende el caudal de ingreso a la estación Socavón								
2	Contener el agua de las vertientes de la estación para su posterior bombeo	A	No contiene el agua de las vertientes de la estación para su posterior bombeo	1	Cisterna colapsada	1.1.	Tubería de rebose obstruida	1.1.1	Acumulación de minerales y sedimentos	La cisterna de la estación no tiene la capacidad de contener el agua de la vertiente debido al colapso de la cisterna la misma que se rompe por el incremento de presión dentro de la misma debido a la obstrucción de la tubería de desagüe por rebose.								
										B	Contiene una parte del caudal entregado por las vertientes	1	Paredes agrietadas	1.1.	Asentamiento de la cisterna			Se tiene un flujo de agua hacia el exterior dando paso a humedades en el contorno de la cisterna, reduciendo la capacidad de bombeo de la estación ya que se tiene una fuga del caudal de agua que entrega la vertiente
										2		Filtración de agua hacia la superficie	2.1.	Asentamiento de la cisterna			La cisterna no es adecuadamente impermeabilizada lo que se comprueba teniendo una reducción en el caudal de agua que contiene la cisterna respecto al que se entrega en el ojo de agua y dando paso a una superficie húmeda en la estación	

Fuente: Autor



**Tabla 4-6** Hoja de decisión del TANQUE SIN PISO

EP-EMAPA-A			Red de Bombeo					Facilitador					Fecha	Hoja N°			
Hoja de Decisión			Socavón					Romel Cárdenas					20/10/2017	1			
RCM			Estación de Bombeo										Fecha	de			
2017			TANQUE SIN PISO										20/10/2017	1			
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de					Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3								
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>																	
1	A	1.1.	S	N	N	S	S							Inspección y control visual del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador	
		1.2.1.	S	N	N	S	N	S						Limpieza e inspección del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador	
2	B	1.1.	S	N	N	S	S							Inspección y control visual del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador	
		1.1.1	S	N	N	S	N	S						Limpieza e inspección del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador	
2	B	1.1.	S	N	N	S	S							Inspección y control visual de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador	
		2.1.	S	N	N	S	S							Inspección y control visual de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador	

Fuente: Autor

**Tabla 4-7 Plan de Mantenimiento para TANQUE SIN PISO**

		<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA ESTACIÓN TANQUE SIN PISO</b>		
Nº	PARTE	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
1	Pozo de Captación y Cisterna de Succión	Inspección y control del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspección y control de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspección y limpieza del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador
		Limpieza de la válvula de pie en su totalidad	Mensual	Operador
		Inspección de parámetros eléctricos que alimentan el sensor de nivel tipo switch	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección del estado físico y las propiedades herméticas del sensor de nivel	6 meses	Asistente de Electromecánica
4	Conjunto Motor - Bomba S-130	Inspección de fugas de agua en la carcasa de la bomba	Diario	Operador
		Lubricar rodamientos con adecuado lubricante y con la cantidad apropiada	Mensual	Operador
		Inspección del libre movimiento del eje del motor y de la bomba	Mensual	Operador
		Realizar la medición, análisis de los parámetros eléctricos del motor eléctrico y comprobar el equilibrio eléctrico del mismo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis de vibraciones en el conjunto motor bomba	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Ajuste de anclaje del conjunto motor bomba a su cimentación	6 meses	Operador
		Retirar la tapa del ventilador y realizar la Inspección y ajuste de ventilador	Anual	Asistente de Electromecánica
		Limpieza integral del conjunto motor-bomba	Mensual	Operador
5	Accesorios Hidráulicos	Inspección del caudal de ingreso a la estación Socavón	Diario	Operador
		Inspección de la trayectoria de la tubería del TANQUE SIN PISO hasta la estación Socavón	Semanal	Operador
6	Circuito Eléctrico	Inspeccionar el estado del contactor, enclavamiento de su bobina y presencia de vibraciones en el mismo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición de voltaje entregado por el transformador	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección de valores de corrientes que circulan en el circuito eléctrico	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición y Análisis de parámetros eléctricos en el circuito eléctrico del sistema de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis termográfico al circuito eléctrico del sistema de bombeo	6 meses	Analista Eléctrico
		Medir parámetros eléctricos que alimentan la bobina del contactor	6 meses	Asistente de Electromecánica

