

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica**

**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA GESTIÓN DEL
CONOCIMIENTO PARA LA DIRECCIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO GAM DEL INSTITUTO
COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.**

Práctica de especialidad para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial con
el grado académico de Licenciatura.

ARIEL GARCÍA RODRÍGUEZ 201142983

Cartago, Noviembre 2018



Escuela Acreditada por el
Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 7/11/2018

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Ariel García Rodríguez
carné No. 201142983, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado
de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial
presentado en la fecha 14/11/2018, con el título Diseño de un
modelo de gestión de mantenimiento basado en la gestión del conocimiento para la Dirección de Sistemas
de Bombeo GAM del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante: Ariel García R.
Correo electrónico: garciaarie19@gmail.com
Cédula No.: 4-0219-0655

Profesor tutor

Ing. Gilbert Bonilla

Asesor industrial

Ing. Emerson Campos

Jurado calificador

Carlos Piedra

Julio César Rojas

Datos personales

a. Estudiante

Nombre: Ariel García Rodríguez

Cedula: 4 0219 0655

Carrera: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Carné: 201142983

Teléfono: 87667078

Correo: garciaariel9@gmail.com

b. Empresa y contacto

Nombre de la empresa: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Departamento: Sistemas de bombeo

Nombre del contacto: Ing. Emerson Campos Sandoval

Cargo: Director de sistemas de bombeo GAM

Estación: Estación de bombeo de la Uruca, San José, Costa Rica

Correo: emcampos@aya.go.cr

Dedicatoria

A mi mamá, Claricia Rodríguez, a quien le debo todo en esta vida, por su lucha diaria, por sus detalles, por su sacrificio, por ser no solo una madre sino una amiga y mi mayor soporte; no hay palabras que describan mi agradecimiento; espero que todo el esfuerzo que ha realizado en la educación de sus hijos hoy tenga otro motivo de orgullo y satisfacción.

A mi papá, Daniel García, a quien al igual que mi mamá le debo mi vida entera, el encargado de darnos todo lo que tenemos, el responsable de que mi educación de pudiera dar por medio de su trabajo duro, espero que todo el sacrificio que ha realizado hoy una vez más se vea recompensando y que esto sea un motivo más de orgullo en su vida.

A mis hermanos, José Daniel, Juan Gabriel y Javier, porque además de ser mis hermanos también han sido mis mejores amigos, siempre aportándole algo bueno que aprender en mi vida, siempre han sido un modelo por seguir y una fuente de inspiración.

Agradecimiento

En primer lugar, debo dar gracias a Dios por hoy permitirme llegar a este momento crucial de mi vida, por darme salud y todo lo necesario para alcanzar mis metas y por ser mi principal apoyo.

A mis padres, a los que siempre estuvieron y están ahí para brindarme su apoyo, su amor y por ser los responsables de que yo sea quien soy.

A mis hermanos, que con su ejemplo y ayuda me han enseñado a luchar y ser mejor persona.

A mis familiares, porque con su amor me han hecho que esta travesía se vuelva más llevadera.

A mis amigos, por su apoyo incondicional y siempre tener las palabras correctas en los momentos indicados.

A los miembros de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM del A y A, el Ing. Emerson Campos (Director), el Ing. Roberto Solís, la Ing. Carol Rodríguez, el Ing. Diego Chaves, Lic. Michael Orozco, Dayana Rodríguez, Geanina López y a todos los miembros de la dirección por su ayuda, consejos y su sincera amistad.

Contenido

Datos personales	4
a. Estudiante	4
b. Empresa y contacto	4
Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
Ilustraciones	10
Tablas	11
Resumen	12
Abstract	12
1. Introducción	13
1.1. Descripción de la institución	13
1.1.1. Antecedentes históricos	13
1.2. Misión	14
1.3. Visión	14
1.4. Estructura organizacional de la Dirección de Sistemas de Bombeo	15
1.5. Descripción del proceso de Bombeo	16
2. Planteamiento del problema	17
2.1. Descripción del problema	17
2.2. Objetivo general	18
2.3. Objetivos específicos	18
2.4. Justificación del proyecto	19
2.5. Viabilidad del proyecto	20
3. Marco teórico	22
3.1. Capítulo I. Historia y tipos de mantenimiento	22
3.1.1. Mantenimiento y su evolución en la industria	22
3.1.2. Mantenimiento correctivo	23

3.1.3.	Mantenimiento preventivo	23
3.1.4.	Mantenimiento autónomo	24
3.1.5.	Mantenimiento predictivo	24
3.1.6.	Estrategias de gestión de mantenimiento	25
3.2.	Capítulo II. Mantenimiento basado en la gestión de conocimiento	25
3.2.1.	El conocimiento en el mantenimiento.....	25
3.2.2.	Tipos de conocimiento	27
3.2.3.	Beneficios de una gestión de conocimiento	29
3.2.4.	Principios de un modelo de gestión de conocimiento en mantenimiento industrial .	30
3.2.5.	Modelo de gestión de mantenimiento basado en el conocimiento.....	32
3.2.6.	Etapas de implementación de un modelo de gestión de conocimiento	33
3.3.	Capítulo III. Definiciones de estaciones de bombeo	35
3.3.1.	Estaciones de bombeo	35
3.3.2.	Elementos de conformación de una estación de bombeo.....	36
3.3.3.	Tipos de estaciones de bombeo en la Dirección de Sistemas de Bombeo de GAM del AyA.	36
3.3.4.	Tipos de equipos de bombeo utilizados en las estaciones del AyA.....	42
3.3.5.	Consideraciones para el mantenimiento de estaciones de bombeo del AyA.....	54
3.4.	Capítulo IV. Base teórica para la implementación de un modelo de gestión para la Dirección de Bombeo GAM	55
3.4.1.	Herramientas de diagnóstico	55
3.4.2.	Herramientas para aspectos estratégicos y procesos clave	60
3.4.3.	Herramientas para la formación del conocimiento	66
3.4.4.	Herramientas de producción, captación y almacenaje de conocimiento	71
3.4.5.	Herramientas de circulación y utilización del conocimiento	76
3.4.6.	Herramientas para medición y estrategias de mejoramiento	78
4.	Resultados	82
4.1.	Modelo de gestión de mantenimiento basado en conocimiento.	82
4.2.	Implementación del modelo de gestión de mantenimiento basado en el conocimiento.	84

4.2.1.	Etapa 1. Diagnóstico	84
4.2.2.	Etapa 2. Definición de objetivos y concientización	92
4.2.3.	Etapa 3. Aspectos estratégicos y procesos clave.....	95
4.2.4.	Etapa 4. Formación de conocimiento	106
4.2.5.	Etapa 5. Producción, captación y almacenaje de conocimiento.....	117
4.2.6.	Etapa 6. Circulación y utilización del conocimiento	125
4.2.7.	Etapa 7. Medición y estrategias de mejoras.....	129
3.	Propuesta de introducción del modelo gestión	144
4.	Ejemplo de aplicación del modelo	146
5.	Conclusiones y recomendaciones	148
6.2.	Conclusiones	148
6.3.	Recomendaciones.....	149
7.	Referencia bibliográfica.....	150
8.	Anexos	153
	Anexo 1. Auditoria MES	153
	Anexo 2. Procedimiento de mediciones	155
	Anexo 3. Encuesta de motivación.....	166
	Anexo 4. Base de datos de inventario	167

Ilustraciones

Ilustración 1. Organigrama de la Dirección Sistemas de Bombeo GAM, 2018	16
Ilustración 2. Enfoque Kantiano	26
Ilustración 3. Clasificación del conocimiento según Cárcel.	27
Ilustración 4. Modelo básico de gestión del conocimiento.	32
Ilustración 5. Etapas de implantación del modelo de mantenimiento basado en la gestión de conocimiento.	33
Ilustración 6. Diagrama de un Booster con equipo exterior	37
Ilustración 7. Diagrama de Booster con equipo sumergible.	37
Ilustración 8. Diagrama de Bombeo y Rebombeo con equipo exterior.....	38
Ilustración 9. Diagrama de Bombeo y Rebombeo con equipo sumergible.....	39
Ilustración 10. Diagrama de pozo por turbina.	40
Ilustración 11. Diagrama de pozo con equipo sumergible.....	41
Ilustración 12. Diagrama de una bomba sumergible.	49
Ilustración 13. Modelo de gestión de mantenimiento basado en la gestión de conocimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM.....	82
Ilustración 14. Gráfica de la auditoría MES realizada a los miembros de la dirección.	86
Ilustración 15. Gráfica de la auditoría MES aplicada al Director de Sistemas de Bombeo GAM.....	86
Ilustración 16. Estudio del conocimiento.....	91
Ilustración 17. Gráfica de aislamiento del Pozo W-13	108
Ilustración 18. Gráfica de comportamiento de caudal del pozo W-13	109
Ilustración 19. Gráfica de comportamiento de presión del pozo W-13	110
Ilustración 20. Gráfica de comportamiento de niveles dinámicos de pozo W-13.....	111
Ilustración 21. Base de datos para la bodega de la dirección.....	124
Ilustración 22. Diseño funcional de la gestión de mantenimiento	144

Tablas

Tabla 1. Parte estructurales de un motor sumergible.	52
Tabla 2. Tabla de los criterios del estudio de criticidad para equipos.....	61
Tabla 3. Tabla de evaluación de criticidad.	62
Tabla 4. Valores de aislamiento recomendados para instalación.....	67
Tabla 5. Auditoría MES aplicada a los miembros de la dirección	84
Tabla 6. Auditoría Mes aplicada al Director de Sistemas de Bombeo GAM.....	85
Tabla 7. Misión y visión de la Dirección de Bombeo GAM.....	92
Tabla 8. Objetivos funcionales del modelo de gestión para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM	93
Tabla 9. Estudio de recursos de la Dirección	94
Tabla 10. Evaluación de criticidad de los equipos de la Dirección.....	99
Tabla 11. Evaluación de la criticidad de los equipos.....	100
Tabla 12. Criterios de evaluación para las estaciones de bombeo.....	102
Tabla 13. Inspección propuesta de estaciones de bombeo.....	103
Tabla 14. Descripción de tareas y repuestos críticos según inspecciones.....	104
Tabla 15. Mediciones ordenadas del Pozo W-13.....	107
Tabla 16. Evaluación de probabilidad de falla	114
Tabla 17. Extracto de tabla de probabilidad de falla.	115
Tabla 18. Plantilla propuesta para historial de fallas poco frecuentes de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM.....	118
Tabla 19. Plantilla propuesta para las solicitudes de trabajo	126
Tabla 20. Plantilla propuesta para ordenes de trabajo.....	127
Tabla 21. Análisis F.O.D.A de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM	130
Tabla 22. Objetivos perspectiva financiera.....	131
Tabla 23. Objetivos perspectiva cliente	132
Tabla 24. Objetivos perspectiva de procesos internos	133
Tabla 25. Objetivos perspectiva de innovación y aprendizaje.....	134
Tabla 26. Mapa estratégico para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM.....	135
Tabla 27. Indicadores propuestos por objetivos.....	139
Tabla 28. Codificación de los indicadores	140
Tabla 29. Cuadro de mando integral perspectivas financiera y cliente.....	141
Tabla 30. Cuadro de mando integral perspectivas procesos internos e innovación y aprendizaje.....	142
Tabla 31. Cuadro de mando integral.....	143
Tabla 32. Costos asociados a una rehabilitación del pozo CNP-6 con y sin gestión de mantenimiento	146
<i>Tabla 33. Comparación de costos con y sin modelo de gestión de mantenimiento</i>	<i>147</i>

Resumen

La gestión de mantenimiento es un tema de gran importancia; sin embargo, en muchos casos se piensa que lo más importante es la parte técnica, pero este proyecto explica cómo realizar un mantenimiento utilizando uno de los recursos olvidados por parte de los ingenieros o encargados del departamento de mantenimiento.

El recurso olvidado es el conocimiento, la utilización de los datos y del conocimiento tácito; cuando este recurso se sabe filtrar y analizar nos brinda conocimiento para aprender a predecir fallas, a organizarse mejor financieramente; realizar tareas con más impacto en la vida útil de los equipos, entre otros.

Este proyecto trata de establecer un mecanismo de manejo de la gestión de mantenimiento industrial utilizando el conocimiento como recurso principal.

Palabras clave: Gestión, mantenimiento, conocimiento, datos, predictivo, organización.

Abstract

Maintenance management is a very important issue, however, in many cases people think that the most important is the technical part, but this project explains how to perform a maintenance using one of the resources forgotten by the engineers or managers of the Maintenance department.

The forgotten resource is knowledge, the use of data and tacit knowledge; When this resource is known to filter and analyze it provides us with knowledge to learn to predict failures, to better organize financially, to perform tasks with more impact on the useful life of the equipment, among others.

This project tries to establish a management mechanism for industrial maintenance management using knowledge as the main resource.

Keywords: Management, maintenance, knowledge, data, predictive, organization

1. Introducción

1.1. Descripción de la institución

1.1.1. Antecedentes históricos

A inicios de la década del 40, la Asamblea Legislativa crea una comisión para estudiar la viabilidad de un proyecto de ley que genere una solución a los problemas de aguas, tanto a la captación como a la distribución de servicios de agua.

La comisión estaba integrada por expertos, en el área de salud y del área ingenieril, la integraban: Edison Rivera, Renán Méndez, Guillermo Roviratta, Fernando Chavarría y Eduardo Jenkins; esta comisión junto con el Ministro de Salud de ese entonces, Dr. José Manuel Quirce Morales, dieron el aval para la propuesta de ley, la cual dio fundamento a la creación del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

La ley de aguas fue aprobada en el año 1942, la cual en el artículo 41 dictamina que todos los acueductos nacionales son patrimonio del Estado, también este mismo artículo establece que las nuevas obras, relacionadas con temas de aguas, serían realizadas por el Ministerio de Salubridad Pública y los acueductos a cargo de las municipalidades continuarán así hasta que se decretara su condición de nacionalidad.

A pesar de las primeras iniciativas para el manejo y distribución del agua, el Estado no pudo hacer frente a estas operaciones, por lo que, en 1953, se promulgo la Ley General de Agua Potable, la cual establecía las regulaciones a los organismos administradores, para que establecieran adecuadas tarifas, medidas para la operación de los sistemas, con el fin de garantizar la potabilidad del agua y mantener los niveles de salud para los beneficiarios del servicio. También se deben hacer cargo de la contabilidad y verificar que los fondos se dediquen a su cometido y razón de ser: el servicio.

De acuerdo con las disposiciones anteriores, los diputados tenían los suficientes argumentos para la aprobación de un organismo descentralizado, provisto de los recursos necesarios para hacerse cargo de la crisis del agua potable, a partir de una ley constitutiva.

1.2. Misión

Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.

1.3. Visión

Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población del país.

1.4. Estructura organizacional de la Dirección de Sistemas de Bombeo

El A y A dispone de un departamento de sistemas de bombeo, cuya estructura organizacional se divide en tres secciones, a saber:

- Dirección y gestión
- Jefaturas
- Operación y mantenimiento

La Dirección y Gestión son los encargados de lo relacionado con lo administrativo como son la ejecución de proyectos, compra de materiales, compra de equipos, entre otros; así como la organización de las jefaturas, también son los responsables de velar por la productividad y calidad de los sistemas de bombeo y también son los encargados de las mediciones para el seguimiento respectivo de los equipos.

En la sección de las jefaturas se vela por las tareas de operación y mantenimiento, cada área consta de un jefe de área, en la Gran Área Metropolitana (GAM) se consta de cuatro áreas las cuales son:

- 1) Área 1: Distribuye el sector noroeste de la GAM. El abastecimiento se da de los pozos de la Valencia, de San Pablo de Heredia y parte de San Antonio de Belén, Heredia.
- 2) Área 2: Distribuye el sector sureste de la GAM. Lo abastecen los pozos en Desamparados, Alajuelita, El Guarco y Curridabat
- 3) Área 3: Distribuye el sector noreste de la GAM. Lo abastecen los pozos en Coronado, Guadalupe, Moravia y Tibás.

- 4) Área 4: Distribuye el sector suroeste de la GAM. Lo abastecen los pozos en Escazú, Santa Ana, Quitirrisí, Ciudad Colón y San Antonio de Belén.

La tercera sección de operación y mantenimiento está formada por los operadores de los equipos y los técnicos eléctricos y mecánicos encargados de las tareas de mantenimiento.

Organigrama Dirección Sistemas de Bombeo GAM

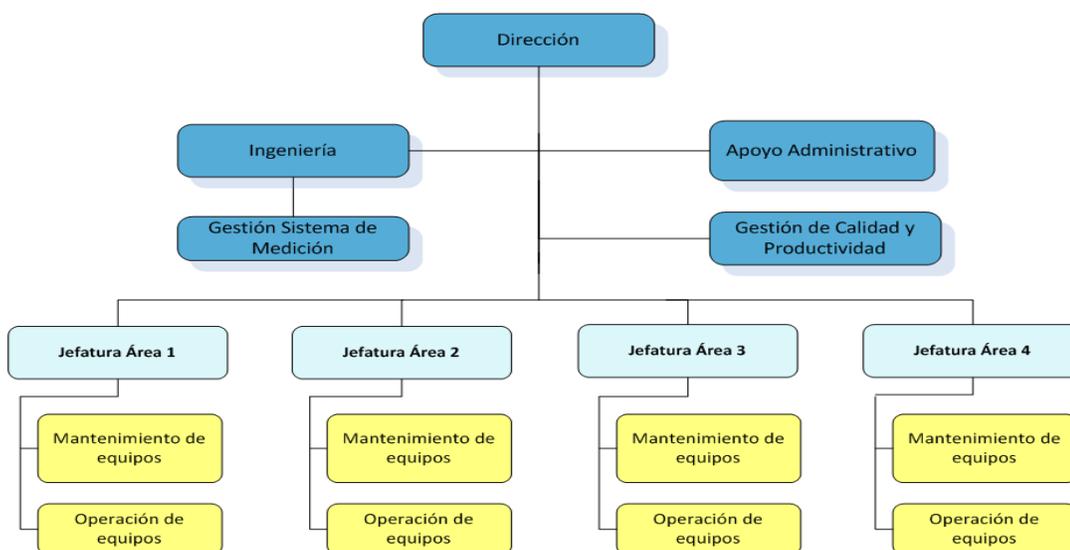


Ilustración 1. Organigrama de la Dirección Sistemas de Bombeo GAM, 2018

Fuente: Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados

1.5. Descripción del proceso de Bombeo

El agua llega de las plantas de tratamiento y de los pozos a las estaciones de bombeo, que disponen en cada área de la GAM para la distribución, según la cobertura de cada área. Esta distribución se da por impulsión o bombeo. La Gran Área Metropolitana (GAM) se divide en cuatro sectores los cuales cuentan con un aproximado de 306 equipos de bombeo, entre los que destacan bombas centrífugas de 250 HP de bombeo; motores sumergibles, variadores de frecuencia, entre otros. Están registrados 306 equipos entre las cuatro áreas, según la demanda por cada sector.

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

¿Se dispone de los indicadores necesarios para medir la gestión realizada por el Departamento de Sistemas de Bombeo? ¿Se miden los costos menores del Departamento de Sistemas de Bombeo? ¿Se tiene criterios para la gestión de repuestos? ¿Es posible crear una sinergia entre el análisis de datos y variables de los equipos con la planificación y ejecución de los trabajos de mantenimiento? ¿El Departamento de Sistemas de Bombeo cuenta con las cualidades necesarias para ser rector técnico de otras operadoras en el área de mantenimiento como lo establece la Ley General de Agua Potable?