Fuente: Autor

**Tabla 4-8** Hoja de información del SOCAVÓN

EP-EMAPA-A		Red de Bombeo		Facilitador		Fecha		Hoja N°		
Hoja de Información		Socavón		Romel Cárdenas		20/10/2017				
RCM		Estación de Bombeo				Fecha		de		
2017		SOCAVON				20/10/2017				
SISTEMA DE CAPTACIÓN										
Función		Falla Funcional		MODO DE FALLA		MODO DE FALLA (2)		MODO DE FALLA (3)		EFECTO DEL MODO DE FALLA
1	Captar el agua de las vertientes natural al desarenador de la estación	A	No capta el agua de las vertientes naturales al desarenador	1	Tubería obstruida	1.1.	Acumulación de raíces y plantas acuáticas			Se puede apreciar que no se tiene ingreso de agua a la cisterna de succión de la estación mientras que al inspeccionar los pozos se halla que todo el caudal se encuentra desviado al drenaje y tiende a escaparse por sus contornos, todo esto acompañado de una espesa vegetación acuática en la parte de ingreso a la tubería.
						1.2.	Acumulación excesiva de Minerales en el interior de la tubería			Se puede apreciar que no se tiene ingreso de agua a la cisterna de succión de la estación mientras que al inspeccionar los pozos se halla que todo el caudal se encuentra desviado al drenaje y tiene a escaparse por sus contornos, pero no se distingue ningún tipo de obstrucción en el ingreso a la tubería
		B	Capta un caudal menor de la capacidad entregada por las vertientes	1	Tubería parcialmente obstruida	1.1	Crecimiento de raíces y plantas acuáticas			Se distingue que la superficie del terreno comprendido entre el pozo de captación y la cisterna de succión mojado/húmedo mismo que provoca la disminución de caudal de ingreso en la cisterna de succión.
						1.2	Minerales adheridos a la parte interna de la tubería			Se puede apreciar una disminución en el caudal de ingreso a la cisterna de succión y acumulación del agua en el pozo que tiene a escapar al drenaje pero sin tener vegetación acuática que impida su flujo por la trayectoria de la tubería
				2	Tubería fisurada	2.1	Movimiento de tierra			Se distingue que la superficie del terreno comprendido entre el pozo de captación y la cisterna de succión mojado/húmedo mismo que provoca la disminución de caudal de ingreso en la cisterna de succión.
						2.2	Corrosión			
3	Pozo agrietado	3.1	Asentamiento de pozo			Se observa agua fugándose por el contomo del pozo de captación, permitiendo que el fluido se disperse por el lugar y disminuye el caudal de ingreso al tanque de succión				
2	Separar las partículas de arena del agua captada de las vertientes	A	No separa las partículas de arena contenidas del agua	1	Asentamiento total del desarenador				Se aprecia el constante ingreso de agua turbia a la cisterna de succión razón por la cual se inspecciona el desarenador encontrando que la pared que sirve para estancar la arena del agua de las vertientes ha colapsado.	
		B	Separa parte de las partículas contenidas en el agua	1	Desarenador fisurado	1.1.	Asentamiento parcial del desarenador			Se puede distinguir el ingreso constante de agua turbia y con partículas a la cisterna de succión, para la inspección del desarenador se lo seca totalmente para inspeccionar con mas cautela hallando fisuras en la pared que cumple la función de separar el agua de la arena.

Fuente: Autor



**Tabla 4-9** Hoja de decisión de SOCAVÓN

EP-EMAPA-A			Red de Bombeo				Facilitador				Fecha	Hoja N°				
Hoja de Decisión			Socavón				Romel Cárdenas				20/10/2017	1				
RCM			Estación de Bombeo								Fecha	de				
2017			SOCAVON								20/10/2017	1				
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 H2 H3			Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
							S1	S2	S3							O1
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN</b>																
1	A	1.1.	S	N	N	S	N	S						Inspeccionar y realizar limpieza de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
		1.2.	S	N	N	S	N	S						Inspeccionar y realizar limpieza del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
	B	1.1	S	N	N	S	N	S						Inspeccionar y realizar limpieza de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
		1.2	S	N	N	S	N	S						Inspeccionar y realizar limpieza del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
		2.1	S	N	N	S	S							Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		2.2	S	N	N	S	N	S						Inspeccionar y realizar limpieza del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
3.1	S	N	N	S	S							Inspección y control del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador		
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspección y control del desarenador internamente y en todo su contorno	Semanal	Operador	
	B	1.1.	S	N	N	S	S						Inspección y control del desarenador internamente y en todo su contorno	Semanal	Operador	

Fuente: Autor

**Tabla 4-10 Plan de Mantenimiento para SOCAVÓN**

		<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA ESTACIÓN SOCAVÓN</b>		
Nº	PARTE	TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	RESPONSABLE
1	<b>Pozos de Captación, Desarenador</b>	Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		Inspección y control del pozo de captación en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspección y control del desarenador internamente y en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspeccionar y realizar limpieza de la vegetación natural dentro del pozo que obstruye el ingreso del agua por la tubería hacia la cisterna de succión	Mensual	Operador
2	<b>Tubería desde la captación hasta la cisterna de succión</b>	Inspección del sitio por donde se ubica la tubería desde el pozo de captación hasta la cisterna de succión	Semanal	Operador
		Inspeccionar y realizar limpieza del interior de la tubería en el trayecto desde el pozo hasta la cisterna de succión	Mensual	Operador
3	<b>Cisterna de Succión</b>	Inspección y control de la cisterna de succión en todo su contorno	Semanal	Operador
		Inspección y limpieza del interior de la tubería de alivio por rebose de la cisterna	Mensual	Operador
		Limpieza de la válvula de pie en su totalidad	6 meses	Operador
		Inspección de parámetros eléctricos que alimentan el sensor de nivel tipo switch	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección del estado físico y las propiedades herméticas del sensor de nivel	6 meses	Asistente de Electromecánica
4	<b>Conjunto Motor - Bomba S-110, S-120</b>	Inspección del nivel de aceite de rodamientos	Mensual	Operador
		Inspección del libre movimiento del eje del motor y de la bomba	Mensual	Operador
		Realizar la medición, análisis de los parámetros eléctricos del motor eléctrico y verificar el equilibrio eléctrico del mismo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis de vibraciones en el conjunto motor bomba	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Ajuste de anclaje del conjunto motor bomba a su cimentación	6 meses	Operador
		Inspección del ajuste de pernos entre accesorios hidráulicos	6 meses	Operador
		Comprobación del equilibrio eléctrico y parámetros eléctricos de funcionamiento del motor	6 meses	Asistente de Electromecánica
5	<b>Accesorios Hidráulicos</b>	Inspección del caudal de ingreso a la estación Socavón	Diario	Operador
		Inspección de la trayectoria de la tubería de SOCAVON hasta la estación SAN LUIS	Semanal	Operador
		Inspección del funcionamiento de las válvulas aliviadoras de presión	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y limpieza completa de las válvulas Check	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y limpieza de la válvula aliviadora de presión	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección y análisis de parámetros eléctricos que alimentan al macro medidor de salida de la estación	6 meses	Asistente de Electromecánica

**Tabla 4-11 (Continuación) Plan de Mantenimiento para SOCAVÓN**

6	Bomba del turbidímetro	Lubricar rodamientos con adecuado lubricante y con la cantidad apropiada	Mensual	Operador
		Inspección del libre movimiento del eje del motor y de la bomba	Mensual	Operador
		Realizar la medición, análisis de los parámetros eléctricos del motor eléctrico	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis de vibraciones en el conjunto motor bomba	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Ajuste de anclaje del conjunto motor bomba a su cimentación	6 meses	Operador
		Inspección del ajuste de pernos entre accesorios hidráulicos	6 meses	Operador
		Comprobación del equilibrio eléctrico y parámetros eléctricos de funcionamiento del motor	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Retirar la tapa del ventilador y realizar la Inspección y ajuste de ventilador	Anual	Asistente de Electromecánica
7	Turbidímetro	Inspección de la trayectoria e la muestra de agua por la tubería desde el sistema de succión hasta el turbidímetro	Diario	Operador
		Medición y control de parámetros eléctricos que alimentan al turbidímetro	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Calibrar los parámetros del turbidímetro con los patrones adecuados	6 meses	Personal del laboratorio
8	Circuito de Control	Inspeccionar el estado del contactor, enclavamiento de su bobina y presencia de vibraciones en el mismo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición de voltaje entregado por el transformador	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección de valores de corrientes que circulan en el circuito de control	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición y Análisis de parámetros eléctricos en el circuito de control del sistema de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis termográfico al circuito de control del sistema de bombeo	6 meses	Analista Eléctrico
		Medir parámetros eléctricos que alimentan la bobina del contactor	6 meses	Asistente de Electromecánica
9	Circuito de potencia	Inspección de valores de corrientes que circulan en el circuito de potencia	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Inspección, limpieza y control del adecuado funcionamiento del variador	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medición y Análisis de parámetros eléctricos en el circuito de potencia del sistema de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Análisis termográfico al circuito de potencia del sistema de bombeo	6 meses	Analista Eléctrico
		Medir parámetros eléctricos que alimentan al variador de frecuencia	6 meses	Asistente de Electromecánica
		Medir parámetros eléctricos que alimentan los equipos de bombeo	6 meses	Asistente de Electromecánica

Fuente: Autor

## **4.2 Implementación del plan de mantenimiento**

Para poder implementar el plan de mantenimiento para cada una de las estaciones analizadas es necesario crear una programación de mantenimiento para la ejecución de las tareas, generar un formato de orden de trabajo que facilite el control de recursos necesarios para su ejecución y el respectivo etiquetado de mantenimiento para evidencia del trabajo realizado.

**4.2.1 Programación de Mantenimiento.** La programación del mantenimiento ha sido realizada en base a las condiciones actuales de la empresa en las cuales se requiere una programación de actividades para cada semana en las cuales el Jefe de Electromecánica pueda designar un día para cada actividad, es decir que se designe los recursos necesarios para la tarea sin interferir con la atención de las actividades correctivas que se puedan presentar en las demás estaciones o plantas de tratamiento de agua.

La programación de mantenimiento para la estación PIA SOCAVÓN, TANQUE SIN PISO Y SOCAVÓN se puede distinguir en los ANEXOS T, U y V respectivamente.