La Dirección de Sistemas de Bombeo carece de una estructura de indicadores que ayuda a medir la labor en mantenimiento, se toman mediciones de presión, caudal, corriente eléctrica, voltaje entre otros, y solo se mide la disponibilidad de los equipos; está en promedio oscila entre un 96 a 98 por ciento; la falta de indicadores evita discernir si para adquirir la disponibilidad se está incurriendo en gastos innecesarios, esa incertidumbre es un problema por tratarse de recursos públicos, los cuales no deben ser malgastados.

La Dirección de Sistemas de Bombeo no cuenta con un control de existencias, no tiene criterios técnicos para la adquisición de repuestos como la criticidad del repuesto en el funcionamiento de los equipos, existencia de un distribuidor en el país, entre otros; esto ha provocado que se cuenten con ¢427 000 000 en repuestos en bodega, de los cuales hay algunos repuestos para desechar y se han almacenado, el no tener criterios de compra han provocado el almacenaje de una gran cantidad de repuestos en “stock” incurriendo en gastos innecesarios y una mala organización de repuestos funcionales y los repuestos para desecho.

No hay un modelo de gestión de mantenimiento para crear una sinergia entre la gerencia de información, la planificación y ejecución de los trabajos de mantenimiento, junto con la gestión de activos y recursos; incide en que se desconozca si las labores de mantenimiento logran buenos o malos resultados.

2.2. Objetivo general

Diseñar un modelo de gestión integral de mantenimiento basado en la gestión del conocimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A) en el Gran Área Metropolitana (GAM), Costa Rica.

2.3. Objetivos específicos

1. Determinar la situación actual del Sistema de Gestión de Mantenimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo, estableciendo el grado de madurez a través de la auditoría MES.
2. Determinar sistemas modernos de gestión del conocimiento, con la intención de que la dirección disponga de una estructura de comunicación, con un apropiado manejo de datos dentro de los sistemas actuales.
3. Estructurar un sistema de manejo de solicitudes y ordenes de trabajo, para un eficiente manejo de los recursos y trabajos de la Dirección.
4. Desarrollar un Cuadro de Mando Integral, contemplando objetivos, indicadores de evaluación, frecuencias de medición y responsables; para que la Dirección cuente con un control de la gestión realizada.

2.4. Justificación del proyecto

Según la Organización de las Naciones Unidas en el decreto N°64/292 se establece que el agua potable es uno de los recursos necesarios contemplados dentro de los derechos humanos, por eso es una violación a esos, la falta de acceso al agua o el suministro en condiciones insalubres, según lo establecido en el Decreto Ejecutivo N.º 30480-MINAE, publicado en La Gaceta del 12 de junio del 2012. Por este motivo, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados debe velar por la disponibilidad, eficiencia y calidad del agua se den en las mejores condiciones.

Según la Política Nacional de Aguas: *“El A y A es el principal ente operador del país, y es directamente responsable del abastecimiento de agua potable para más de 2 235 582 personas que representa el 50,7% de la población cubierta”*. Esto evidencia la gran importancia de un sistema de gestión de mantenimiento bien establecido, por lo que se torna necesario anticiparse a las fallas, tener planes de mantenimiento preventivo y predictivo, para minimizar al máximo los tiempos de paro y que las tareas de mantenimiento correctivo sean planificadas adecuadamente.

Este tipo de disposiciones marcan el futuro de la institución, tanto así que la tasa de crecimiento de la población es de un 10% anual, para el 2030 se estima una población de 5 563 906 personas; por lo que el sistema de distribución deberá crecer en proporción al crecimiento poblacional para abastecer a los nuevos demandantes de servicios. Por lo tanto, el sistema de gestión integral exige un manejo de equipos eficiente, eficaz, continuo y sostenible. La recomendación se orienta en la obligación de fortalecer la gestión de servicios mediante el fortalecimiento de capacidades técnicas, lo que permita al A y A estar preparados para futuros desafíos y nuevas técnicas.

En el Gran Área Metropolitana, la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM del A y A tiene cuatro áreas, las cuales suman 306 equipos instalados con un valor superior a ¢2 500 000 000. Se cuentan también con equipos de “back up” que suman ¢400 000 000 y un “stock” de repuestos por ¢427 000 000. Es evidente la gran cantidad de activos a cargo de la Dirección de Sistemas de Bombeo. De esa forma debe mantener y disponer de políticas administrativas para disminuir al máximo cualquier interrupción del servicio. Para mantenimiento de estos sistemas se presupuesta ¢250 000 000, o sea un 7,52% del total de sus activos; por lo que una gestión de mantenimiento es muy necesario, así como los trabajos para minimizar costos. La gestión de repuestos debe orientarse de manera crítica, objetiva y efectiva. No hay espacio para compras innecesarias y menos para gastos superfluos.

Sin duda, el manejo del agua debe ser cuidado con estándares de higiene. Una mala calidad de agua es un medio portador de enfermedades, por lo que los mantenimientos tienen que darse cuidadosamente. La aplicación de sistemas para la predicción de fallos y planificación de estos es vital, para minimizar el contacto de personal o de herramientas con el líquido. La institución está haciendo cambios de equipos manuales a equipos automáticos, por lo que el mantenimiento puede aprovechar estos avances para promover facilidades de análisis de equipos y se disminuyan al máximo los tiempos de atención de fallas.

2.5. Viabilidad del proyecto

Este proyecto surgió como un aliado de la institución para políticas de crecimiento y desarrollo establecidas en la política nacional de aguas 2017-2030, en la que se establece como uno de los ejes principales la inversión en infraestructura y servicio, este eje tiene como objetivo *“Establecer una estrategia económica y financiera permanente con visión prospectiva del desarrollo, para que permita el financiamiento para mantener, operar y desarrollar la prestación del servicio del agua potable”* y en los que los lineamientos son:

- 1- Optimización y modernización de la infraestructura.
- 2- Inversión en infraestructura resiliente.
- 3- Gestión del servicio de agua potable.

Con esta perspectiva se puede hablar de modernización de equipos, crecimiento institucional y generación de planes de contingencia para eventos adversos; por lo que, el proyecto resulta viable dentro del marco de la política de la institución.

A su vez, el proyecto fue planteado paralelamente con la Dirección de Sistemas de Bombeo, por lo que se estará brindando la ayuda necesaria para el diseño del modelo de gestión y su respectiva implementación.

La institución dispone de herramientas que hacen más viable este modelo, como sería, el personal de mediciones de campo, así como políticas futuras de automatización de equipos, introducción a nuevas tecnologías, por lo que el proyecto se vuelve más viable y con un sólido respaldo técnico.

3. Marco teórico

3.1. Capítulo I. Historia y tipos de mantenimiento

3.1.1. Mantenimiento y su evolución en la industria

El mantenimiento como tal ha existido siempre, desde el mantenimiento de las chozas de nuestros ancestros aborígenes hasta el mantenimiento de herramientas; sin embargo, el mantenimiento como lo conocemos hoy surge cuando se crean las primeras máquinas para la producción. Los sistemas de mantenimiento estructurados se dan a principios del siglo XX, el concepto de mantenimiento ha venido evolucionando, según A. Mora el proceso evolutivo del mantenimiento consta de seis etapas o épocas. Estas son:

- Antes de 1950: En esta época el único interés que tenían las fábricas era el generar producto, por lo que su concepto de mantenimiento radicaba solamente en las tareas para reparar los fallos generados.
- Entre 1950 y 1959: Se empieza a dar una preocupación por estructurar un sistema productivo, por lo que se empieza a estructurar a su vez el mantenimiento; por lo que el objetivo de mantenimiento es prevenir, predecir y reparar fallos.
- Entre 1960 y 1980: En esta época se tiene como objetivo optimizar la producción, y se empiezan a ver los primeros indicios de un mantenimiento organizado que permita una correcta gestión y operación de las acciones de mantenimiento.
- Entre 1981 y 1995: Se empiezan a dar la medición de variables con el fin de tener índices, que funcionen como un control de la eficiencia de la producción, mantenimiento ya está estructurado como tal, controla gastos, se dan técnicas como el RCM, la comparación con otras organizaciones, entre otras técnicas.
- Entre 1996 a 2003: Se empieza a dar la cuarta revolución industrial, surge tecnología innovadora y se empieza a dar la automatización.
- Desde el 2004 hasta la actualidad: Se está implantando la digitalización de procesos tanto en producción como para mantenimiento, a lo que se le llama industria 4.0; uso de tecnología e internet para la predicción y planeación de las tareas de mantenimiento.

Durante estos periodos surgen varios tipos de mantenimiento básicos, entre: Mantenimiento correctivo, Preventivo, Predictivo, y Autónomo.

3.1.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo son las acciones que se deben realizar para la corrección de una disminución de la eficiencia o la reparación inesperadas de fallas.

Este tipo de mantenimiento no necesariamente se aplica cuando hay una emergencia, existen dos tipos:

- **Mantenimiento correctivo inesperado:** Este es el mantenimiento “apaga fuegos”, se realiza cuando ocurre un suceso. Es muy utilizado en pequeñas y medianas empresas por lo general. Representan grandes costos por la falta de planificación.
- **Mantenimiento correctivo planificado:** Se debe a decisión del gerente, donde indica que se debe trabajar hasta que el elemento falla o para tener un control predictivo; por lo que se sabe que tienen que estar listos y se planifica el mantenimiento, pero no se sabe en qué momento se dará la falla.

3.1.3. Mantenimiento preventivo

“Es la acción realizada con el objetivo de reducir o evitar la falla, o la caída del desempeño, obedeciendo a un plan previamente elaborado, basado en intervalos de tiempo definidos”

A. Kardec y J. Nascif

Para este mantenimiento se debe considerar los tiempos adecuados para la realización de las tareas, se recomienda un estudio de criticidad de equipos y procesos para enfocar este tipo de mantenimiento a los más críticos.

Este mantenimiento es favorable debido a que se tiene un conocimiento previo de las tareas por realizar, esta planificación trae beneficios como un control de los repuestos y materiales, una mejor administración del tiempo y tener claro las reglas por seguir, esto genera reducción de costos y de tiempo de reparación.

3.1.4. Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es todo aquel que puede ser realizado por los operadores de los equipos, estos mantenimientos son como limpieza de equipos, lubricación de partes móviles, entre otros.

Este mantenimiento es sencillo, pero de importancia en industrias donde hay mucho desprendimiento de material o suciedad; debido a que estas partículas pueden alojarse en sectores de los equipos de los cuales pueden provocar sobrecargas, desgastes y rupturas en los equipos.

3.1.5. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento preventivo es toda acción que se realiza mediante la medición de parámetros, los cuales nos proporcionan información sobre el adecuado funcionamiento o si se avecina una posible falla.

Este tipo de mantenimiento nos brinda la posibilidad de que el equipo esté en funcionamiento continuo la mayor cantidad de tiempo posible, esto ayuda a disminuir las intervenciones indebidas de los equipos, las cuales son causantes de muchas fallas y gastos innecesarios.

Para que se dé una implantación adecuada de este mantenimiento se debe contar con las siguientes condiciones básicas:

- Se debe contar con el equipo necesario que permita el monitoreo o medición de las variables necesarias, según el sistema y equipos que se tienen.
- El sistema o equipo debe justificar este tipo de acciones según los costos involucrados.
- Las fallas deben poder ser monitoreadas y lograr dar seguimiento a las variables necesarias.
- Que se disponga de un medio de seguimiento y análisis del equipo mediante el estudio de las variables.
- Los costos iniciales son un poco elevados, sin embargo, tiene una relación costo/beneficio de 1/5, por lo que para una empresa mediana o grande es viable la inversión en estos sistemas.

3.1.6. Estrategias de gestión de mantenimiento

Con la industrialización, y el crecimiento comercial, dado a mediados del siglo XX, la competencia entre las empresas motiva a mejorar sus productos, pero disminuyendo el costo de producción, esto impulsó a los gerentes a buscar maneras para alcanzar esa meta, llevándolos a crear estrategias para gestión de activos, dando paso a estrategias de mantenimiento, para un adecuado manejo de las tareas por realizar, evitar fallos catastróficos, mejorar tiempos de atención de fallas, disminuir tiempos de paro no programados, mejorar la capacitación de operarios para disminución de fallos por factores humanos, entre otros.

L. Améndola establece varios beneficios de la implantación de una estrategia de mantenimiento exitosas, entre ellos:

- El beneficio se incrementa de un 25-60%
- La productividad aumenta de un 20-25%
- El “Down time” o tiempo de falla de los equipos es rebajado hasta un 98%
- Los costos de mantenimiento se reducen hasta un 30%

Las estrategias de gestión de mantenimiento buscan la optimización y mejora de los procesos con la menor intervención posible, esto dado que se ha demostrado que las intervenciones de equipos incrementan la posibilidad de una falla prematura. Por lo que, en los últimos años, y con los avances tecnología, se ha buscado la incorporación de procesos de mantenimiento adecuados.

3.2. Capítulo II. Mantenimiento basado en la gestión de conocimiento

3.2.1. El conocimiento en el mantenimiento

El conocimiento es una herramienta que se obtiene al analizar las causas y consecuencias de los datos medibles y no medibles; es pasar de tener datos a tener perspectivas y análisis. Cárcel establece que el conocimiento es la capacidad de actuar, procesar, e interpretar información para generar o dar solución a un determinado problema. El conocimiento le otorga poder a quien lo tenga y sepa utilizarlo de manera inteligente para que le brinde beneficios a la organización.

Cárcel establece que cualquier proceso puede ser estudiado por medio de un enfoque Kantiano; esto porque dice que cada proceso cuenta con 3 elementos relacionados:

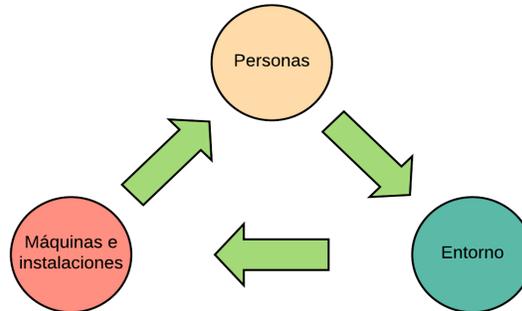


Ilustración 2. Enfoque Kantiano

Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

Donde estos 3 elementos generan información que son la base esencial de muchas de las soluciones a los problemas, y por lo general son los principales actores para obtener un buen desempeño de labores.

Se dice que el conocimiento es de los principales activos que tienen una organización, sin embargo, en el área de mantenimiento en la mayoría de los casos no ha sido utilizado de una manera eficiente, debido a sus quehaceres diarios que en la mayoría de los casos surgen de emergencias y se recurre a la experiencia de los colaboradores. Estos trabajos basados en la experiencia no suelen ser registrados o documentados, lo que es conocimiento que se puede perder dado que solo quedan en la mente de los trabajadores.

3.2.2. Tipos de conocimiento

Cárcel basa su estudio, en la siguiente división taxonómica del conocimiento, donde se dividen en diferentes tipos de conocimiento:

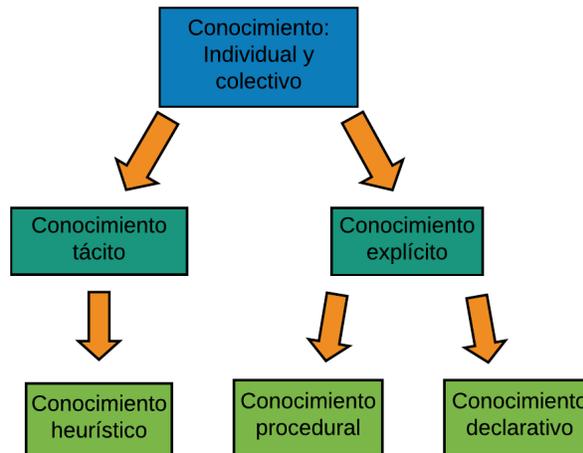


Ilustración 3. Clasificación del conocimiento según Cárcel.

Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

- 1) **Conocimiento individual:** Este conocimiento es el que cada persona obtiene y desarrolla para sí mismos por medio de la experiencia, vivencias, entre otros.
- 2) **Conocimiento colectivo:** Este se da con la interacción entre los individuos, es cuando en un colectivo se reúne y se comparte el conocimiento donde todos generan un conocimiento colectivo a base de los conocimientos individuales de los participantes.

De estas dos divisiones se da otra subdivisión:

- 3) **Conocimiento tácito:** Es un conocimiento con una alta complejidad, debido a que es individual y se encuentra de manera interna de los seres humanos. Este conocimiento es el que el individuo va acumulando con la experiencia. La aplicación de este tipo de conocimiento se da de manera inconsciente, es transmitido por medio de experiencias laborales colectivas y experiencias personales, es difícil de imitar e innovador; su comunicación es sumamente difícil igual que el almacenamiento de este.

- 4) **Conocimiento explícito:** Este conocimiento se transmite de una manera física visible, fácil de comprender y de una duración prolongada, ya que, es independiente de la mente del individuo; por ejemplo, documentos técnicos, investigaciones, imágenes, entre otros. Es más fácil de transmitir y almacenar; y requiere de grandes recursos para su almacenamiento.

Este diagrama se subdivide en tres divisiones más, que son divisiones dependientes para la resolución de problemas, y con esto culmina el esquema utilizado por Cárcel:

- 5) **Conocimiento heurístico:** Se dice que este tipo de conocimiento establece las experiencias que ha acumulado el individuo, así como el razonamiento que debe implementar para su entendimiento, es resultado de las vivencias individuales.
- 6) **Conocimiento declarativo:** Este es concepto de conocimiento, establece los detalles para el identificar el qué, quién, dónde y cuándo de las situaciones. Es todo aquel conocimiento físico sobre objetos o situaciones.
- 7) **Conocimiento procedural:** Este conocimiento es el que abarca a los procedimientos para la ejecución de tareas, estos procedimientos están realizados con conocimiento de manera que establece las acciones necesarias para el cumplimiento de las tareas. Es necesario el conocimiento, tanto heurístico y declarativo, para desarrollar este tipo de conocimiento.

Como se observa, todos los conocimientos van vinculados unos a otros y es un activo de tal importancia que afecta todos los aspectos de la organización financiero, calidad, procesos de producción, producto, entre otros; por esto la importancia de gestionarlo de manera eficaz y eficientemente.

3.2.3. Beneficios de una gestión de conocimiento

Según la investigación de Cárcel, la aplicación de una gestión y la aplicación eficiente del conocimiento es un importante factor positivo para la mejora de diversos aspectos en la organización, los cuales se detallan a continuación:

- a) Resolución de averías: Dado que se tiene bien gestionado historiales de falla, procedimientos de atención a fallas y mediciones es posible encontrar la falla y planificar y ejecutar una solución viable.
- b) Actuaciones ante acciones de emergencia: Ante fallas de emergencia, si se tiene conocimiento de los equipos, los procedimientos en caso de emergencia y colaboradores capacitados; se aumenta la agilidad para la oportuna atención de la eventualidad.
- c) Conocimiento del entorno: Se tiene seguimiento de los equipos en operación, así como sus valores nominales o de operación normal, así como el proceso que se cumple, generan los insumos necesarios para conocer el funcionamiento del área de trabajo.
- d) Ver oportunidades de nuevas acciones: El conocimiento en mantenimiento nos ayuda a visualizar soluciones y sus posibles consecuencias. En muchas ocasiones, la gran cantidad de información mal dirigida no deja observar la información importante y necesaria para el mejoramiento del sistema o proceso.
- e) Planificación del mantenimiento: La planificación del mantenimiento es un punto débil en los departamentos de mantenimiento, debido a la cantidad de tareas implicadas, más las emergencias que puedan surgir; sin embargo, el conocer el sistema y los elementos ayuda en la priorización de trabajos y su fiabilidad.
- f) Marcar prioridades: El conocimiento es vital para determinar que sistemas o dispositivos presentan mayor criticidad, cuáles son las condiciones del sistema y las consecuencias de posibles fallas, dando la posibilidad de generar prioridades para el sistema.

- g) Optimizar recursos técnicos: El manejar conocimientos técnicos y de fallas ayuda a mejorar los tiempos de acople del personal técnico, también al establecer prioridades se ahorra tiempo y recursos técnicos en tareas críticas y no en tareas que no afectan el rendimiento de los equipos.
- h) Optimización de recursos: El tener conocimiento sobre los equipos y su estado permite que la gestión de compras sea enfocada en los recursos, por lo que se realiza una adquisición oportuna de equipos y no basada en las experiencias pasadas.
- i) Mejora de la fiabilidad y tiempos de respuesta: El conocimiento brinda tareas de gran importancia, como lo son inspecciones, historiales de falla, entre otros, pueden ayudar a predecir fallas, tener procedimientos de atención a fallas no críticas, entre otras.

Las características anteriores son una posibilidad si se genera un conocimiento crítico, fluido y de fácil manejo; para que sea utilizada por los miembros de la organización de manera eficaz.

3.2.4. Principios de un modelo de gestión de conocimiento en mantenimiento industrial

Los principios para la implementación de un sistema de gestión basado en el manejo del conocimiento, el objetivo principal es hacer uso del conocimiento tácito y explícito de manera que logre mayor productividad, eficiencia en trabajos y reducción de gastos, utilizando características humanas que en ocasiones son olvidadas por las propias labores técnicas.

Cárcel establece cuatro principios básicos en su propuesta para la gestión de mantenimiento basado en la gestión del conocimiento:

- a) Generación de conocimiento: Se trata de establecer las herramientas necesarias para establecer el conocimiento adecuado y se realiza el aprendizaje de la organización.
- b) Producción: Se adquiere el conocimiento y se establece el conocimiento que será de utilidad para la organización de mantenimiento.
- c) Transferencia: Se estructura el conocimiento para generar planes de acción para la intervención de los sistemas, estos deben ser compartidos con todos los miembros, para sea interiorizados y respaldados por todos los miembros de la organización.
- d) Utilización: Una vez estructurados los planes de acción, se deben realizar para las correcciones o las prevenciones necesarias.

Para mejorar la implementación de dicho modelo, Cárcel sugiere cinco medidas:

- Establecer las herramientas necesarias para la obtención del conocimiento.
- Gestionar y administrar el conocimiento con el fin de establecer estrategias para el desarrollo de la organización.
- Depurar el conocimiento, necesario para la organización del mantenimiento y que produzca beneficios.
- Establecer los mecanismos tecnológicos para el almacenamiento y manejo del conocimiento, el cual debe ser amigable con los miembros de la organización y flexible debido a los cambios a los que está expuesta la organización.
- Definir los encargados de darle seguimiento al conocimiento que se produzca.

Estas medidas provocaran un proceso más fluido, más eficaz, más organizado y más sostenible con el tiempo.

3.2.5. Modelo de gestión de mantenimiento basado en el conocimiento

Según Cárcel (2014), el conocimiento es la capacidad de actuar, procesar e interpretar información para generar más conocimiento o dar solución a un problema particular. El aprovechar los datos que se tienen puede resultar una gran herramienta para el mantenimiento y para la organización, dado que el conocimiento del estado actual y los antecedentes de los equipos nos proporcionan material para una predicción del estado futuro, dando la posibilidad de una buena preparación y programación, que al final se van a traducir en reducciones de tiempos de atención, errores de ejecución y retrabajos y selección de equipos, lo cual a un final se reducirá en una disminución de costos para la organización.

Se propone un esquema general para el modelo de gestión, basado en el conocimiento, para la dirección de sistemas de bombeo GAM del AyA, este modelo intenta explicar el flujo de conocimientos de una manera sencilla, con el fin de dar un panorama a lo que se quiere llegar con la aplicación de este modelo.

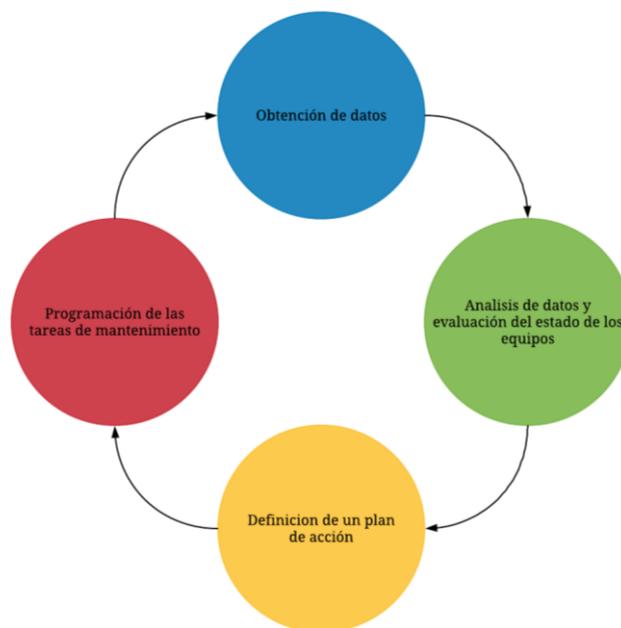


Ilustración 4. Modelo básico de gestión del conocimiento.

Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

Como primer paso, se establece la obtención de datos, tanto cuantitativos como cualitativos, por medio de herramientas que posteriormente se explicaran, estos datos pasan a una segunda etapa donde se van a analizar, con el fin de determinar equipos críticos o estaciones en malas condiciones, con ese conocimiento generado se llega a la tercera etapa en donde se definen los planes de acción que se van a seguir, para la intervención de las tareas de mantenimiento, esto generara que las intervenciones de equipos sean bien planificadas evitando al máximo los contratiempos y por último se pasa a la etapa de programación, realización y evaluación de la gestión. En la programación se realiza según priorización de tareas, la realización debe ser verificada e inspeccionada por el jefe de área y la evaluación de la gestión se hará por medio de las órdenes de trabajo programadas y realizadas.

3.2.6. Etapas de implementación de un modelo de gestión de conocimiento

Cárcel establece siete etapas fundamentales para el establecimiento de la gestión de mantenimiento, resumen del proceso de formalización del modelo de mantenimiento basado en el conocimiento:

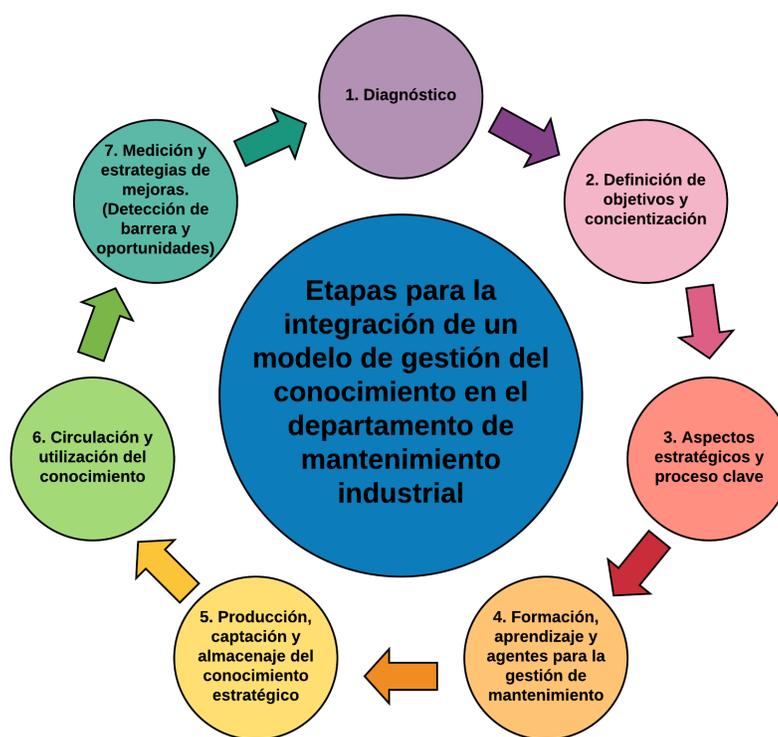


Ilustración 5. Etapas de implantación del modelo de mantenimiento basado en la gestión de conocimiento.

Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

La figura 5 hace referencia de una adecuada implantación de un modelo de conocimiento en una organización de mantenimiento según Cárcel.

- a) **Diagnóstico:** Para iniciar un proyecto de gestión en una organización, es necesario una medición del estado de la organización con el fin de identificar las carencias y el alcance del proyecto. También es importante la identificación del conocimiento que la organización tenga de la gestión, de las herramientas disponibles, las que saben que no tienen, las que no saben que tienen y las que no saben que no tienen. Con estas herramientas se visualiza el conocimiento faltante y que se debe tener para las mejoras en las acciones. También estas dos herramientas nos determinan el nivel de maduración en los procesos de la organización y marca la guía por seguir.
- b) **Definición de objetivos y vinculación de toda la organización:** Una vez establecida la situación actual de la gestión, es necesario el establecimiento de objetivos que le brinden una dirección estratégica para mejorar el desarrollo de la gestión de mantenimiento de la organización.
Estos objetivos se orientan según, las necesidades, los conocimientos y la operación de la organización.
En esta etapa es necesario realizar la vinculación de los altos cargos con el proyecto, ya que, el proyecto no se puede dar sin su aprobación y sin su compromiso con el mismo, después se debe informar y enseñar al resto de la organización, para que ellos sean partícipes. Toda la organización debe formar parte del modelo de gestión y su metodología, ya que el recurso del conocimiento tácito viene desde las personas operativas hasta los directivos. En esta etapa es necesario un estudio de los recursos disponibles en la organización, para establecer con que cuenta la organización para iniciar el proyecto.
- c) **Aspectos estratégicos y procesos clave:** En esta etapa es donde se empieza a crear el conocimiento, es donde se recolectan los datos que se transformaran en conocimiento y también donde se recogen los conocimientos tácitos de las personas. Estos datos y conocimientos deben representar aspectos estratégicos para la práctica del mantenimiento y que incidan en la gestión directamente de la empresa.
- d) **Formación, aprendizaje y agentes para la gestión de mantenimiento:** Este proceso es donde se da la transformación de los datos a conocimiento. Los directivos deben generar una cultura abierta para que los operarios o técnicos compartan su conocimiento, esto motiva y a su vez genera un ambiente proactivo en la organización. En este punto el conocimiento se vuelve un recurso de prioridad para la organización, por lo que se le debe otorgar la importancia de cualquier otro recurso; por esta razón se recomienda tener un responsable encargado del manejo de la información tanto la captación como la utilización.

- e) **Producción, captación y almacenaje del conocimiento estratégico:** Se toman los datos analizados para integrar los conocimientos y las percepciones; y tomar la decisión, lo cual permite crear nuevo conocimiento que podrían ser de ayuda para posteriores eventualidades.
Su característica principal es el almacenamiento de la información adecuada, por medios que faciliten la transferencia a todos los miembros de la organización, esto debe ser de manera ágil y con alta accesibilidad.
Se toma todo el aprendizaje de la etapa anterior, con el fin de generar un procedimiento estructurado que le dé solución al problema, por lo que es posible la incorporación de procedimientos de atención a trabajos programados tanto preventivos como correctivos, así como informes de fallas de poca frecuencia, con el fin de una estandarización en los trabajos y una atención más rápida a las diferentes fallas que se pueden presentar.
- f) **Circulación y utilización del conocimiento:** En esta etapa se utiliza el conocimiento anteriormente adquirido para ser distribuido entre los miembros de la organización y con el fin de dar respuesta a las situaciones adversas con mayor prontitud y fluidez. Para esta circulación del conocimiento se deben encontrar medios sencillos y ágiles, para que el proceso sea más rápido.
- g) **Medición y estrategias de mejora:** Debido a que los procesos de gestión se plantean para ser de mejora continua, se establece que exista una herramienta de medición basada en indicadores los cuales miden el rendimiento de la gestión y da lugar a nuevas metas. Estos indicadores son capaces de medir tiempos de atención de fallas, tiempos de acoplamiento de nuevo personal, entre otros. Los indicadores deben (Organización Panamericana de la Salud, 2005) estar orientados al cumplimiento de los objetivos y del conocimiento establecidos en las etapas anteriores.

3.3. Capítulo III. Definiciones de estaciones de bombeo

3.3.1. Estaciones de bombeo

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), una estación de bombeo es un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios; que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan hacia un reservorio de mantenimiento o directamente a la red de distribución.

3.3.2. Elementos de conformación de una estación de bombeo

En una estación de bombeo se pueden encontrar múltiples equipos en interacción; sin embargo, se hará mención de unos los más representativos:

- Caseta del bombeo
- Centro de carga, Variador, etc.
- Equipo de bombeo (bomba y motor)
- Tubería de succión
- Tubería de descarga
- Válvulas de regulación y control
- Sensores de nivel
- Tableros de protección y control eléctrico
- Sistemas de ventilación natural o forzada

3.3.3. Tipos de estaciones de bombeo en la Dirección de Sistemas de Bombeo de GAM del AyA.

En la Dirección se manejan tres tipos de estaciones de bombeo, las cuales son:

- **Booster de bombeo**

Este tipo de estación se utiliza cuando hay una necesidad de elevación de presión en la línea de distribución, se caracteriza porque la succión viene proveniente de la línea de distribución directamente, sin un almacenador antes de la succión.

Pueden encontrarse dos tipos:

- **Booster con equipo exterior:** Este sistema se establece con equipo exterior tanto bomba y motor, es un sistema muy sencillo, dado que la línea de distribución entra a la bomba y cuando sale con el aumento en la presión sale a la línea de distribución.

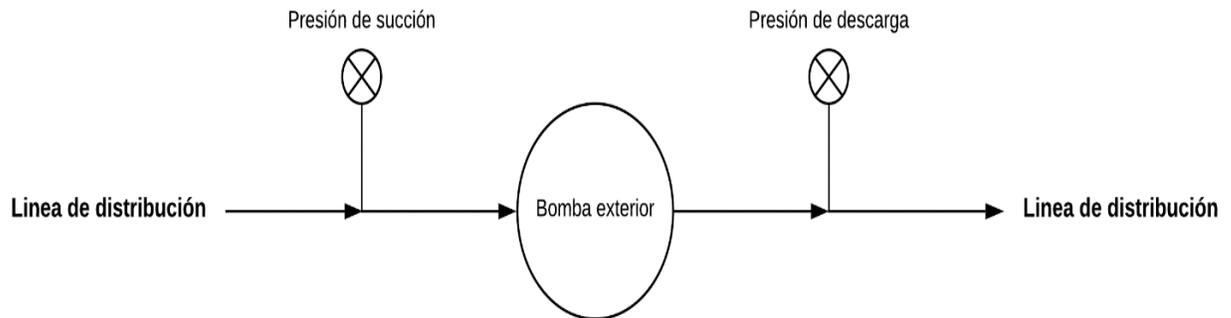


Ilustración 6. Diagrama de un Booster con equipo exterior
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

- **Booster con equipo sumergible:** Para este caso, el booster se realiza mediante un pozo de baja profundidad, al pozo llega el caudal de la línea de distribución con baja presión llena el pozo y con equipo de bombeo sumergible, tanto motor y bomba, se vuelve a inyectar a la línea de distribución a una mayor presión.

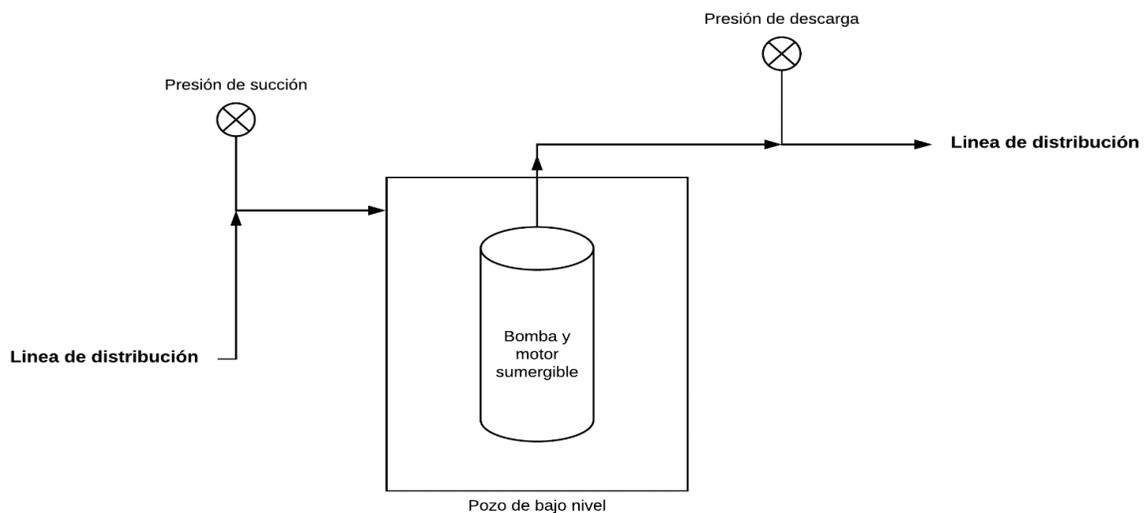
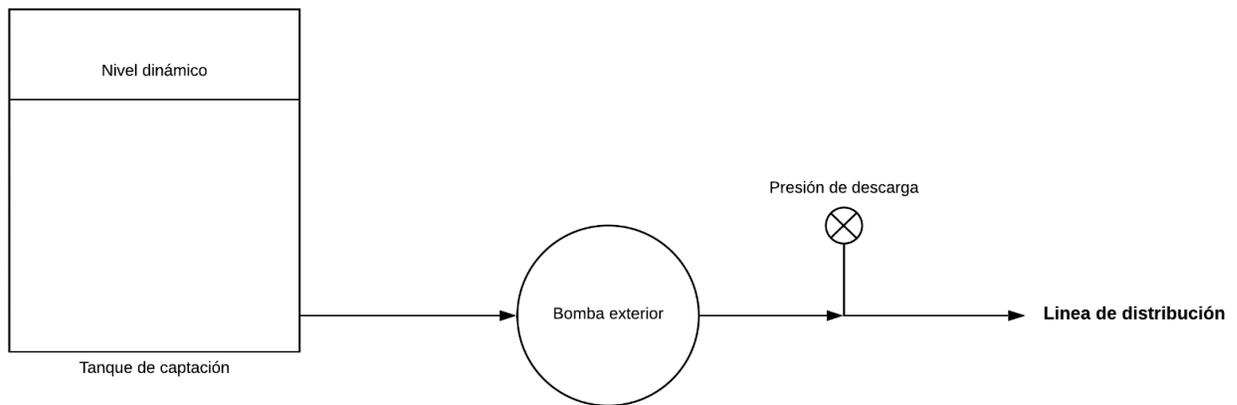


Ilustración 7. Diagrama de Booster con equipo sumergible.
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

- **Estación de rebompeo o bombeo**

El bombeo o rebompeo toma el agua que llega de los tanques de almacenamiento en un lugar determinado e imprimirle energía a esta para que sea trasladada ya sea, a plantas potabilizadores o a la línea de distribución. Pueden encontrarse dos tipos:

- **Bombeo o rebompeo con equipo exterior:** El agua proveniente del tanque de almacenamiento llega a un equipo impulsor exterior, este le brinda la energía necesaria al agua para recorrer su camino hasta la próxima estación de bombeo o para que entre a las líneas de distribución.