**4.2.2 Creación de la orden de trabajo.** La sección de electromecánica requiere la creación de órdenes de trabajo para las actividades a realizar por cada persona responsable para poder tener un control de recursos materiales como repuestos, materiales, suministros y mano de obra. Por esta razón mediante Microsoft Excel se creó un formato inteligente de órdenes de trabajo para la red de bombeo SOCAVÓN contemplando los datos de las 3 estaciones que la componen en la impulsión de agua cruda hacia la estación SAN LUIS.

La información a completar en la orden de trabajo se tomó en base de la norma INEN EN 13460:2010. La hoja de cálculo de Microsoft Excel presenta listas desplegables múltiples que permiten filtrar información según criterios dependientes.

En la parte principal de la orden trabajo se posee los logos de la empresa, el nombre del jefe de electromecánica y un calendario el cual facilita el ingreso de fechas de apertura, emisión y cierre de la misma.

	<b>ORDEN DE TRABAJO</b>		Nº																																											
	<i>DEPARTAMENTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</i>		<b>0001</b>																																											
<b>JEFE DE MTTTO:</b>	Ing. Paúl Navarrete	<b>Fecha de Emisión</b>	17/10/2017																																											
<b>Fecha de Apertura:</b>	17/10/2017	<b>Fecha de cierre</b>	17/10/2017																																											
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="text-align: center;">octubre 2017</div> <table border="1" style="font-size: small; width: 100%;"> <tr> <td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td> </tr> <tr> <td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td> </tr> <tr> <td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td> </tr> <tr> <td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td> </tr> <tr> <td>30</td><td>31</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td> </tr> </table> <div style="text-align: right; font-size: x-small;">Today: 27/11/2017</div> </div>		25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5
25	26	27	28	29	30	1																																								
2	3	4	5	6	7	8																																								
9	10	11	12	13	14	15																																								
16	17	18	19	20	21	22																																								
23	24	25	26	27	28	29																																								
30	31	1	2	3	4	5																																								

**Figura 4-1** Parte superior de la orden de trabajo  
**Fuente:** Autor

En la siguiente parte se posee listas desplegables múltiples que permiten filtrar información de una base de datos anexada al archivo.

<b>Tipo de Sistema</b>		<b>Ubicación</b>	
<b>Horas de trab. (elemento)</b>		<b>Tipo de Mantenimiento</b>	
<b>Prioridad</b>		<b>Equipo de Seguridad</b>	
<i>Justificativo de Retención</i>			

**Figura 4-2** Datos generales de la orden de trabajo  
**Fuente:** Autor

En el tipo de sistema se puede tener subsistemas de carácter eléctrico, electrónico, mecánicos o de cloración que son los que se dividen dentro de nuestra sección; la ubicación permite filtrar de que estación de bombeo se habla, las horas de trabajo del subsistema o componente, tipo de mantenimiento que requiere si es correctivo o preventivo, la prioridad para realizar el trabajo con el equipo de seguridad que requiera y su respectivo justificativo de retención para la generación de la orden de trabajo.

En la siguiente parte se tiene igualmente listas desplegables múltiples que filtran datos tales como tipos de anomalías que se pueden presentar en base a los sistemas seleccionados anteriormente, de esta parte se obtiene las posibles anomalías y en base a eso un conjunto de posibles causas del fallo. La parte defectuosa se obtendrá en base a que estación de bombeo estamos tratando y se deberá colocar el código de procedimiento técnico con el que se va a trabajar, en nuestro caso referenciaremos a los planes de mantenimiento de cada estación según sea el caso. Las frecuencias de intervención con

que se realiza mantenimiento al subsistema o componente y su última fecha de la actividad se coloca también en esta sección.

En la parte de recursos que referencia a materiales y suministros serán filtrados en base al tipo de sistema que trabajemos y se añade un Check list que se llenará a manera de inspección rápida antes de ejecutar el trabajo.

<b>Tipo de Anomalia</b>		<b>Parte defectuosa</b>		
<b>Anomalia</b>		<b>Cód. Procedimiento Técnico</b>		
<b>Posible causa del Fallo</b>		<b>Ultima Vez</b>	17/10/2017 ▼	
<b>Frecuencia (Mtto)</b>				
<b>RECURSOS</b>		<b>LISTA DE COMPROBACION</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Material/Suministro</b>	<b>ITEM</b>	<b>NORMAL</b>	<b>ANÓMALO</b>
		Aspecto Físico de los Componentes		
		Limpieza		
		Lubricación		
		Temperatura		
		Ruido		
		Vibraciones		
		Luces de Señalización (Tablero)		
		Indicadores de parametros elect.		
		Sistema Hermetico (fugas)		

**Figura 4-3** Datos de anomalías en la orden de trabajo

**Fuente:** Autor

Ahora se debe describir la intervención a realizar para que la persona encargada tenga la idea clara y pueda ejecutar el trabajo de una manera apropiada. En esta parte se colocará las horas de trabajo como mano de obra necesarias para el trabajo y las personas encargadas del mismo. Las horas de trabajo serán señaladas si son en jornada normal o mediante horas extras. Dentro de esta parte se ingresará también el repuesto necesario para ejecutar el trabajo que es filtrado en base al sistema o parte que tratemos.

La mano de obra externa que sea contratada, los repuestos adquiridos por caja chica y no de bodega u otros servicios externos serán expresados para tener una idea clara de los trabajos realizados. Para mejor comprensión se debe visualizar la Figura 4-4.

Como parte final se colocará la firma de quien acepte la orden de trabajo como responsable y contiene una lista desplegable con el nombre de todo el personal que facilita la selección del mismo. En la parte inferior se coloca el nombre del creador de la orden

de trabajo y la normativa utilizada para su creación. Estos datos se los distingue de mejor forma en la Figura 4-5.

Descripción de la Intervención			
Mano de Obra		horas de trabajo	Tipo
PERSONAL		REPUESTOS	
CARGO	NOMBRE	CANTIDAD	DESCRIPCION
<b>Mano de Obra Externa</b>		<b>Descripcion</b>	
<b>Repuestos externos</b>		<b>Descripcion</b>	
<b>Otro servicio externo</b>		<b>Descripcion</b>	

**Figura 4-4** Detalles de la Intervención y recursos  
Fuente: Autor

<b>Aceptación</b>	
<i>Formato elaborado por : Romel Cárdenas</i>	NORMA INEN - EN 13460:2010

**Figura 4-5** Aceptación de la orden de trabajo  
Fuente: Autor

**4.2.3 Etiquetado de Mantenimiento.** Una vez ejecutada cada tarea de mantenimiento se requiere colocar una etiqueta en cual se pueda apreciar que el trabajo ha sido ejecutado por la sección de electromecánica, la fecha de mantenimiento, quién lo realizó y con qué número de orden de trabajo. Es recomendable designar un espacio para la colocación de la fecha del próximo mantenimiento según la frecuencia que le corresponda de nuestro plan.

FECHA DE MANTENIMIENTO: \_\_ / \_\_ / 201\_\_  
 TRAB. REALIZADO POR: \_\_\_\_\_  
 ORDEN DE TRABAJO N°: \_\_\_\_\_  
 PROXIMO MANTENIMIENTO: \_\_ / \_\_ / 201\_\_

**Figura 4-6** Etiqueta de Mantenimiento  
Fuente: Autor

**4.2.4 Capacitación del personal.** Mediante la capacitación realizada al personal de electromecánica se pudo indicar cuáles son los conceptos de mantenimiento según normativas su importancia en las empresas. Los tipos de mantenimiento que se ejecutan y como deben ser ejecutados.



**Figura 4-7** Presentación del Proyecto  
Fuente: Autor

Las tecnologías y estrategias de mantenimiento que existen y el por qué se toma como punto de partida el RCM dentro de la empresa han sido un tópico de análisis que vincule al equipo de trabajo.



**Figura 4-8** Tipos, tecnologías y estrategias de mantenimiento  
Fuente: Autor

Expresar los conceptos de la confiabilidad, disponibilidad y los principales KPI de mantenimiento permite al personal identificar la importancia del mismo y su impacto en la producción o en la prestación de servicios.



**Figura 4-9** Explicación de los KPI de mantenimiento  
**Fuente:** Autor

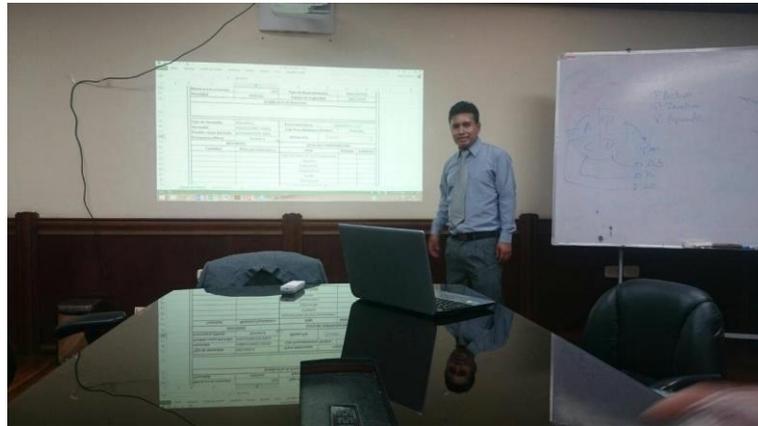
Exponiendo el trabajo desarrollado se indica lo que respecta a la hoja de información que abarca funciones principales, secundarias y de seguridad, sus respectivos modos de fallo en diferentes niveles de causalidad que es ver la causa raíz que podrían provocar la pérdida de la función de los equipos o sistemas, la hoja de información permite indicarles como son evaluadas las consecuencias que abarcan los modos de fallo y como se procede a tomar una frecuencia apropiada a las tareas que podrían mitigar las consecuencias de modos de fallo y como seleccionar a la persona apropiada para cada actividad de mantenimiento.