*Ilustración 8. Diagrama de Bombeo y Rebompeo con equipo exterior
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com*

- **Rebompeo o bombeo con equipo sumergible:** El agua que viene del tanque de almacenamiento llega a un pozo de poca profundidad, donde un equipo impulsor sumergible le establece una energía para que el agua llegue a otra estación de bombeo, o bien, que se conecte con las líneas de distribución, con energía suficiente para completar el recorrido.

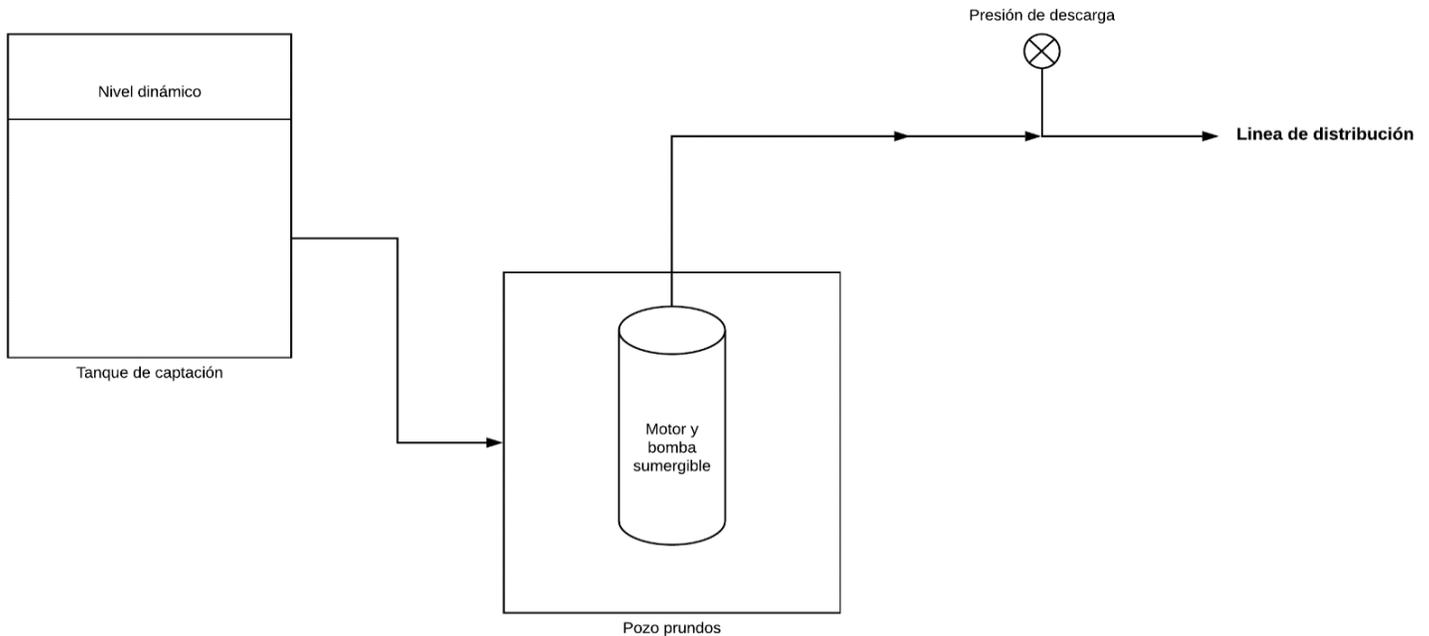


Ilustración 9. Diagrama de Bombeo y Rebompeo con equipo sumergible.
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

- **Pozos profundos**

El pozo profundo es un sistema utilizado para la captación de agua, se da por los flujos de agua subterránea presentes en algunos sectores, se hace una perforación de cierto diámetro y profundidad, esta perforación se debe encamisar con tubería especial y se lleva un equipo de bombeo a un nivel inferior al del agua, así el agua subterránea es impulsada para su aprovechamiento. En el AyA se tienen dos tipos de pozos:

- **Pozos profundo tipo turbina:** En este pozo la bomba es sumergible; sin embargo, el motor es exterior y se conecta a la bomba sumergible por medio de un eje y la extracción del agua se da por una tubería concéntrica al eje.

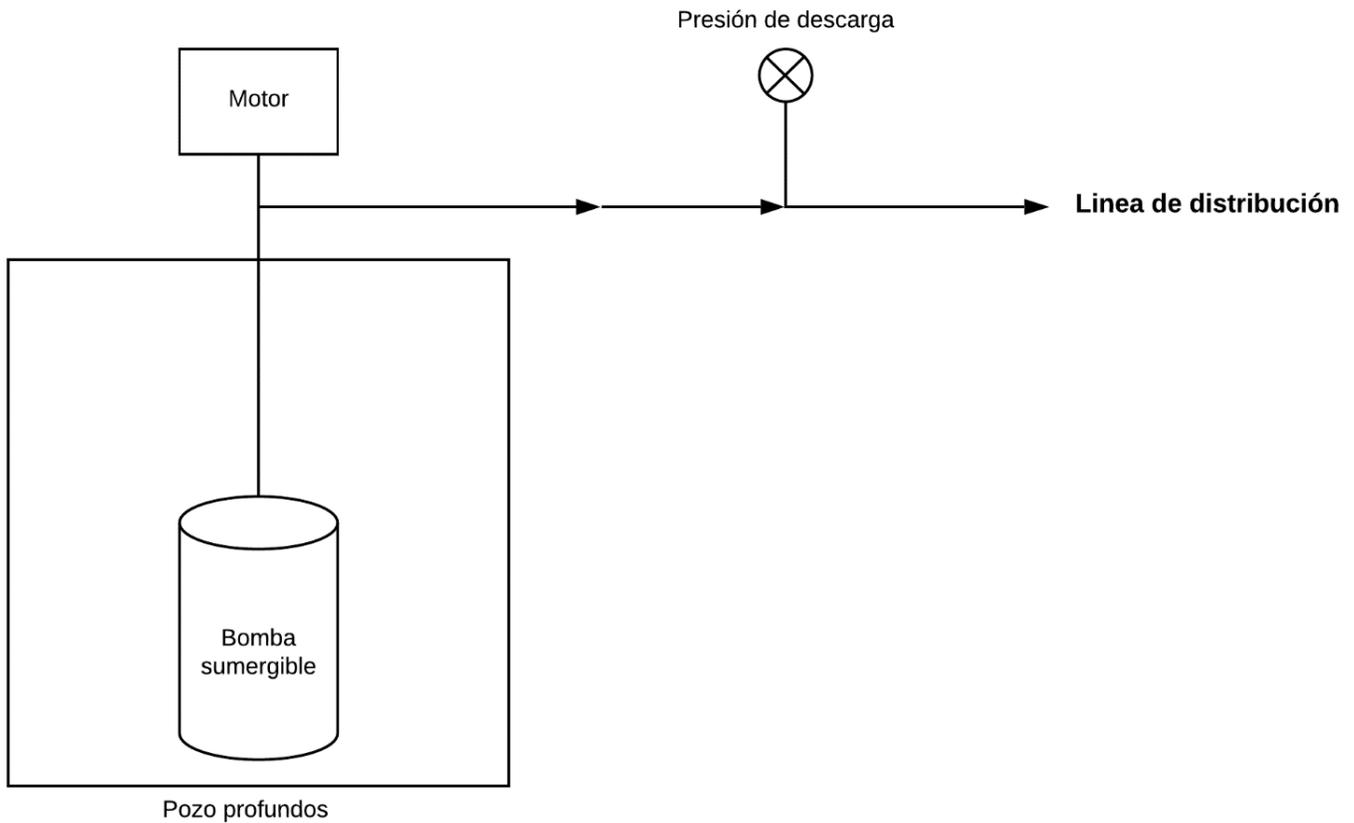


Ilustración 10. Diagrama de pozo por turbina.
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

- **Pozo profundo con equipo sumergible:** En este tipo de pozo, tanto el motor como la bomba se encuentran sumergibles, son motores especiales exclusivamente diseñados para esta labor.

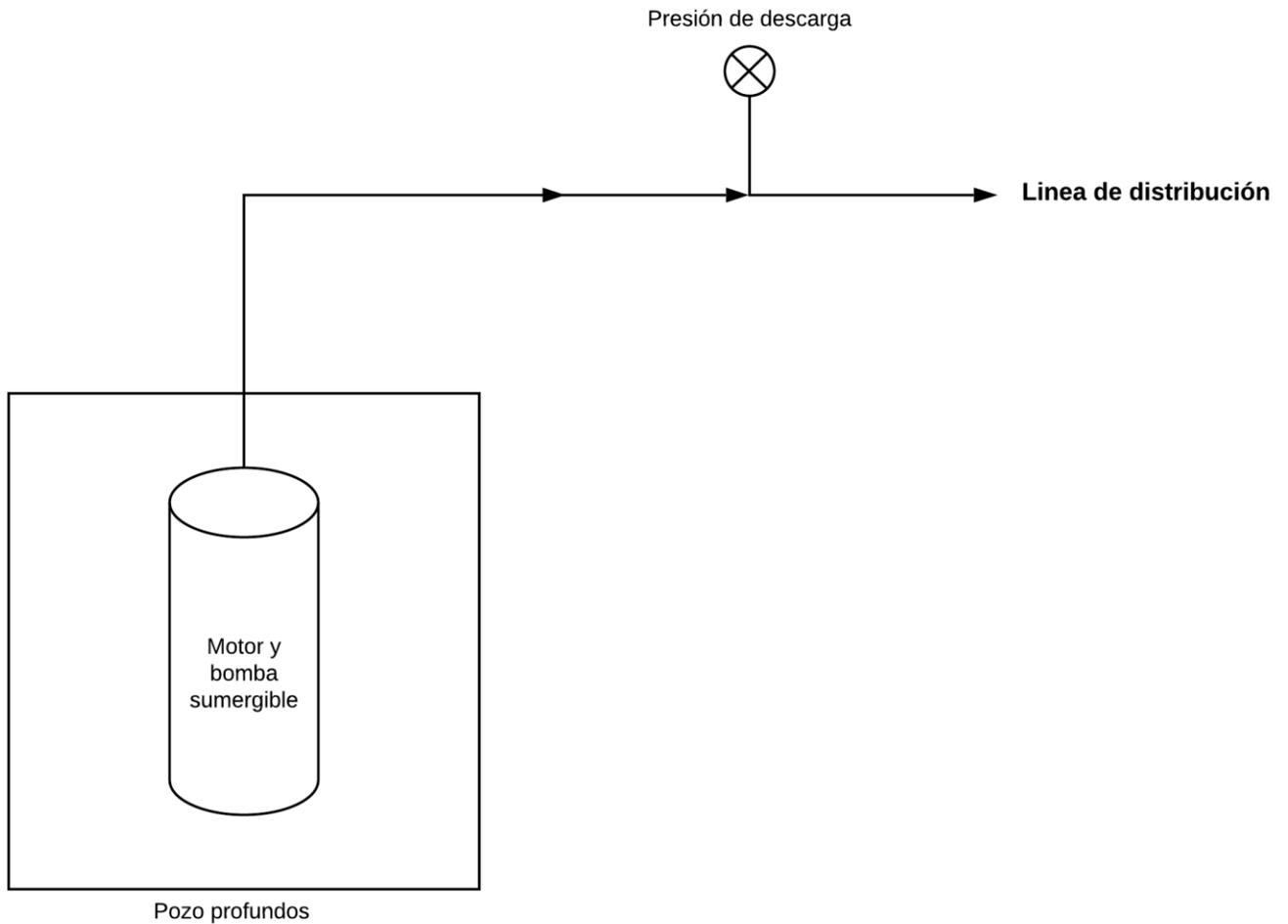


Ilustración 11. Diagrama de pozo con equipo sumergible.
Fuente: Elaboración propia, www.lucidchart.com

3.3.4. Tipos de equipos de bombeo utilizados en las estaciones del AyA.

A pesar de que el AyA cuenta con una gran cantidad de equipos, con el fin de solventar la necesidad de impulsión, los más utilizados son paneles, bombas, motores, accesorios hidráulicos.

a) Paneles de control:

En los paneles son dispositivos eléctricos donde podemos encontrar dos elementos específicos, uno es el centro de carga, el otro es el dispositivo de arranque de motores.

- **Centros de carga:**

Los centros de carga son dispositivos encargados de distribuir de manera más segura la energía eléctrica, también protege las instalaciones eléctricas en caso de disturbios en la red que puedan generar daños en los equipos o en la instalación; se basa en protecciones termomagnéticas que reaccionan cuando se da una variación peligrosa en el comportamiento de la red.

- **Dispositivos de arranque de motores**

El arranque de un motor se puede generar por varios métodos y dispositivos con el fin de generar arranques que minimicen corrientes de arranque y disminuyan los efectos adversos en el motor, entre los empleados por el AyA están:

- **Arranque directo**

Es el tipo de arranque más sencillo al conectar las líneas de potencia del motor directamente a las de la red por medio del proceso de conmutación simple. Este tipo de arranque da como resultado altas corrientes de arranque, debido a esas corrientes se producen caídas de voltaje, por lo que, las compañías distribuidoras de electricidad limitan algunas veces la cantidad de motores conectados de esa manera.

- **Arranque suave**

El arranque suave permite un aumento continuo y lineal del par, dándonos la posibilidad de una reducción selectiva de las corrientes de arranque. La tensión del motor se incrementa por medio de una tensión inicial y un tiempo rampa de aceleración; mediante selectores hasta que se alcance la tensión nominal del motor.

Sin embargo, este método sólo se aplica cuando la tensión del motor es igual a la de la red; si se aplicara una tensión inferior se da una reducción cuadrática en el par del motor. Esto provoca que no se pueda dar un control de velocidades en el motor.

- **Arranque con autotransformador**

Es un método de arranque de tensión reducida, consiste en un transformador conectado a la línea de la red, este reduce el voltaje para el arranque del motor, cuando este empieza a girar, se le conecta el voltaje nominal de motor. Este método también reduce la corriente de arranque del motor, sin embargo, no permite el control de velocidades y debido a la reducción del voltaje el par se ve afectado.

- **Arranque con variadores de frecuencia:**

Los convertidores de frecuencia o variadores de frecuencia son dispositivos que por medio de un conjunto de dispositivos electrónicos es capaz de manejar la frecuencia de la red, de manera que puede disminuirla o aumentarla dependiendo de las necesidades. La frecuencia es un factor determinante en la velocidad del motor, dada la siguiente formula:

$$n = \frac{120 * f * (1 - s)}{p}$$

Donde:

n = Velocidad de rotación mecánica(rpm)

f = Frecuencia (Hz)

s = Desplazamiento

p = Número de polos

La tarea de los convertidores de frecuencia es transformar la amplitud y frecuencia de la tensión constante de la red, en una amplitud y frecuencia variable; con esto se permite el control de las velocidades del motor. Sin embargo, la relación de Voltaje/frecuencia debe mantenerse lineal y proporcional, esto debido a la siguiente ecuación:

$$\Phi_m = k_2 * \frac{V}{f}$$

Donde:

Φ_m = Flujo de magnetización (Wb)

K_2 = Constante dependiente del material de la maquina

V = Voltaje (V)

f = Frecuencia (Hz)

A la hora de bajar el voltaje se tiende a pensar que el par que se desarrolla en el motor se ve disminuido, sin embargo, esto no sucede debido a la siguiente formula:

$$T = k_1 * \Phi_m * I$$

Donde:

T = Par disponible en el eje (Nm)

Φ_m = Flujo de magnetización (Wb)

I = Corriente rotórica (A)

K_1 = Constante dependiente del material de la máquina

Se sabe que la corriente depende de la carga que se tenga, si la carga es constante, la corriente será constante; por lo que la variación en el par del motor se debe a la relación del voltaje entre la frecuencia, si esta relación se logra mantener constante el torque no se verá afectado, aunque disminuya el voltaje y la frecuencia.

Sin embargo, cuando la frecuencia es la nominal del motor o mayor el voltaje llega a su máximo y se mantiene constante; por lo que, si se aumenta la frecuencia, la relación de V/f disminuirá por lo que el torque también disminuirá afectando la eficiencia del sistema.

Entre las ventajas que conlleva la implementación de variadores de frecuencia están:

1. Se puede tener un control a distancia, esto gracias a los sistemas electrónicos con los que se cuenta, el variador puede ser controlado de forma manual o en forma automática en el lugar distante.
2. Al utilizarse variadores de frecuencia para el arranque elimina los picos de corriente que suelen ser causantes de daños en los equipos, esto resulta en un ahorro en los costos de mantenimiento, brindan arranques suaves afectando lo menos posible al equipo.
3. Se aumenta la disponibilidad de los equipos y de la producción, dado que los equipos estarán más tiempo trabajando, y su ciclo de vida aumentará.
4. Se da un aumento en el ahorro energético, debido a que el voltaje se disminuye la potencia del equipo se disminuye sin afectarse la eficiencia del equipo.
5. La utilización de sistemas con variador de frecuencia, son versátiles y se pueden utilizar para cualquier variedad de carga y pudiendo controlar varios equipos con un solo variador.
6. Se mejora la calidad del proceso debido a que se puede controlar las velocidades del motor de una manera más precisa, optimizando el producto final.

- **Arranque por caja de arranque**

La caja de arranque es un dispositivo compuesto por relés de sobrecarga, dispositivos de control de encendido y apagado, un condensador de arranque y un condensador de funcionamiento continuo. Este sistema se utiliza para motores monofásicos, el devanado auxiliar es conectado al condensador de arranque el cual provoca que este quede desfasado 90° del devanado principal, una vez que el rotor empieza a moverse el circuito de control desconecta el devanado auxiliar y el condensador de arranque, para que sean conectados el condensador de funcionamiento continuo y el devanado principal.

b) Accesorios hidráulicos

Los accesorios hidráulicos son de gran importancia para la distribución del fluido, entre los más importantes están: válvulas tipo check, la de compuerta y la tubería de columna especial para pozos.

- **Válvulas check**

La válvula check son dispositivos para el direccionamiento del fluido que se utilizan en sistemas donde se desea que el fluido viaje en una sola dirección; esta válvula impide que el fluido se devuelva por la línea de distribución y dañe el equipo de bombeo; el AyA hace uso de los siguientes 2 tipos:

- **Válvula check vertical**

Esta válvula se utiliza en los pozos profundos a 6 m de la colocación de la bomba, con el fin de que, al manipular el equipo, la columna de agua retenida en el tubo no vaya a dañar el equipo, sin la válvula toda esa presión caería sobre la válvula provocando grandes daños.

- **Válvula check horizontal**

Esta válvula se utiliza en el sistema de distribución con el fin de que el flujo sea en la dirección del pozo a la línea de distribución y no al revés. También se utiliza cuando se deben apagar los sistemas para algún mantenimiento en pozos o estaciones así se restringe la entrada de agua al sistema.

- **Válvulas de compuerta**

Tiene la ventaja de que cuando se encuentra totalmente abierta no muestra ninguna restricción para el fluido. No son válvulas aptas para el estrangulamiento. Consiste en un dispositivo similar a un disco que tiene un grado de libertad perpendicular al camino que recorre el fluido, por lo que cuando el disco recorre todo su camino restringe el paso del fluido.

- **Tubería de columna**

Esta tubería es especial, está hecha de acero como el ASTM A 53 especiales para el soportar altas presiones, y capaz de soportar el peso de los equipos de bombeo, los acabados de los extremos son roscados, se debe asegurar que los hilos de la rosca resistan el peso del equipo más la columna de agua que se forma entre estas. La longitud de estos tubos tan designados comercialmente en seis metros aproximadamente; algo que se debe tomar en cuenta a la hora de la colocación de una bomba.

- c) **Instrumentos de medición y control**

Las estaciones de bombeo disponen una serie de sensores y controles, tanto eléctricos como hidráulicos para monitorear y resguardar los equipos instalados:

- **Dispositivos de medición:**

Sentron PAC: Es un dispositivo de tecnología PAC, que ejecuta funciones en tiempo real, da seguimiento a varias variables a la vez. Son dispositivos similares a los PLC, solo que los PAC son analizadores de las señales analógicas y envía el análisis de una vez al centro de control, este dispositivo es el encargado de las mediciones eléctricas.

Sensores hidráulicos: Estos sensores son los encargados de medir la función principal de bombeo y distribución. En estos tenemos los sensores de nivel de pozos y presión hidráulica.

Instrumentos de control: Estos dispositivos son los que limitan al sistema a funcionar en un rango apropiado, con esto se protegen los equipos de condiciones perjudiciales, como por ejemplo control de presión, electrodos de nivel y elementos de sobrecarga.

d) Bombas

- Bombas sumergibles

Las bombas sumergibles son bombas centrifugas, cuya función principal es imprimirle energía cinética al fluido a través de la energía mecánica desarrollada por el motor, esto genera una diferencia de presiones a la entrada y salida de esta. Por lo general están diseñadas para el funcionamiento en pozos profundos por lo que su forma es cilíndrica y de diámetros reducidos, por lo general cumplen con la norma NEMA para dimensiones de 4, 6 y 8 in, está formada por etapas y por cada etapa consta de un impulsor.

El impulsor es el encargado de imprimirle la energía al fluido a través de sus alabes. Existen 2 tipos de bombas:

Radial: Tiene una diferencia entre el diámetro de entrada del impulsor con el diámetro de salida de este, esta característica ayuda cuando las cargas son elevadas.

Semiaxial: Están diseñadas para manejar de mejor manera una gran cantidad de caudal.

En cada etapa, se cuenta con un anillo de estanqueidad, el cual se ubica entre la entrada del impulsor y la cámara para evitar al máximo reflujos. En la cámara hay un distribuidor para direccionar el flujo hacia la otra etapa.

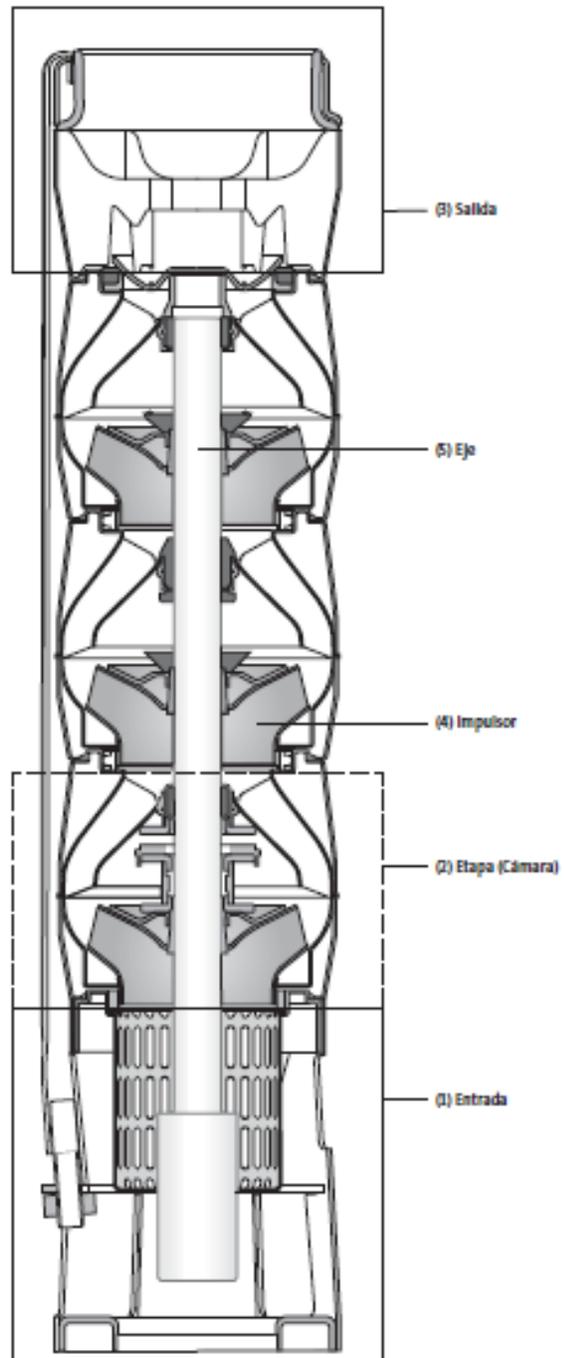


Ilustración 12. Diagrama de una bomba sumergible.

Fuente: Manual de ingeniería SP, Grundfos

- **Bombas exteriores**

Estas bombas están diseñadas para un ambiente exterior, donde el fluido va a pasar a través de la bomba, la bomba no está inmersa en el fluido como las sumergibles. Existen varios tipos:

1) Bombas centrifugas horizontales

Estos equipos tienen su transmisión de forma horizontal y pueden tener varias etapas e impulsores, son útiles en lugares donde verticalmente no cuentan con mucho espacio. Se utilizan donde las fuentes son superficiales, embalses o en puntos de rebombeo.

Se deben colocar en lugares donde estén secas de manera externa, protegidos de inundaciones, ventilados y de fácil acceso. Este tipo de bombas tienen costos de operación y de mantenimiento muy bajos.

2) Bombas centrifugas verticales

Al contrario de las horizontales, estas cuentan con el eje de transmisión de manera vertical, pueden tener varias etapas e impulsores; se deben ubicar directamente sobre el punto de captación, esto limita su funcionamiento, suelen utilizarse en pozos tipo turbina por eso se configuran en diámetros pequeños.

La lubricación de esta bomba puede ser de dos maneras, con el mismo líquido que se impulsa o con aceite. Estas bombas están accionadas con motores verticales de eje hueco. Son equipos versátiles y de amplio rango de trabajo. Los costos de instalación no representan costos mayores a los de eje horizontal, sin embargo, la operación y mantenimiento sí necesitan mayor cuidado.

e) Motores

- Motores eléctricos exteriores

Estos motores están accionados por electricidad, para el abastecimiento de agua se utilizan, por lo general, los motores síncronos, que presentan una velocidad prácticamente constante, esta velocidad depende de la frecuencia, número de polos. Estos son motores de gran eficiencia y económicos, pero es necesario tener cuidado con las caídas de tensión debido a que no más sensibles a estos.

Estos motores solo necesitan una construcción robusta que los soporte y mecanismos de protección eléctrica contra caídas de tensión y sobrecargas, no conllevan un mantenimiento complejo, es cuestión de brindarle un buen ambiente de trabajo, y que trabaje lo más cercano a las condiciones nominales de placa.

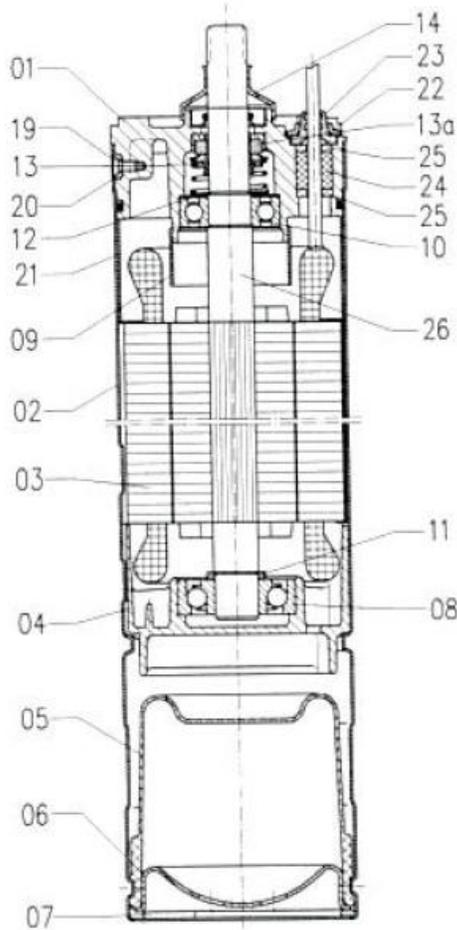
- Motores eléctricos sumergibles

Los motores eléctricos sumergibles, son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica por medio de las leyes del campo magnético giratorio, las leyes de Faraday y otras.

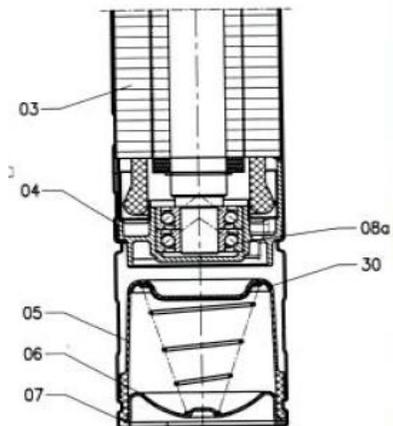
Estos motores están diseñados para trabajar en condiciones bajo el agua, en su mayoría estos motores son llamados húmedos debido a que en su interior están llenos de una solución a base de agua, esta solución tiene como meta la lubricación de motor y el enfriamiento del motor.

Estos motores resultan instrumentos muy delicados. Se debe tener muchas previsiones a la hora de almacenarlo, transportarlo e instalarlo. Debido a que vienen sellados debido a su líquido interno refrigerante y de lubricación; también para que los devanados internos no hagan contacto con el agua del pozo que no están totalmente limpios.

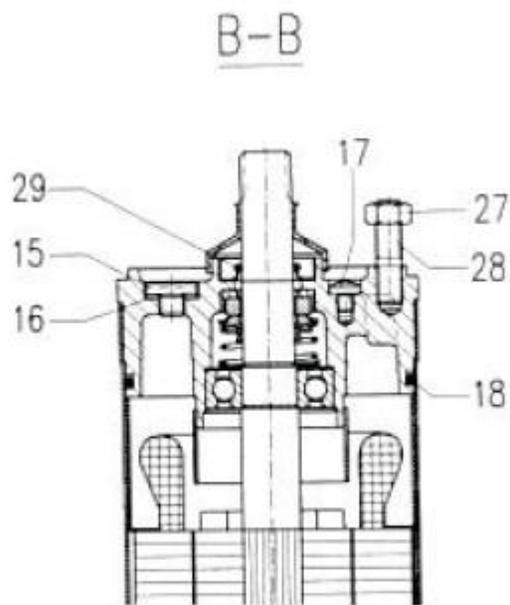
Tabla 1. Parte estructurales de un motor sumergible.



da 4 kW fino a 7,5 kW
from 4 kW until 7,5 kW



1	Soporte superior
2	Tubo
3	Estator bobinado
4	Soporte inferior
5	Membrana de compensación
6	Tapa membrana
7	Anillo Seeger
8	Cojinete oblicuo
8a	Cojinete oblicuo
9	Protección soporte superior
10	Cojinete de bolas
11	Separador cojinete
12	Anillo de compensación
13	Estanqueidad mecánica giratoria
13a	Estanqueidad mecánica fija
14	Protección contra arena
15	Tapón de carga / descarga
16	Arandela
17	Tornillo de cabeza cilíndrica



18	Junta tórica
19	Tornillo de cabeza avellanada
20	Arandela bloqueo tubo
21	Separador soporte superior
22	Sujetacable
23	Semicasquete sujetacable
24	Anillo sujetacable
25	Anillo sujeción empaquetadura
26	Eje con rotor
27	Tuerca hexagonal
28	Prisionero
29	Sello de aceite
30	Muelle

Fuente: *Motori sommersi 4",6",8",10" y 12", Saer electropompe*

3.3.5. Consideraciones para el mantenimiento de estaciones de bombeo del AyA.

Dada la geografía costarricense, las estaciones del año presentan aspectos que se deben tener en cuenta para la programación del mantenimiento y el funcionamiento de los equipos, a continuación, varias consideraciones:

- **El periodo del año:** Costa Rica se ubica en una zona tropical, por lo que cuenta con dos estaciones marcadas, seca y lluviosa. La estación seca en el Valle Central va de diciembre a mayo y la estación lluviosa comprende desde junio hasta noviembre. En la estación lluviosa el agua abunda lo que hace que la intervención de los equipos se vuelva menos crítico y se puedan realizar paros programados. En la estación seca pasa lo contrario, el agua escasea, por lo que se requiere la operación de los equipos a tiempo completo. Así el mantenimiento invasivo queda restringido para la época lluviosa, para la estación seca se programan todas las tareas de embellecimiento y mejora de la obra gris de las estaciones, mantenimientos preventivos no invasivos o invasivos de corta duración y la atención a emergencias que surjan en su momento.
- **Tipo de estación de bombeo:** Se debe considerar el tipo de estación, ya que la atención de un pozo profundo no es igual a un booster o un bombeo.
- **Tipo de equipos en la estación:** Si se tienen equipos exteriores o sumergibles; el tipo de arranque que tiene la estación, si es autotransformador, variador o arranque directo, la utilización de un control por LOGO; es necesario saber esto; ya que los equipos presentan variadas sensibilidades y necesidades que deben ser tomadas en cuenta.
- **Presencia de equipos de respaldo en la estación:** En las estaciones de bombeo, rebombeo y booster en la mayoría se tienen equipos de respaldo instalados, esto permite que la estación no deje de funcionar mientras se hace mantenimiento a un equipo.
- **Presencia de cloración:** La presencia de un sistema de cloración en la estación, aparte de ser un riesgo para la salud y también es un factor en cuenta, ya que este sistema mantiene el balance de cloro en el agua para su respectiva potabilización, por lo que su intervención debe ser rápida y efectiva para mantener la calidad del agua.

- **Operación de la estación:** Es necesario tener en cuenta las necesidades de producción de una estación de bombeo, esto refiere de dos maneras de operación, una es el bombeo de agua a tanques de reserva, mientras el tanque esté lleno puede dar oportunidad de un tiempo prudente para la realización de tareas en los equipos, otra opción es que la estación bombee agua directamente hacia la línea de distribución, esto restringe el tiempo de intervención debido a que afecta los niveles de caudal y presión en la red de agua potable.
- **Ubicación de la estación:** A pesar de no tener relación con el funcionamiento de la estación, la ubicación es un factor de seguridad para tener en cuenta, debido a que muchas estaciones se encuentran ubicadas en lugares con dificultades socioeconómicas y peligrosos, que ponen en riesgo la seguridad del personal, por lo que se torna necesario la coordinación con la policía para acceder y realizar trabajos.

3.4. Capítulo IV. Base teórica para la implementación de un modelo de gestión para la Dirección de Bombeo GAM

3.4.1. Herramientas de diagnóstico

3.4.1.1. Auditoría MES (*Maintenance Effectiveness Survey*)

Una auditoría de mantenimiento es una herramienta empleada para determinar las áreas que necesitan una mayor atención, estas áreas representan zonas de mejora para el departamento y que intervienen para mejorar la eficiencia de los procesos de mantenimiento y fomentar un ciclo continuo de mejoramiento.

La auditoría MES fue creada por el Instituto Marshall bajo el principio de 5 pilares o áreas de estudio, para cada una de ellas se contemplan doce preguntas. Las cinco áreas de mantenimiento son:

- Recursos gerenciales
- Gerencia de la información
- Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo
- Planificación y ejecución
- Soporte, calidad y motivación

a) Recursos gerenciales

En esta área se involucran los recursos financieros de mantenimiento, así como el manejo del departamento por parte de los altos mandos de la organización, también hace referencia a la estructura dispuesta en el departamento y las políticas laborales. Su relevancia radica en que son los responsables de los presupuestos para los proyectos de mantenimientos, compras de materiales y equipos, control de activos; pero deben encargarse también de los trabajos que se van a realizar, desde planeación hasta la revisión; manejo de personal, capacitaciones, entre otros aspectos.

b) Gerencia de información

El conocimiento para la toma de decisiones es de suma importancia, esto porque generan un aumento en la probabilidad de tomar buenas decisiones, y un mejor manejo de los activos, así como la trazabilidad, el historial y funcionamiento de los equipos, registro de trabajos, entre otros. Por consiguiente, se debe tener un manejo adecuado de los datos que brindan información relevante para realizar la toma de decisiones acertadas a la proyección de la administración.

c) Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo

Esta área evalúa lo relevante con el mantenimiento preventivo y predictivo, tanto documentación como las técnicas establecidas por la organización. Se enfoca también en el personal que ejecuta del mantenimiento y la capacitación brindada para realizar los trabajos. La importancia de esta área es determinar si los niveles en las aptitudes y conocimientos del personal para la realización de tareas de mantenimiento preventivo, debido que un mayor conocimiento del personal aumentaría la probabilidad de éxito de la organización.

d) Planificación y ejecución

Su enfoque se centra en determinar el estado de la organización en la programación de las labores de mantenimiento, también de cómo son ejecutados los trabajos. La importancia de esta área establece la continuidad de la producción o del servicio, así como los costos del departamento de mantenimiento y producción dependen de una acertada planificación y ejecución, y se perciba que los departamentos involucrados trabajen en conjunto para el bien común de la organización.

e) Soporte, calidad y motivación

Los repuestos representan uno de los costos más elevados en una organización si no se saben manejar adecuadamente, también podrían generar atrasos en tiempos de respuesta de falla y su compra descontrolada aparte el costo monetario; genera pérdidas de espacio de bodega. Por otro lado, si no se certifica la calidad de los trabajos se generan otros gastos por retrabajos y repuestos. Por último, el manejo de personal resulta un factor en la calidad del servicio efectuado, un colaborador motivado en su trabajo podría hacer la diferencia en el trabajo. Por lo anterior, resulta importante determinar el rendimiento de esta área en la organización.

3.4.1.2. Método de aplicación de la auditoría MES

A cada área de evaluación, se le asigna doce preguntas para un total de sesenta preguntas, abarca los temas de manera concisa, buscando que su aplicación no sea muy extensa. El instituto Marshall propone los siguientes elementos para la maximización de esta herramienta:

- Se recomienda seleccionar de ocho a doce personas, tanto del departamento de producción como del área de mantenimiento, para la aplicación de la muestra.
- Establecer un procedimiento para la realización de la auditoría, donde se debe asegurar que la metodología empleada sea entendida por todos; se recomienda también que se responda de forma anónima; el tiempo aplicación se estima entre 20 y 30 minutos.
- Se debe sacar una tendencia general de los aplicantes, pero es necesario examinar aquellas tendencias fuera del promedio.

La auditoría es el primer paso en una organización que quiera avanzar de forma efectiva y eficiente en su gestión de mantenimiento, esto debido a que se establece el estado actual de la organización en el tema evaluado.

3.4.1.3. Evaluación de la auditoría MES

Para la evaluación de la auditoría, según Crespo y Parra, cada pregunta se le podrá otorgar un puntaje de 1 a 5, según los siguientes criterios:

- 1 = Muy deficiente o no se cuente
- 2 = Deficiente
- 3 = Regular
- 4 = Bueno
- 5 = Excelente

La auditoría puede adquirir un valor máximo de 300 puntos y un valor mínimo de 60 puntos. Según el total de la puntuación se puede determinar el estado de la gestión de mantenimiento actual; los criterios de evaluación son:

- 300 – 261: La organización tiene una gestión de mantenimiento es excelente.
- 201 – 260: La organización cuenta con buenas prácticas de mantenimiento.
- 141 – 200: La organización cuenta con una gestión aceptable de mantenimiento.
- 81 – 140: La organización no cuenta con una buena gestión de mantenimiento, hay oportunidad de mejora.
- Menos de 80: La organización tiene un nivel muy malo de gestión de mantenimiento, tiene muchas oportunidades de mejora.