**Figura 4-10** Personal de electromecánica  
**Fuente:** Autor

Al mostrar la programación de mantenimiento permite que todo el personal conozca el acuerdo que hemos tenido con el jefe de electromecánica para la aplicación del plan de mantenimiento dentro del 2017 y 2018.

La explicación de cómo llenar la orden de trabajo por parte del jefe de electromecánica y la interpretación de la misma para los analistas, asistentes y técnicos garantiza que los trabajos se desarrollen de una manera apropiada garantizando los objetivos que tiene la empresa.



**Figura 4-11** Aplicación de la orden de trabajo  
**Fuente:** Autor

La explicación global del uso analizador de vibraciones, cámara termográfica y su respectiva interpretación de resultados permite que el personal pueda monitorear la condición de los equipos de una manera correcta y que se emitan informes sin falsos positivos o falsos negativos de las condiciones de los equipos.

El análisis de factor de potencia y su respectivo mejoramiento planteado como propuesta permite que el personal conozca el procedimiento ejecutado para su evaluación y seleccionamiento del capacitor que podría facilitar el trabajo de los equipos y evitar las amonestaciones ante la EEASA.



**Figura 4-12** Explicación del factor de potencia  
**Fuente:** Autor

Al hablar de mejor continua se impulsa al equipo de trabajo a que realicen las actividades de una manera apropiada garantizando que los equipos adquieran una mayor confiabilidad.

**4.2.5 Ejecución del Plan de Mantenimiento.** Al desarrollar las principales tareas de mantenimiento que se programaron para llevarse a cabo dentro de las estaciones de bombeo se pudo determinar mediante inspecciones el mal anclaje de los equipos de PIA SOCAVÓN entre otras anomalías en las demás estaciones, mismas que permitieron ejecutar tareas correctivas a los equipos.



**Figura 4-13** Anclaje de equipos de bombeo  
**Fuente:** Autor



**Figura 4-14** Etiquetado de mantenimiento en turbidímetro  
**Fuente:** Autor

### 4.3 Propuesta de mejoramiento del Factor de Potencia

Dentro del análisis de factor de potencia analizado en la situación inicial de las estaciones de bombeo se pudo apreciar que la estación PIA SOCAVÓN tiene un bajo factor de potencia en su funcionamiento mismo que se muestra en el informe del ANEXO L demostrando que el valor actual del F.P. es de 0,82 siendo motivo para penalización ante la EEASA y que con las mediciones realizadas por el analizador de redes se obtuvieron los valores de la Tabla 4-10.

**Tabla 4-12** Datos obtenidos por el analizador de redes

DATOS ACTUALES		
<b>P</b>	3725,3	W
<b>S</b>	4499,75	VA
<b>Q</b>	2417,9	VAR
<b>COS FI</b>	0,827890438	

Fuente: Autor

Para poder disminuir la potencia reactiva del sistema, se realiza el análisis para colocar potencias capacitivas que aumenten el factor de potencia y para este objetivo se plantea un  $\cos \varphi$  mínimo de 0.95 cuya equivalencia en valor de  $\tan \varphi$  es 0.328; para conocer el valor de la  $\tan \varphi$  actual se realiza el cálculo mediante la Ecuación (2).

$$\tan \varphi_{actual} = \frac{Q}{P} = \frac{2417.9}{3725.3} = 0.649$$

Luego de encontrar el valor de la  $\tan \varphi$  actual se reemplaza este valor en la Ecuación (1) para obtener el valor de la  $Q_{faltante}$ .

$$Q_{faltante} = (\tan \varphi_{actual} - \tan \varphi_{deseado}) * P$$

$$Q_{faltante} = (0.649 - 0.328) * 3725.3 = 1196.0016 \text{ VAR}$$

Para la compensación del F.P. se toma el catalogo del fabricante de bancos de capacitores, en nuestro caso el catálogo de la marca WEG donde se selecciona el banco de capacitores que cumpla las condiciones de funcionamiento tales como que trabajen a 220V, 60Hz y que puedan ser conectados en triangulo. Se selecciona el capacitor más cercano al valor

del  $Q_{faltante}$  que en el presente caso es un banco de capacitores de 1500 VAR y se calcula el nuevo valor de  $Q$  reemplazando los datos en la Ecuación (3).

$$Q_{nuevo} = Q_{actual} - Q_{capacitivo}$$

$$Q_{nuevo} = 2417.9 - 1500$$

$$Q_{nuevo} = 917.9$$

Al obtener un nuevo valor de potencia reactiva también se modifica el valor de la potencia aparente, misma que se calcula mediante la Ecuación (4).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{3725.3^2 + 917.9^2}$$

$$S = 3836.7174$$

Una vez realizados los cálculos se obtienen nuevos valores en sus potencias reactivas y aparentes que se muestran en la Tabla 4-11.