3.4.1.4. Mapa de conocimiento

Auditoría de conocimiento

La auditoría de conocimiento es un análisis primordial para la creación de un mapa de conocimiento, con la finalidad de establecer los recursos con los que disponen o carecen. En la auditoría se formulan preguntas como: ¿Qué conocimientos tiene de la organización?, ¿Dónde se encuentran esos conocimientos?, entre otras preguntas, según la necesidad.

Mapa de conocimiento

Según Galvis, J (2009), los mapas de conocimiento son herramientas que facilitan la visualización del conocimiento dentro de una organización; sin embargo, esta herramienta no solo permite ver el conocimiento que se tiene, sino también el conocimiento que es necesario adquirir para mejorar la gestión de la organización. A partir de la aplicación de esta herramienta se pueden llegar a identificar la necesidad de las herramientas en el manejo de información, en la adquisición de la información requerida y en la necesidad de depurar conocimiento aplicado pero de poca funcionalidad dentro de la organización.

3.4.2. Herramientas para aspectos estratégicos y procesos clave

3.4.2.1. Estudio de criticidad

Se realizó un estudio de criticidad semicuantitativo basado en el método de matriz de criticidad por riesgos (MCR), este método fue diseñado por ENAP SIPETROL y lo expone Parra y Crespo (2012). Este método consiste en la estimación de un factor de riesgo dado por la siguiente fórmula:

$$Riesgo = FF * C$$

Donde:

FF = Frecuencia de fallos en un tiempo determinado

C = Consecuencias de los fallos (seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.)

Para el cálculo de las consecuencias de fallos, se debe seguir la siguiente fórmula:

$$C = (SHA * 0.2) + (IC * 0.2) + (IP * 0.2) + (BM * 0.2) + (CM * 0.2)$$

Donde:

SHA = Impacto de seguridad y medio ambiente

IC = Impacto en la calidad

IP = Impacto de producción

BM = Impacto por baja mantenibilidad

CM = Costos de mantenimiento

Para cuantificar las consecuencias y la frecuencia de los fallos se tienen una serie de criterio con su valor respectivo, los cuales se exponen a continuación:

Tabla 2. Tabla de los criterios del estudio de criticidad para equipos

Factores	Puntuación	Criterios	
Factor de frecuencia de fallos	1	Sumamente improbable	menos de 1 evento en 5 años
	2	Improbable	1 evento en 5 años
	3	Posible	1 evento en 3 años
	4	Probable	entre 1 y 3 eventos al año
	5	Frecuente	Más de 3 eventos por año
Impacto seguridad y ambiente	1	No existe riesgo a la salud ni de daños ambientales	
	3	Daños menores a la salud o incidentes menores al ambiente	
	5	Daños graves a la salud o incidentes mayores al ambiente	
Impacto en producción	1	Pérdidas de producción menor al 10%	
	2	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	
	3	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	
	4	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%	
	5	Pérdidas de producción superiores al 75%	
Impacto por baja mantenibilidad	1	Se cuentan con unidades de reserva, tiempos de reparación	
	3	Se cuentan con unidades de reserva que cubren parcialmente la producción	
	5	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción	
Impacto costo de mantenimiento	1	Costos de reparación con materiales y mano de obra inferiores al 10% del valor del equipo	
	2	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 10% y 24% del valor del equipo	
	3	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 25% y 49% del valor del equipo	
	4	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 50% y 74% del valor del equipo	
	5	Costos de reparación con materiales y mano de obra supera el 75% del valor del equipo	
Impacto en la calidad	1	La calidad del servicio no se ve afectado	
	3	Presenta una afectación mínima en la calidad del servicio	
	5	Presenta una afectación considerable en la calidad del servicio	

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Para la evaluación se debe crear una matriz de frecuencia versus consecuencia, la cual es de cinco por cinco, esta tendrá cuatro zonas de criticidad delimitadas, las cuales son:

B = Baja criticidad

M = Media criticidad

A = Alta criticidad

MA = Muy alta criticidad

Tabla 3. Tabla de evaluación de criticidad.

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Fuente: Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos

Los equipos situados en la esquina superior derecha resultan ser los más críticos en el sistema, y son menos críticos los equipos ubicados en la esquina inferior izquierda.

3.4.2.2. Medición en estaciones de bombeo

Una estación de bombeo es un lugar donde encontramos una sinergia entre equipos eléctricos e hidráulicos que interactúan entre sí, y que se les debe monitorear, con el fin de determinar el comportamiento del equipo en el sistema; con un análisis más exhaustivo es posible determinar el estado del equipo y proyectar una posible falla. Por eso en el monitoreo de los equipos en las organizaciones se torna de gran importancia para lograr una atención pronta y con una eficiencia mayor, debido a una programación con tiempo y anticipación de cualquier eventualidad.

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), ubicado en Jalisco, México, define medición como:

“La representación numérica en escalas estandarizadas de la magnitud de alguna variable física que puede tener valor infinito entre los límites máximo y mínimo de medición”

Se debe tener presente que los equipos son creados con determinados valores de variables a los que llamamos valores nominales de equipo, ya sea una bomba, un motor o un variador de frecuencia, estos datos son proporcionados por los proveedores; sin embargo; los fabricantes establecen intervalos de funcionamiento para las principales variables de medición con el fin de hacer equipos más flexibles.

3.4.2.3. Variables de medición en estaciones de bombeo

Como se mencionó, las estaciones de bombeo relacionan equipos hidráulicos y eléctricos; por lo que en estaciones de bombeo se encuentran variables eléctricas e hidráulicas, el SIAPA establece las siguientes variables como las más significativas en las estaciones:

- **Variables eléctricas:**
 - Voltaje (V): Es necesario la medición del voltaje de alimentación de los equipos, dado que un desbalance podría generar daños a los equipos.
 - Corriente eléctrica (A): Es necesaria la medición de la corriente demandada por los equipos, ya que esta variable está relacionada con la carga a la que se encuentra sometida la bomba y también para determinar si los equipos se encuentran sobrecargados o si se tienen daños tanto en bomba como en motor.
 - Factor de potencia: Esta variable establece la eficiencia del consumo de la energía eléctrica, en Costa Rica este factor se encuentra menor a 0.9, la institución encargada del suministro genera multas fuertes.
 - Kilowatt (kW): Establece el consumo de energía eléctrica de la instalación.
 - Frecuencia (Hz): La salida de frecuencia de los variadores, esto debido a que el voltaje de alimentación debe variar de manera proporcional a la frecuencia, con el fin de no afectar el par. Los equipos se establecen para trabajar entre cierto rango de frecuencias dado por el fabricante.

- **Variables hidráulicas:**

- Nivel (mca): Hace referencia a la altura del agua en tanques elevados y en las celdas o cisternas.
- Nivel estático (mca): Se establece en las estaciones tipo pozo, se refiere a la altura del agua en el pozo cuando el equipo se encuentra apagado.
- Nivel dinámico (mca): Se establece en las estaciones tipo pozo, booster con equipo sumergible y bombeos o rebombeos con equipos sumergibles; se trata de la altura del agua cuando el equipo de bombeo se encuentra en funcionamiento, debido al abatimiento que sufren estos debido a la succión del equipo.
- Caudal (l/s): Se debe establecer la cantidad de agua que proporciona el equipo en un determinado rango de tiempo, es de suma importancia para mantener estable la distribución de agua del sistema.
- Presión de entrada (psi): Fuerza por unidad de área que se genera a la hora de entrar al equipo de bombeo, esta variable es de importancia para estaciones tipo booster, debido a su utilización para selección de bombas.
- Presión de salida (psi): Es la fuerza que imprime el equipo de bombeo por el área que alberga al fluido, es de suma importancia para la selección de bombas en todos los tipos de estaciones.

El SIAPA establece esas variables como las más relevante y necesitarías de ser monitoreadas para controlar las condiciones del equipo.

3.4.2.4. Inspecciones técnicas

Las inspecciones son herramientas aplicadas para determinar el estado de algo o la calidad del trabajo realizado.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), establece:

“La inspección sensorial tiene por objetivo identificar, en el equipo y en las instalaciones, dificultades derivadas de algún problema de mantenimiento.”

Esta herramienta es necesaria para la detección de problemas que miembros de la organización podrían pasar por alto. Estas inspecciones pueden detectar deficiencias, tanto en la obra gris de una estación, en elementos eléctricos e hidráulicos, así como factores de limpieza, orden, peligros en factores de salud, entre otros.

Para la realización de inspecciones es necesario que el inspector conozca sobre los equipos e instalaciones por evaluar; debe ser lo más crítico y objetivo posible para detectar las principales y más críticas oportunidades de mejora. Esto conlleva a una mejora en la programación de trabajos de mantenimiento, entre otros beneficios.

En una estación de bombeo se deben observar varios sistemas o parámetros, según lo establecido en el análisis de criticidad de equipos, como:

- Panel de control
- Acometida
- Tipos de equipos
- Accesorios hidráulicos

Estas inspecciones deben realizarse enfocados en los sistemas críticos para que la estación de bombeo cumpla su función principal de distribución de agua potable. Eso no deja de lado los trabajos de obra civil como: pintura, apariencia de la estación, estructuras grises y otros trabajos que no afecten directamente en el funcionamiento de la estación.

Las inspecciones se realizarán para eliminar primeramente los peligros contra la salud de los colaboradores en contacto con esa estación; segundo se enfocarán en los trabajos necesarios para la atención de los sistemas que afecten de manera directa al equipo crítico y, por último, atenderá las necesidades de los sistemas que no afecten la salud y la operación de los equipos críticos.

3.4.3. Herramientas para la formación del conocimiento

3.4.3.1. *Análisis de mediciones en estaciones de bombeo*

Para los equipos sumergibles por su condición y por lo que fueron diseñados la medición de vibración, termografías, entre otros; se vuelve imposible de realizar. Por lo que para motores sumergibles solo se puede detectar o predecir fallas por medio de las siguientes variables:

- Voltajes
- Corrientes
- Frecuencia
- Desbalances en las corrientes y voltajes
- Factor de potencia
- Aislamiento

En el análisis de falla es clave tener un histórico del comportamiento del equipo, así como los datos de placa del motor para determinar que el equipo esté trabajando lo más cercano a los datos nominales.

En este tipo de motores, el aislamiento de los devanados es muy susceptibles a los cambios eléctricos repentinos, humedad, manipulación, entre otras cosas; esto provoca que su disminución en aislamiento de una manera marcada, esta variable es el principal factor para determinar el estado eléctrico en estos tipos de motores, esta es una prueba que se establece de manera importante en los manuales de estos equipos.

Tabla 4. Valores de aislamiento recomendados para instalación

CONDICION DEL MOTOR Y LINEAS	VALOR EN OHMS	VALOR EN MEGAOHMS
Motor nuevo (con conector).	200,000,000 (o más)	200.0 (o más)
Motor usado que puede ser reinstalado en el pozo.	10,000,000 (o más)	10.0 (o más)
MOTOR EN POZO. LAS LECTURAS SON PARA CABLE SUMERGIBLE MAS MOTOR.		
Motor nuevo.	2,000,000 (o más)	2.0 (o más)
Motor en buenas condiciones	500,000 - 2,000,000	0.50 - 2.0
Daño en el aislamiento, localizar y reparar.	Menos de 500,000	Menos de .50

Fuente: Manual AIM Motores Sumergibles 2015. Franklin electric

La figura anterior presenta los criterios utilizados para determinar el estado del motor, con lo que se podría aproximar o estimar una posible falla.

Para determinar el fallo de una bomba sumergible es una dificultad mayor, sin embargo, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) establece que, si la presión y el caudal de bombeo varían en un 10 por ciento al caudal de diseño, es necesaria la intervención correctiva del equipo. Otra variable para determinar el estado de la bomba es la corriente del motor, debido a que se relaciona con la carga que esta soporta, no es una variable confiable para la determinación del estado de la bomba, debido a que también podría indicar fallos en el propio motor.

Los equipos exteriores son elementos de mayor accesibilidad para mediciones y mantenimientos, también se encuentran en condiciones menos adversas que los equipos sumergibles. También son equipos que presentan mayor vida útil y resistencia a diversos eventos eléctricos y mecánicos.

Para estos equipos las mediciones de aislamiento, no suelen ser una variable determinante para establecer el estado del equipo, ya que el equipo al no estar sometido a condiciones extremas y contar con estructuras de mayor rigidez, provocan que su aislamiento se vuelva casi una constante con el paso del tiempo.

Para los equipos exteriores, aparte de las mediciones eléctricas citadas, por sus condiciones, es posible realizar un análisis termográfico, donde temperaturas excesivas indicarán problemas de sobrecarga, desgaste, mala lubricación, entre otros. Se recomienda hacer estas mediciones en carcasa y en los rodamientos.

3.4.3.2. Análisis del estudio de criticidad

Como se puede recordar en el capítulo 1, las estaciones son un conjunto de equipos eléctricos e hidráulicos, y existen factores que podrían hacer que las estaciones sean críticas, algunos de estos factores son los siguientes:

- La seguridad del personal que entra en contacto con la estación.
- La repercusión de la estación en la distribución del agua
- Equipos de respaldo y repuestos.
- Conocimiento de los encargados del mantenimiento
- Información técnica
- La frecuencia de fallos que se dan en la estación

Estos criterios que te podrían hacer una estación crítica, al realizar las inspecciones se deben tener presente los criterios anteriores, así como el análisis de mediciones de dichas estaciones con el fin de buscar soluciones que eviten o prevean fallas en equipos críticos o accidentes.

- **Impacto de seguridad:** Para este criterio es importante la determinación del estado del sistema eléctrico de la estación, también si es una estación donde se realiza cloración, si se tienen que efectuar trabajos de altura; sin dejar de lado la ubicación de la estación, debido a que, si encuentra en lugares de alta sensibilidad social, los operarios pueden correr riesgos y los equipos.
- **Impacto en la operación:** Este criterio, se da debido a la afectación que sufre la producción o distribución de agua, debido a una falla de la estación y el saque de operación. Por lo general, estaciones de poco caudal suelen ser estaciones con poca afectación en la distribución.

- **Impacto por equipos de respaldo:** Muchas estaciones de bombeo, cuentan con equipo de respaldo en sitio, es decir, se encuentran instalados en la misma estación dos equipos, de los cuales trabajan una a la vez; sin embargo, hay estaciones que deberían tener respaldo y no lo tienen, o que es imposible una reparación local debido a razones constructivas de la estación y sí cuentan con equipos de repuestos en bodega. Es un criterio importante para determinar el tiempo de atención y si cuenta con los recursos para solucionar los problemas de la propia estación.
- **Conocimiento técnico:** El conocimiento de los técnicos de la estación es de gran importancia para la atención de una falla, todo el personal debería tener claro el funcionamiento, los equipos y los componentes de la estación; esto con el fin de que cualquiera pueda ser capaz de atender una falla o de visualizar fallas en potencia. El tiempo de atención de fallas es susceptible a disminuir si el personal se encuentra bien capacitado.
- **Información técnica:** Las estaciones de bombeo son atendidas de primera mano por operadores, estos no son técnicos necesariamente, esto hace que cada estación tenga información técnica que permita al operador establecer o visualizar el funcionamiento de los instrumentos de control, planos del circuito de control, el significado de las alertas en el panel de control e instrucciones de control que permitan una atención fácil y rápida del sistema.

Estos criterios presentan un puntaje similar al del MCR, dado que esa metodología es la base de la herramienta utilizada para esta evaluación de las estaciones. La evaluación se realiza igual que el MCR utilizada para los equipos, haciendo uso de la tabla 2, con ella se determinan las estaciones de mayor criticidad.

3.4.3.3. *Evaluación de las Inspecciones a las estaciones de Bombeo*

Para analizar las inspecciones, es necesario disponer de un panorama amplio de la situación de la organización, esto porque en la inspección entran en juego, adquisición de repuestos y equipos, tiempos de entrega por parte de los proveedores, licitaciones, contrataciones, personal con el que se cuenta, peligrosidad de la tarea, criticidad de la estación y del equipo en fallo, entre otras consideraciones.

- **Adquisición de repuestos y equipos:** En las inspecciones aparecerán listas de trabajos pendientes, pero también aparecerán listas de repuestos y equipos, esto deberá tenerse pendiente para la realización de la tarea con el fin de evitar empezar trabajos sin contar con un repuesto o material y que el tiempo durante la reparación se prolongue.
- **Tiempos de entrega:** La entrega de equipos y repuestos provoca atrasos en la realización de las tareas.
- **Peligrosidad de la tarea:** Se debe tener presente para la planificación las medidas necesarias para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores.
- **Criticidad de la estación y sus equipos:** Para priorizar las tareas es necesario tener en cuenta el estudio de criticidad, tanto de las estaciones como de los equipos, con el fin de mejorar el estado de las estaciones de mayor criticidad.

Con el análisis de las inspecciones, será el primer paso para la programación de los trabajos, permitiendo mejorar el sistema de compras más enfocada a las necesidades reales de la dirección, se enfocaran esfuerzos en tareas realmente necesarias y apoyadas con un criterio técnico, de importancia para la justificación de recursos, se mejoran las condiciones de la estación, evitando incidentes contra la salud y la seguridad de los técnicos y operadores y por último, se mejora el estado del equipo para su operación en la estación seca y de mayor criticidad.

3.4.4. Herramientas de producción, captación y almacenaje de conocimiento

3.4.4.1. *Análisis de fallas esporádicas*

El análisis de fallas o el historial es una herramienta empleadas para documentar las experiencias con una falla, con el fin de que este sirva en eventos futuros como una guía de atención, minimizando los tiempos de atención.

El análisis de las fallas esporádicas viene a transformar el conocimiento tácito en conocimiento explícito, donde está la posibilidad de documentar la falla, tanto la descripción del suceso, la descripción de la tarea realizada para la solución de la falla, los materiales, los responsables, entre otros detalles significativos.

Este análisis debe atacar la causa raíz de la falla para disminuir la posibilidad de que se repita, para determinar a su vez la causa raíz y hacer uso del "método de los cinco porque" el cual consiste en preguntarse ¿porque sucedió tal evento?, y después cuestionarse porque cuatro veces más; con esto se obtiene la causa raíz de la falla.

ProPymes (2014) establece que un buen análisis de fallas debe generar las siguientes acciones:

- Establecer la causa raíz del evento.
- Mejorar la programación y planificación de las tareas de mantenimiento del equipo.
- Aprendizaje del personal técnico, para mejorar la atención de fallas.
- Estandarizar la solución, en caso de fallas similares con otros equipos.

Esta herramienta se podría aplicar para todas las fallas, no obstante, en toda organización existen fallas comunes o con gran repetición entre equipos este tipo de fallas pueden ser resueltas con la creación de procedimientos de atención a estas para estandarizar y disminuir cantidad de información y las fallas poco comunes o esporádicas que se dan con poca frecuencia si realizar un análisis de fallas, con el fin de precisar lo ocurrido, la solución, los materiales, entre otras cosas, con el fin de precisar una guía para una atención oportuna y eficiente.

3.4.4.2. Procedimiento para tareas correctivas o preventivas programadas

Según la RAE, procedimiento es un “*método para ejecutar algunas cosas*”; sin embargo, Sáez, C (1998) establece que “*los procedimientos son destrezas, estrategias y técnicas de aprendizaje, a través de las cuales, el alumno conseguirá, por sí mismo, adquirir nuevos conocimientos*”, si esta definición se acopla a los intereses de mantenimiento con la gestión de conocimiento, se podría decir que los procedimientos son una manera apropiada de tomar el conocimiento tácito y transformarlo en conocimiento explícito.

Los beneficios del levantamiento de procesos en la gestión del conocimiento en mantenimiento son los siguientes:

- Traspaso del conocimiento de generación a generación, con mejor fluidez.
- Disminución en tiempos de adaptación de personal nuevo a las tareas de la organización.
- Disminución en tiempos de realización de tareas, por la sistematización del proceso.
- Generación de responsables para la realización de tareas, orden y organización de las tareas.
- Según los procesos establecidos, se da la posibilidad de la estandarización del proceso y la certificación por medio de normas ISO, entre otras alternativas.

Para la elaboración de estos procedimientos la organización deberá escoger la información que sea relevante para sus intereses, los datos pueden llevar los siguientes requisitos:

- Datos básicos (nombre del procedimiento, código, responsable de aprobación, fechas, entre otros.)
- Objetivos que se desean obtener con el proceso
- El alcance
- Terminología
- Responsables
- Normativa que se aplica
- Descripción de la tarea.
- Control de registros
- Historial de cambios
- Anexos

Los procedimientos deben ser redactados de manera clara y concisa, para que cada miembro de la organización pueda entenderlo y ejecutarlo con éxito. A su vez, antes de una puesta en marcha es necesario poner a prueba el procedimiento para verificar su funcionalidad y que sea fácil de comprender por los miembros de la organización.

La aplicación de procedimientos en las tareas de mantenimiento ayuda a evitar retrabajos, pérdidas de tiempo, costos, entre otras cosas. El procedimiento es una ayuda para la realización de tareas de manera fluida, un método de entrenar a personal de nuevo ingreso y una herramienta para no perder el conocimiento tácito adquirido con la experiencia diaria.

3.4.4.3. *Mejora en criterios de compras y manejo de inventario*

Según Vilana, J.R se define “stock” como “una provisión de materiales que tiene como objeto principal facilitar la continuidad del proceso productivo y la satisfacción de los pedidos de los consumidores y clientes”. El stock es la herramienta clave para mantener continuidad en el servicio prestado.

El stock es un procedimiento cambiante pues tiene un ritmo de salida y de entrada, conlleva gran cantidad de recursos de la organización, su valor en la gestión es proporcional a un mejor control y una eficiencia en las compras.

Según Carro, R y González, D (2013) se establecen cuatro tipos de inventarios, entre ellos están:

- **Inventario del ciclo:** El inventario es directamente proporcional al tamaño del lote que se maneja. La dimensión de la compra dependerá del tiempo entre cada pedido.
- **Inventario de seguridad:** Es cuando la organización reserva una cantidad de seguridad en caso de alguna eventualidad, dado que la demanda no es constante. Es también un recurso que se utiliza durante el tiempo de entrega, debido a que en muchos casos los tiempos de entrega de los proveedores son extensos, con un inventario de este tipo se garantiza una operación continua en los servicios.
- **Inventario de previsión:** Es empleado en las empresas para prever irregularidades en las tasas de demanda. Lo que quiere decir que se tiene un periodo de mayor demanda lo que provoca que la organización acumule cierta cantidad de inventario para que en la temporada alta no tengan que adquirir gran cantidad de inventario. La suavidad en la adquisición ayuda a mantener la tasa de producción y el numero de la fuerza laboral, esto disminuye costos.
- **Inventario en tránsito:** Es cuando el flujo de materiales es muy alto, el material entra a la planta y es procesado y sale a ser distribuido. El tiempo que dura en planta el material es muy corto.

Para la creación de un modelo de gestión de stock es necesario el conocimiento de la demanda, para cada demanda se sientan las bases del modelo, Vilana, J.R (2011) establece algunas clasificaciones en las demandas y en los tiempos de revisión:

- **Demanda determinista y demanda probabilística:** Se establece una demanda determinista si se conocen los datos con precisión, al conocerse los datos el sistema es dinámico, si se desconocen los datos, se habla de una demanda probabilística.
- **Demanda constante y variable:** La demanda constante es la que se mantiene de manera regular a través del tiempo, la demanda determinista presenta, a su vez, una demanda constante. La demanda variable es totalmente aleatoria, no tiene un comportamiento predecible, por lo que no se puede decir que sean una demanda probabilística.
- **Políticas de revisión continua o periódica:** La revisión continua se establece en los sistemas que necesitan tener un nivel de stock controlado, la cantidad de pedido es constante en un periodo variable. En la revisión periódica se necesita estar pendiente del stock.

- **Modelo de gestión TOC para inventarios**

La teoría de las restricciones (TOC) fue establecida por Eli Goldratt en la década de los 80, es un modelo de mejora continua en elementos internos. Esta teoría se basa en una filosofía que dice “mediante el saber cómo pensar, nosotros podemos entender mejor el mundo a nuestro alrededor; y mediante este entendimiento podemos mejorar”, teniendo en cuenta la comprensión y el análisis todos los sistemas de la organización.

Es un método con mucha facilidad, sencillez y adaptabilidad a cualquier organización, debido a que, para la generación de este, es necesario tener conocimiento de la organización, las restricciones y beneficios que se tienen, así como el funcionamiento de la organización.

- **Proceso de mejora continua**

Según Reino, C. I. (2014) la teoría TOC desarrolla cinco pasos para la realización de la gestión de inventario:

- **Identificar las restricciones:** Identificar las deficiencias que provocan las ineficiencias en la gestión de stock.
- **Aprovechar los recursos:** Identificar las herramientas que se tienen dentro de la organización, conocerlas y explotarlas para obtener mayor cantidad de beneficios.
- **Establecer prioridades:** Establecer metas y determinar para cuáles serán las prioridades que atacar.
- **Establecer contramedidas a las restricciones:** Establecer medidas que ayuden a establecer mejoras en la gestión de inventario.
- **Mejora continua:** Volver a la búsqueda de restricciones y volver al ciclo de mejora continua.

3.4.5. Herramientas de circulación y utilización del conocimiento

3.4.5.1. *Solicitudes de trabajo*

Las solicitudes de trabajo son herramientas que se utilizan por parte de los técnicos para comunicar a la gerencia o mandos superiores sobre la necesidad de la realización de un trabajo. Estas solicitudes son de gran importancia ya que permiten coordinar las compras de materiales, servicios, entre otras cosas.

Es importante recalcar que la solicitud es el inicio de un proceso de programación de tareas, ya que se realiza el aviso a los mandos superiores de la necesidad de la tarea, los mandos superiores reciben la solicitud y se encargan de proveer los insumos necesarios para la oportuna realización del trabajo; sin embargo, con la solicitud de trabajo debe ser aprobada para que mantenimiento lleve al cabo el trabajo.

Según Villamil, J.E (2011) una solicitud de servicio o tarea debe considerar como mínimo los siguientes datos:

- Lugar donde se va a realizar la tarea
- Fecha de la solicitud
- Persona que realiza la solicitud
- Descripción del trabajo que se va a realizar
- La urgencia de la solicitud, según posibles consecuencias

Esta solicitud puede ser transmitida por varios medios, según los recursos establecidos por la institución, puede ser por la vía telefónica, escrita o con nuevas tecnologías, siempre teniendo en cuenta que se recomienda siempre tener un registro de estas.

3.4.5.2. Órdenes de trabajo

Las ordenes de trabajo (OT's) son una herramienta multipropósito en mantenimiento y se puede contemplar como uno de los documentos más importantes en la gestión de mantenimiento, entre las funciones están:

- a) Es el organizador de las tareas o acciones por realizar.
- b) Es la evidencia de los trabajos que se realizan.
- c) Ayuda a designar un responsable de la tarea, en caso de alguna eventualidad.
- d) Genera un historial de intervenciones en los equipos.
- e) Es la herramienta de programación por excelencia.
- f) Mide el intervalo de tiempo en realizar cada tarea.
- g) Es la base de otros documentos, como un control de equipos, repuestos y materiales.

También es base para la medición de la gestión de mantenimiento por medio de indicadores.

Las OT's son elaboradas por las autoridades establecidas por organización, puede ser el jefe de área o bien la dirección o gerencia. La OT's se encuentran restringidas en algunos casos como planificación establecida, lo que son paros anuales o periódicos; y también por emergencias o imprevistos, para los cuales se recurren a otros medios para su control.

Villamil, J.E (2011) establece que una OT's debe estar constituida como mínimo, con los siguientes componentes:

- Lugar donde se realizará la tarea.
- Un número de identificación de la OT
- Fecha de emisión de la OT
- Descripción de la tarea realizada
- Personas que intervinieron en la tarea
- El responsable de la tarea y la firma
- Fecha y hora de inicio de tarea y final de esta

Las OT's deben ser diseñadas desde las necesidades de la organización, de manera sencilla y de fácil entendimiento, es conveniente que su manejo sea escrito en físico o por medio de nuevas tecnologías si se tiene acceso a estas.

3.4.6. Herramientas para medición y estrategias de mejoramiento

3.4.6.1. *Cuadro de mando integral (CMI)*

El cuadro de mando integral (CMI) tiene sus inicios en 1992 en la revista Harvard Business Review, y sus autores fueron Robert Kaplan y David Norton; los cuales, lo establecieron como un sistema de administración que contempla varias perspectivas no solo la financiera. De manera implícita, el CMI establece mejoras en el funcionamiento de las organizaciones en sus áreas y datos medibles.

Para la medición en las distintas perspectivas se hace uso de los indicadores, los cuales deben de estar asociados a una perspectiva, a un objetivo, a una frecuencia de revisión y a una persona responsable de su medición. Antes de seleccionar los indicadores es necesario realizarse las siguientes preguntas, según el CEEI (2011):

- ¿El objetivo puede ser medido por un indicador?
- ¿Se puede modificar el comportamiento de los trabajadores de la dirección?
- ¿Se cuenta con la información necesaria?
- ¿Se encuentra el indicador dentro del alcance laboral del responsable?
- ¿El indicador es de fácil modificación en corto tiempo?

Las principales perspectivas que se miden son las siguientes:

- **Perspectiva financiera:** Como debería observar los accionista o gerencia a la organización para tener mejores finanzas. En esta perspectiva se verán reflejados los resultados de las acciones tomadas en las demás perspectivas.
- **Perspectiva de procesos internos:** Como deberían ser los procesos de producción para atender las necesidades de nuestros clientes de la mejor manera. En esta perspectiva se mide el funcionamiento y operatividad de la empresa, teniendo en cuenta la satisfacción del cliente y los beneficios económicos de la empresa.
- **Perspectiva cliente:** Cómo deberían ver los clientes a la organización para tener éxito con ellos. Esta perspectiva hace mención de la satisfacción de un cliente por el producto o servicio recibido, esto obliga a la organización a conocer a sus clientes, saber qué es lo que quieren y como lo quieren, para poder brindárselos y garantizar su satisfacción. Esta perspectiva es quizás la más importante ya que los clientes son la razón de ser de la empresa y por quienes sobreviven.
- **Perspectiva aprendizaje:** Como deben mejorar los conocimientos para alcanzar los objetivos. Esta perspectiva vela por el recurso capaz de aprender en la organización, el factor humano, el clima organizacional, la motivación, la capacitación y el conocimiento de los procesos y equipos; son factores que ayudan a generar mejoras en la productividad y calidad del producto y de las tareas asignadas.

3.4.6.2. *Implantación del cuadro de mando integral*

Para la implantación de un cuadro de mando integral, el CEEI (2011) establece 6 fases, las cuales son:

- **Fase 1: Planificación:** En esta primera parte se debe tener claro la situación actual de la empresa. Se debe determinar los alcances de la aplicación ya que se puede tomar como una prueba de un sector o en toda la empresa. En esta primera fase se trabaja más de cerca con la perspectiva de aprendizaje, ya que se determinan las posibles áreas de mejora de la organización.
- **Fase 2. Análisis y recopilación de información:** Es la etapa donde se realiza una recolección de los datos importantes y necesarios, provenientes de mediciones, inspecciones, ordenes de trabajo, gestión de activos, entre otros. Es importante contar con los insumos necesarios para que la aplicación del cuadro se realice de una manera más fluida y eficiente.
- **Fase 3. Definición de la estrategia:** En la fase 3 se trabaja en la definición de los objetivos por cada perspectiva. Dado el nivel de importancia y el incorporar las otras perspectivas se debe comenzar por la perspectiva financiera y a partir de esa derivar los objetivos de las demás perspectivas.
- **Fase 4. Fijación de indicadores:** Los indicadores deben medir el cumplimiento de los objetivos. Para esto es necesario determinar las variables necesarias para darles seguimiento, según su nivel de importancia para el mejor manejo y una correcta toma de decisiones.
- **Fase 5. Establecimiento de iniciativas y tareas:** Se definen las tareas que ayudarán a alcanzar los objetivos estratégicos.
- **Fase 6. Configuración del cuadro de mando integral:** Se establece el CMI de una manera que disponga de la información mínima, pero a su vez necesaria y suficiente para la toma de decisiones.

Para que esta herramienta tenga éxito en su aplicación es necesario que la dirección o los altos mandos estén convencidos de dicha herramienta y le brinden todo su apoyo; por otro lado, es necesario que los colaboradores de la empresa brinden datos de manera fiable y periódica, que le brinde estabilidad a la herramienta.

Entre las principales ventajas que se pueden obtener con la utilización de un CMI:

- Incluye información del entorno de la organización
- Resume aspectos vitales de la empresa en un cuadro sintetizado
- Puede ser utilizado como medio de predicción de situaciones futuras
- Es un elemento motivador en los colaboradores al colocarse metas a alcanzar.
- Le brinda claridad y eficacia a la gestión de mantenimiento.

4. Resultados

4.1. Modelo de gestión de mantenimiento basado en conocimiento.

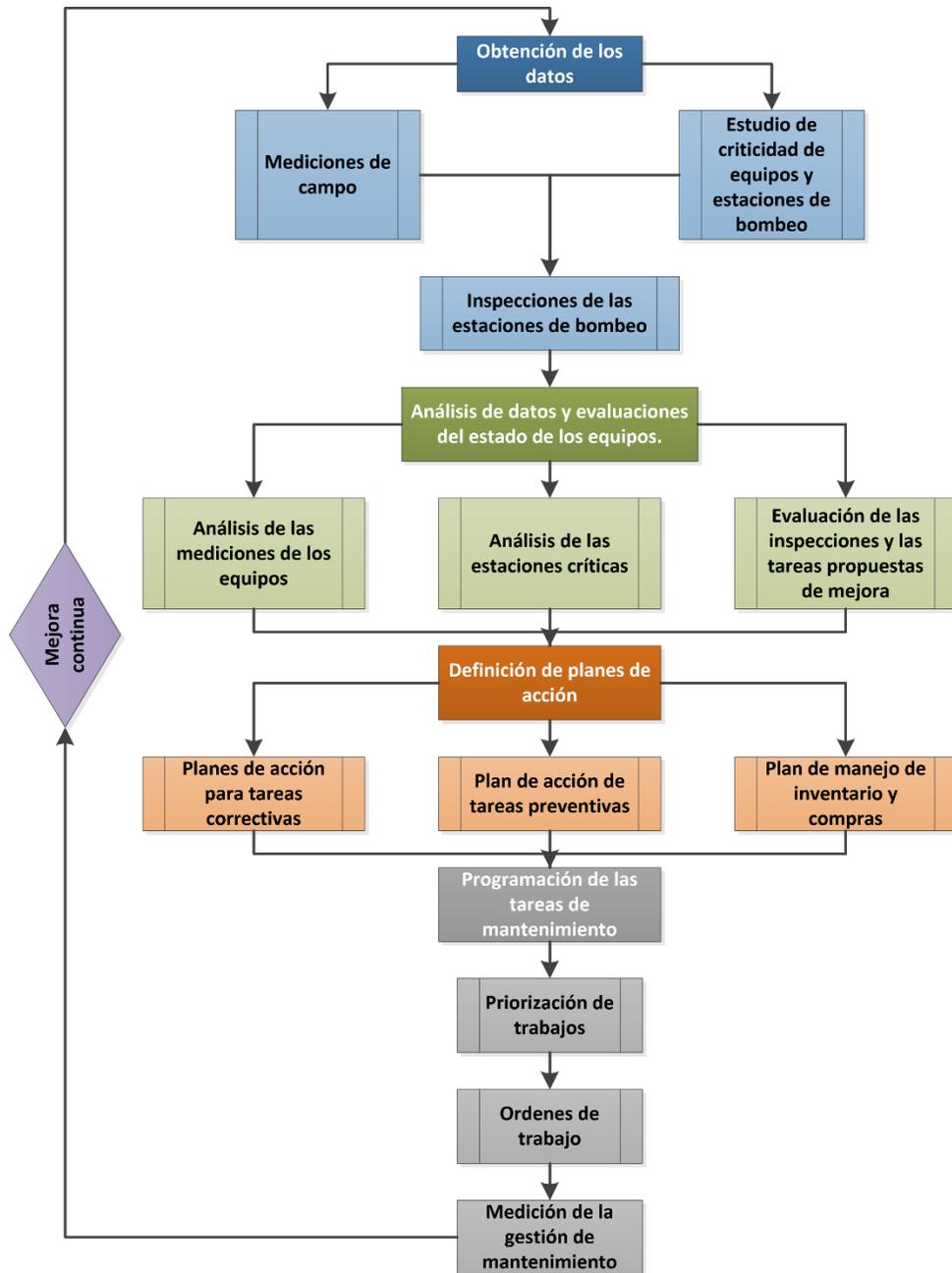


Ilustración 13. Modelo de gestión de mantenimiento basado en la gestión de conocimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

El modelo sugerido consta de cuatro fases que derivan algunas actividades estratégicas para cumplir con el objetivo de cada fase, estas fases son las siguientes:

- 1) **Fase 1. Obtención de los datos:** En esta fase se realiza la recolección y adquisición de los datos para la gestión de mantenimiento, es la base del modelo y es necesario identificar las necesidades y características de la Dirección.
- 2) **Fase 2. Análisis de los datos y evaluación de los equipos:** Se realiza el análisis de los datos obtenidos en la fase anterior, con el fin de transformarlos en conocimiento de utilidad e importancia para un óptimo funcionamiento de la Dirección y de los equipos.
- 3) **Fase 3. Definición de planes de acción:** Es donde se definen los procedimientos para la atención de fallas de emergencias, así como procedimientos de acciones correctivas y preventivas programadas; y la atención de los equipos en “stock”, que representa un recurso de suma importancia para la Dirección, ya que contiene la mayor cantidad de activos.
- 4) **Fase 4. Programación y medición de las tareas de mantenimiento:** Una vez establecido el cómo actuar, se debe definir el cuándo; por lo que es necesario determinar los insumos necesarios para realizar las acciones y establecer la programación de las tareas cuando se tengan todos los recursos para terminar el trabajo de efectiva y sin contratiempos. También esta fase se da la medición de la gestión que se ha aplicado con el fin de hacerlo un modelo de gestión de mejora continua.

El diseño está orientado para aprovechar al máximo los recursos de la Dirección, tanto recursos humanos, materiales, económicos, de conocimiento y tecnológicos. Al ser una institución pública, se torna necesario optimizar el presupuesto, por eso el modelo de gestión de mantenimiento se diseñó con un enfoque de aprovechamiento de recursos actuales sin la necesidad de invertir en nuevas herramientas. A su vez el modelo es adaptable a nuevas tecnologías que se quieran implementar, ya que su enfoque del manejo del conocimiento hace que su aplicación no se vea afectado por el medio de transmisión.

4.2. Implementación del modelo de gestión de mantenimiento basado en el conocimiento.

4.2.1. Etapa 1. Diagnóstico

4.2.1.1. Auditoría MES para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Para la realización de la Auditoría MES, en la Dirección de Bombeo de la GAM, se seleccionaron a ocho personas de la Dirección, se les entregó la auditoría (ver en anexo 1) para que la respondieran de forma anónima y se aplicó el análisis de los datos. También se aplicó la auditoría al Director de Sistemas de Bombeo, con el fin de comparar los puntos de vista de los colaboradores y del Director, esto podría evidenciar problemas de comunicación o información en la Dirección.