**Tabla 4-13** Datos calculados para mejoramiento de FP

DATOS NUEVOS CON MEJORAMIENTO DE F.P.		
$P$	3725,3	W
$S$	3836,71	VA
$Q$	917,9	VAR

Fuente: Autor

Para conocer el valor del nuevo F.P. con el banco de capacitores se calcula mediante la Ecuación (5).

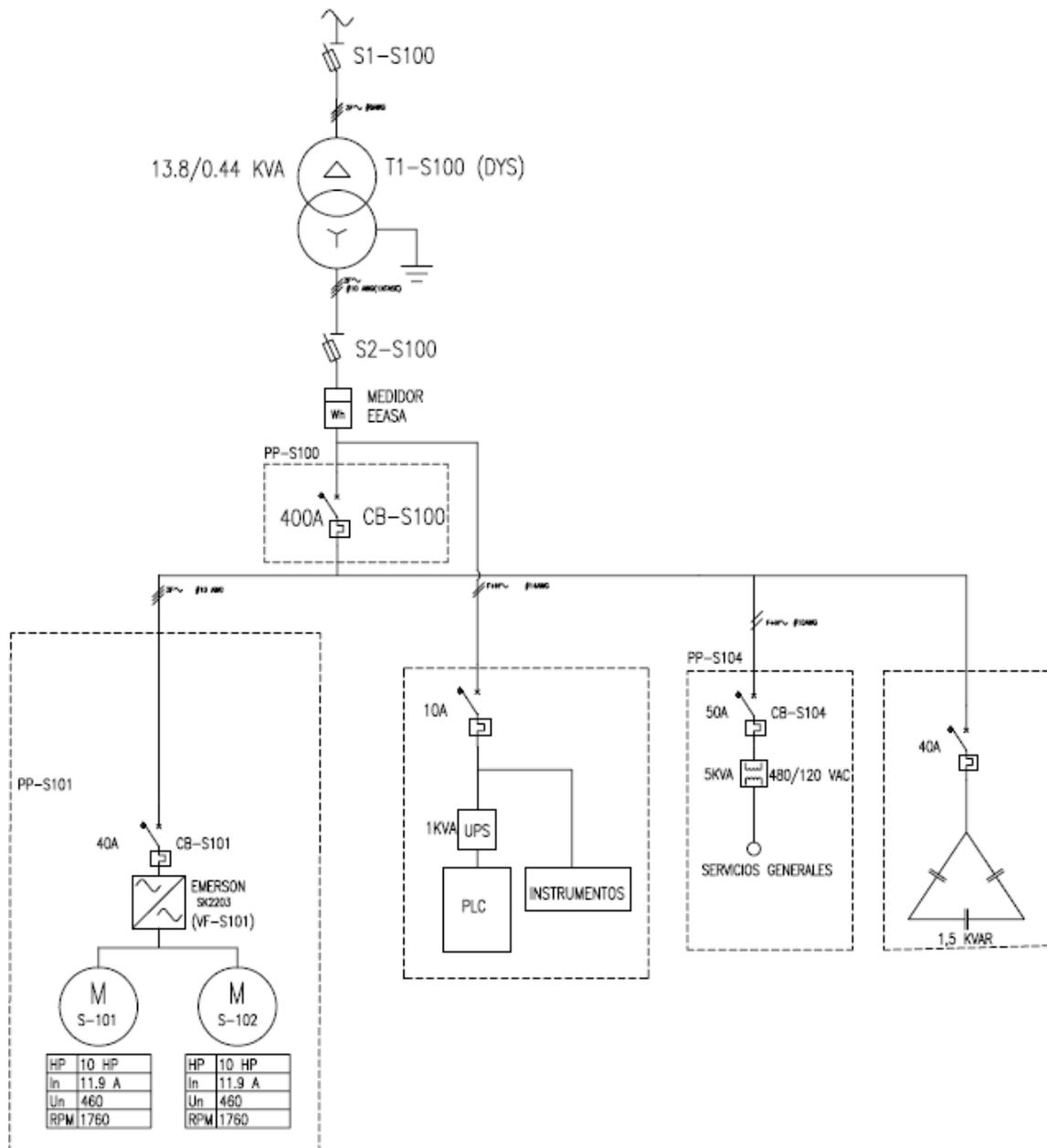
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{3725.3}{3836.71} = 0,9709$$

Al obtener todos los datos se elabora la Tabla 4-11 que muestra los datos actuales y esperados al colocar el banco de capacitores. El diagrama de la instalación eléctrica propuesta se aprecia en la Figura 4-1.

**Tabla 4-14** Tabla de Potencias y Factor de Potencia

CUADRO DE RESULTADOS PARA MEJORAMIENTO DE FACTOR DE POTENCIA					
DATOS ACTUALES			DATOS ESPERADOS		
<i>P</i>	3725,3	W	<i>P</i>	3725,3	W
<i>S</i>	4499,75	VA	<i>S</i>	3836,71741	VA
<i>Q</i>	2417,9	VAR	<i>Q</i>	917,9	VAR
<i>COS FI</i>	0,827890438		<i>COS FI</i>	0,970960225	

Fuente: Autor



**Figura 4-15** Diagrama eléctrico propuesto para PIA SOCAVÓN

Fuente: Autor

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Se estableció la función principal, secundaria y el respectivo contexto operacional del sistema de bombeo.

Se identificó las fallas funcionales y los respectivos modos de falla dentro de cada uno de los sistemas y componentes.

Se determinó los efectos que se producen y las consecuencias de los fallos que fueron encontrados en el análisis de los sistemas de bombeo.

Se obtuvo el plan de mantenimiento preventivo para las estaciones del sistema de bombeo SOCAVÓN mediante el análisis RCM, el mismo que permitió buscar tareas proactivas de mantenimiento tomando en cuenta los recursos y equipos que posee la empresa.

Se programó las actividades de mantenimiento en base a las condiciones actuales que se manejan dentro de la sección de electromecánica de la empresa, para no interferir con las tareas correctivas que se puedan presentar en el tiempo de ejecución del presente plan.

Se capacitó al personal de electromecánica para que todos conozcan la importancia de la adecuada aplicación del plan de mantenimiento y los beneficios que se pueden obtener del mismo promoviendo el trabajo en equipo, la optimización de tiempos y recursos para obtener mejores resultados.

Se propuso la implementación de un banco de capacitores para el mejoramiento del factor de potencia de la estación de bombeo PIA SOCAVÓN mediante los análisis realizados para evitar la penalización ante la EEASA.

## **5.2 Recomendaciones**

Aplicar el estudio RCM dentro de las demás estaciones de bombeo y plantas de tratamiento de la EP-EMAPA-A donde se pueda obtener un plan maestro de mantenimiento para todos los equipos que la misma posee.

Cumplir a cabalidad la programación de mantenimiento planteada para el 2017 y 2018 de forma que permita gozar de los beneficios del mismo en este lapso de tiempo.

Colocar el banco de capacitores seleccionado en el estudio del factor de potencia para su respectivo mejoramiento dentro de la estación PIA SOCAVÓN.

Readecuar los sistemas eléctricos de las estaciones de bombeo de una manera apropiada referente al contexto operacional de los equipos.

Promover el trabajo en equipo para las actividades de mantenimiento que permitan obtener mejores resultados en la aplicación del presente plan.

## BIBLIOGRAFÍA

**BARRIOS Aracelli.** *El mantenimiento en el desarrollo de la gestión empresarial.* [En línea] 2008. [Consultado: 30 de 11 de 2017.] Disponible en: <https://buenvivir.eumed.net/eumednet/coursecon/ecolat/ve/2012/abmo.zip>.

**COVENIN 3049. 1993.** *Mantenimiento definiciones.*

**DFE.** *Factor de potencia.* [En línea] 2008. [Consultado: 12 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/industria/ahorroenergia/lists/ahorro%20de%20energia/attachments/3/factordepotencia1.pdf>.

**PC MANAGEMENT EDITORIAL.** Manual del ingeniero de mantenimiento. [En línea] 2008. [Consultado: 16 de Mayo de 2017.] Disponible en: [http://pcmanagement.es/editorial/management\\_sp/Manual%20ingeniero%20mantenimiento.pdf](http://pcmanagement.es/editorial/management_sp/Manual%20ingeniero%20mantenimiento.pdf).

**EMERSON PROCESS MANGEMENT.** Reducción de costos de operación y de mantenimiento. [En línea] Septiembre de 2003. [Consultado: 02 de 07 de 2017.] Disponible en: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/EspanolPlantWeb-ops-maint.pdf>.

**GUASCH.** *Componentes y electrónica de potencia.* [En línea] 2015. [Consultado: 10 de 10 de 2017.] Disponible en: [http://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN110627\\_c.pdf](http://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN110627_c.pdf).

**REZENTTI M.** *Notas de electricidad.* [En línea] 2008. [Consultado: 10 de 11 de 2017.] Disponible en: <http://www.e29.com.mx/pdf/FactordePotencia.pdf>.

**MANAGEMENT, EMERSON PROCESS. 2003.** *Estrategias de mantenimiento y prácticas de trabajo para reducir los costos.* [En línea] 2003. [Consultado: 02 de 07 de 2017.] Disponible en: <http://www2.emersonprocess.com/es-ES/Pages/Home.aspx>.

**MOUBRAY, JOHN.** *Introducción al mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Buenos Aires, Argentina - Madrid, España : Aladon Ltda., 2004. págs. 29 - 211.

**SAE JA 1011. 1999.** *Evaluation criteria for reliability-centered maintenance.*

**UNE-EN 13306. 2010.** *Terminología del mantenimiento.*

**WEB, RELIABILITY.** *Camino hacia el RCM.* [En línea] 2008. [Consultado: 11 de 30 de 2017.] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm>.