La aplicación a los colaboradores de la Dirección nos arroja los siguientes datos:

Tabla 5. Auditoría MES aplicada a los miembros de la dirección

Área	Recursos gerenciales	Gerencia de la información (Software de gestión del mantenimiento)	Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo	Planificación y ejecución	Soporte, calidad y motivación	Total individual
Puntuación total	49	28	41	37	35	190
	44	41	38	37	37	197
	39	25	41	34	41	180
	38	33	29	43	42	185
	47	30	26	34	39	176
	40	27	35	42	40	184
	44	21	32	32	39	168
	42	37	38	41	34	192
Desviación estándar	3,9	6,5	5,6	4,1	2,8	9,3
Puntuación total promedio	42,9	30,3	35,0	37,5	38,4	184

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Para el Director se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 6. Auditoría Mes aplicada al Director de Sistemas de Bombeo GAM

Área	Recursos gerenciales	Gerencia de la información (Software de gestión del mantenimiento)	Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo	Planificación y ejecución	Soporte, calidad y motivación	Total individual
Puntuación total	33	23	30	45	47	178

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

A partir de estos datos, se puede determinar el estado general de la gestión de mantenimiento, según los criterios establecidos anteriormente los valores de dos auditorías realizadas, se determina que la gestión de mantenimiento realizada por la Dirección es aceptable; sin embargo, presenta posibilidades de mejora importantes en algunas áreas.

4.2.1.2. Análisis de la auditoría MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo

Después de saber la condición de la gestión realizada, es recomendable hacer un análisis de las áreas evaluadas, con el fin de identificar posibles mejoras con mayor facilidad, esto ayuda a enfocarse en la mejora de las áreas más críticas y por ende mejorando la gestión de mantenimiento, una vez ya niveladas las áreas se puede ir mejorando de manera conjunta.

Para la auditoría de los colaboradores de la Dirección de Sistemas de Bombeo, se grafican los datos y se obtiene el siguiente gráfico radar:



Ilustración 14. Gráfica de la auditoría MES realizada a los miembros de la dirección.
Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Esta gráfica muestra como el área de la gerencia de información y equipos y técnicas de mantenimiento preventivo presentan valores más bajos que las otras áreas; las otras tres áreas andan en valores más altos y muy similares entre ellas. Esto quiere decir, es que hay problemas en la gestión de los datos y en la capacitación de personal para la aplicación de técnicas y equipos de mantenimiento preventivo.



Ilustración 15. Gráfica de la auditoría MES aplicada al Director de Sistemas de Bombeo GAM
Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

En la auditoría realizada por el director de Sistemas de Bombeo, se observa como las áreas de gestión de información y equipos, así como las técnicas de mantenimiento preventivo coinciden en valores bajos con la gráfica anterior, sin embargo, también el área de recursos gerenciales presenta resultados bajos. Con esto lo que procedería es adentrarse en cada área para determinar los temas en los que hay una mayor oportunidad de mejora y un plan de acción a seguir para el mejoramiento del área y de la organización.

4.2.1.3. Análisis específico en áreas de baja calificación

Recursos gerenciales

Entre los temas que se encuentran deficientes o no se tienen en el área son los siguientes:

- La organización ayuda en la eliminación de barreras que encuentran los operadores de mantenimiento para realizar su trabajo y que están fuera de su control.
- Equipos de trabajo entre producción y mantenimiento para la resolución de problemas que afectan ambos procesos.
- No hay un estímulo por parte de la dirección para el trabajo conjunto entre personal de mantenimiento y operadores para mantener la disponibilidad de sus procesos.
- Los trabajadores no reciben un adiestramiento adecuado y formal en su área de trabajo.
- No se involucra al personal de mantenimiento para la creación de objetivos y metas a cumplir
- No se le da seguimiento a los objetivos y metas de mantenimiento.

Gerencia de la información

Entre los temas que se encuentran deficientes o no se tienen en el área son los siguientes:

- La organización no cuenta con un software especializado para el mantenimiento de equipos.
- La organización no dispone de órdenes de trabajo para el control de trabajos.
- El seguimiento de equipos, mediciones, inventarios y otros se llevan por medio de hojas de Excel muchas veces repetidos, lo que podría generar algún desorden.
- No se generan informes o reportes por lo que no se pueden utilizar para la toma de decisiones.
- Los costos específicos de mantenimiento no se llevan debido a falta de documentación de control de trabajos.

Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo

Entre los temas que se encuentran deficientes o no se tienen en el área son los siguientes:

- No se utilizan ordenes de trabajo para mantenimiento preventivo.
- Se presentan deficiencias en revisiones de planes de mantenimiento preventivo, para determinar el adiestramiento del personal.
- No se cuenta con personal dedicado específicamente a tareas de mantenimiento preventivo.
- No se llevan los costos de mantenimiento preventivo y predictivo.
- No se toma en cuenta al personal de mantenimiento para la evaluación de equipos nuevos.
- No se llevan los costos de operación y mantenimiento de los equipos durante su ciclo de vida.

4.2.1.4. Conclusiones de los análisis de la Auditoría MES

De acuerdo con los análisis anteriores es posible visualizar de manera clara los puntos necesarios en los que se tiene que intervenir para lograr mejoras sustanciales en la labor de la Dirección de Bombeo GAM:

- Existe una buena comunicación entre el personal de la dirección y el director en los temas analizados en la auditoría, dado que los resultados obtenidos no varían uno de otro, esto comprueba también la veracidad de los datos.
- Es necesario el diseño y la implementación de una orden de trabajo, esto con el fin de los seguimientos de trabajo, cálculo de gastos, seguimiento de equipos, indicadores, entre otros.
- Es necesario el planteamiento de objetivos y metas de mantenimiento en consenso entre Dirección y mantenimiento, esto ayuda a establecer el camino necesario para poder alcanzar esos objetivos.
- Si bien es cierto, el manejo de datos se da vía Excel, se maneja una gran cantidad de equipos y datos lo cual dificulta un manejo de datos fluidos, como manejo de líneas de tendencia del comportamiento de equipos y su predicción a falla, la trazabilidad de equipos se hace más lenta, se incurre a errores por la cantidad de archivos que se deben consultar antes de una decisión, entre otras cosas; por lo que sería de gran ayuda la realización de una gestión de conocimientos para ordenar y seleccionar los datos realmente útiles para la toma de decisiones por parte de la dirección.

Para medir el desempeño de la dirección, se deben generar indicadores que le muestre a la dirección las carencias y las oportunidades de mejora que se pueden dar para mejorar la gestión actual.

4.2.1.5. Medidas estratégicas para de mejora para la auditoría MES de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Dados los resultados obtenidos en la aplicación de la auditoría MES, es necesario determinar medidas correctivas que ayuden al departamento en su mejora de gestión, el cual impulse un crecimiento organizacional que produzca mejoras en la realización del mantenimiento.

Analizando la organización y la auditoria; se proponen las siguientes medidas:

- Establecer un objetivo claro y metas de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM conforme al tema de mantenimiento que sirva de guía para los miembros involucrados.
- Analizar las herramientas de manejo de datos y buscar una manera más versátil y depurada de gestionar toda la información necesaria.
- Realizar un análisis de criticidad que ayude a medir los equipos que necesiten atención con mayor urgencia, para poder facilitar las programaciones de trabajos.
- Proponer un plan de gestión de stock que ayude a la dirección a una compra más eficiente y enfocada a los activos que se manejan.
- Establecer una estructura para solicitudes y ordenes de trabajo, con el fin de medir la realización de trabajos, cantidad y calidad del personal, etc.

Analizar de las ordenes de trabajo que generen indicadores de la gestión de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM.

4.2.1.6. Mapa de conocimiento de la Dirección de Bombeo GAM

Es importante para el modelo determinar cuál es el estado del conocimiento de la dirección, que es lo que ellos tienen claro que, si saben, que es lo que no saben, pero tienen claro su déficit, lo que no saben que tienen y, por último, lo que en su totalidad no sabe y no lo conocen.

Este mapa de conocimiento permite determinar las áreas de conocimiento en las que se debe trabajar, lo ideal es que la organización tenga completo dominio de sus conocimientos y haga uso de ellos de la mejor manera, es preciso que se trabaje en la depuración del conocimiento e información en el departamento, esto ya el conocimiento que no brinda beneficios a la gestión provocar una saturación que le resta efectividad a la dirección para tomar decisiones, ya que se dan pérdidas de tiempo en revisión y manejo de dichos conocimientos.

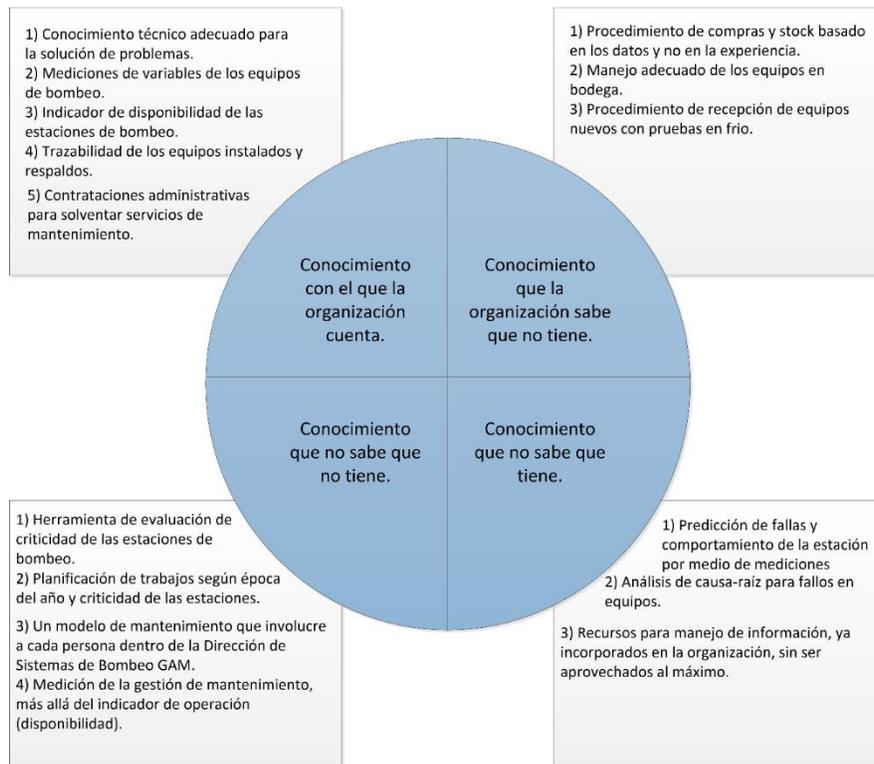


Ilustración 16. Estudio del conocimiento
Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

La dirección cuenta con la ventaja para la gestión del conocimiento, de que cuenta con los medios de adquisición de datos, recurso humano con mucho conocimiento tácito y con mucha y con facilidades tecnológicas para la transmisión de dicho conocimiento, estas ventajas hacen que la implantación del modelo se dé con más facilidad y con sostenibilidad en el tiempo.

4.2.2. Etapa 2. Definición de objetivos y concientización

4.2.2.1. Misión y visión de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Tabla 7. Misión y visión de la Dirección de Bombeo GAM

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)	
Misión	Visión
Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.	Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población del país.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

La misión y visión de la dirección es la misma que la institución, esto debido a que la dirección no puede ni debe alejarse ni diferenciarse de la misión y visión de la institución.

4.2.2.2. Definición de objetivos de modelo de gestión de mantenimiento

La definición de objetivos es de suma importancia en un proyecto de implantación de un modelo de gestión, ya que identifica el punto al que queremos llegar, posteriormente se construye el camino necesario para llegar a la meta planteada.

Para este proyecto se decidió que los objetivos del proyecto sean planteados de acuerdo a las cuatro perspectivas establecidas en la teoría del cuadro de mando integral, con el fin de enfocar el alcance a datos medibles, los objetivos propuestos en conjunto con el director de Sistemas de Bombeo, estos se adaptan a las necesidades de la dirección, se ha decidido en conjunto un periodo de cumplimiento de 1 año, posteriormente deberán reevaluar y actualizar según la situación de la dirección en ese momento.

Tabla 8. Objetivos funcionales del modelo de gestión para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Planteamiento de objetivos con el proyecto de gestión de mantenimiento basado en la gestión del conocimiento		
	Objetivo 1	Objetivo 2
Perspectiva financiera	Reducir en un 10% el número de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM en un periodo de un año.	Optimizar las compras de equipos de respaldo o stock, generando una disminución de un 5% del stock de equipos.
Perspectiva cliente	Aumentar la disponibilidad total anual en un 5% en las estaciones de bombeo.	Establecer un estándar de información mínima en las estaciones de bombeo con la consigna de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores y disminuir tiempos de atención a pequeñas fallas por parte de los operadores.
Perspectiva de procesos internos	Reducir en un 5% los tiempos de atención y solución de averías en equipos.	Reducir los retrabajos en un 5% mediante la mejora de la planificación de trabajos con ordenes de trabajo.
Perspectiva de innovación y aprendizaje	Aumentar el conocimiento de los técnicos y operadores por medio de capacitaciones de las estaciones de bombeo, sus estructuras y funcionamiento.	Aumentar la motivación de los colaboradores mediante el aumento en la participación de la gestión del mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

En la perspectiva cliente se colocó un objetivo que en apariencia se podría confundir con la perspectiva aprendizaje, sin embargo, nuestro principal cliente es el departamento de control, son los encargados del manejo de los equipos según la necesidad del sistema de distribución de agua. La principal finalidad de la estandarización y actualización de la información en las estaciones de bombeo es salvaguardar la integridad de los operadores, pero también es la reducción de fallas menores, fácilmente detectadas con planos de control, eléctricos e hidráulicos de la estación, ayudando esto a aumentar la disponibilidad de las estaciones.

2.1.1.1. Estudio de recursos de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Es importante establecer los recursos básicos con los que cuenta la dirección para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento, esto determina las necesidades o la viabilidad del proyecto.

Tabla 9. Estudio de recursos de la Dirección

Estudio de recursos para la implementación del proyecto		
Recursos humanos	Recursos materiales	Recursos económicos
<p>1) La Dirección de Sistemas de Bombeo GAM cuenta con 62 empleados entre administrativos, ingenieros, técnicos y operarios.</p> <p>2) La Dirección cuenta con los diferentes perfiles en sus técnicos: - Técnicos eléctricos. - Técnicos electromecánicos</p> <p>3) Los operadores son los encargados de la manipulación de los equipos según las necesidades del sistema, estos son los primeros en atender las fallas.</p>	<p>1) La institución cuenta con bodegas de materiales varios, para solventar las fallas.</p> <p>2) Diferentes medios de compra para adquirir materiales de emergencia o que no se encuentren en bodega.</p> <p>3) La Dirección cuenta con un pequeño taller de montaje de bombas y mantenimiento básico de las mismas.</p> <p>4) Se establecen licitaciones y contrataciones para la adquisición de servicios específicos, equipos y repuestos.</p> <p>5) Cuenta con los programas informáticos office, correo empresarial y otras herramientas tecnológicas.</p>	<p>1) La Dirección cuenta con un presupuesto cada 1 año, este presupuesto no incluye el pago de personal y compra de vehículos, debido a que esto lo realizan otras instancias.</p> <p>2) Diferentes tipos de compras de emergencia: -Cajas chicas -Contratación directa -Compras a crédito</p> <p>3) La Dirección cuenta con la posibilidad de presupuestos extraordinarios en caso de emergencias.</p>

Fuente de elaboración propia, Microsoft Visio

El recurso humano abarca la función, el perfil y los conocimientos de los colaboradores, es un recurso de mucha importancia, ya que mediante la función y los conocimientos es capaz de realizar las tareas técnicas necesarias para la solución a problemas.

El recurso de materiales, repuestos y equipos son elementos necesarios para la realización de una tarea, un colaborador por más conocimiento si no cuenta con los materiales necesarios no podrá solventar el problema que se presenta.

El recurso económico, establece las facilidades que tiene la dirección de adquisición de materiales, equipos y todo lo que sea necesario para brindar un servicio continuo y eficiente.

Como se puede observar la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM cuenta con los recursos necesarios para que se desarrolle un modelo de gestión, sin embargo, el modelo de gestión propuesto se diseñó pensando en la utilización de los elementos existentes sin necesidad de gastar en elementos externos.

4.2.3. Etapa 3. Aspectos estratégicos y procesos clave

4.2.3.1. Mediciones

Las mediciones resultan uno de los elementos de la base para el modelo propuesto debido a que es una herramienta que, si se utiliza de buena manera, se puede utilizar para el pronóstico del equipo instalado y proyectar medidas correctivas en caso de ser necesario.

Para la realización de las mediciones de los equipos se cuentan con técnicos en mediciones y con un procedimiento de mediciones pensado para brindarle la seguridad y guía necesaria a quienes realicen las mediciones, este procedimiento fue establecido por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM y validado por el director, este procedimiento se encuentra en el anexo 2, junto con la hoja de mediciones que se utiliza en la actualidad.

En estas mediciones brindan una serie de variables que se colocan segregadas según el área las que pertenecen las estaciones, algunas de las variables medidas son las siguientes:

- **Variables Eléctricas:**

- Horas de funcionamiento: En las estaciones de bombeo se cuenta con horómetros, el cual se encarga de medir la cantidad de horas que los equipos de bombeo han estado en funcionamiento.
- Voltajes: Se mide el voltaje de alimentación entre líneas, su valor depende del valor con el que trabaje el equipo.
- Porcentaje de desbalance de voltaje: El desbalance del voltaje trae problemas al motor ya que disminuirá su capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, disminuyendo así la eficiencia del equipo. Para calcular este desbalance la Dirección utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{prom} = \frac{V_{AB} + V_{BC} + V_{AC}}{3} ; \%V = \max\left(\frac{V_{AB} - V_{Prom}}{V_{Prom}}; \frac{V_{BC} - V_{Prom}}{V_{Prom}}; \frac{V_{AC} - V_{Prom}}{V_{Prom}}\right) * 100$$

Donde:

$V_{AB} = V_{BC} = V_{AC} =$ Voltajes de fase de alimentación.

$V_{prom} =$ El voltaje promedio de los voltajes de fase

Este valor según la norma NEMA MG1-12.68 se permite un porcentaje de un 10% de desviación y la norma IEC permite únicamente un 5%.

- Corrientes: Se miden las corrientes que alimentan al motor, debido a que la corriente es dependiente de la carga del motor es posible determinar sobrecarga en el motor o problemas de la bomba o motor, como que la bomba o motor se trabe, entre otros.
- Porcentaje de desbalance de corriente: Las corrientes de las líneas entre si deberían ser iguales de manera ideal, sin embargo, esto no sucede y por eso se mide el desbalance ya que, si la diferencia es mucha, podría ser indicador de problemas en el bobinado del motor. Se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo:

$$I_{prom} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}$$
$$\%I = \max\left(\frac{I_A - I_{prom}}{I_{prom}}; \frac{I_B - I_{prom}}{I_{prom}}; \frac{I_C - I_{prom}}{I_{prom}}\right) * 100$$

Donde:

$I_{AB} = I_{BC} = I_{AC}$ = Corrientes en las líneas del motor.

I_{prom} = La corriente promedio de las corrientes de línea.

Para esta variable es permitido como máximo un 10% de desbalance de corriente.

- Potencias: Es importante para determinar el consumo de los equipos en la estación.
- Factor de potencia: Con esta variable se puede identificar la eficiencia de los equipos en el consumo de energía eléctrica.
- Frecuencia: Con la utilización de variadores de frecuencia se vuelve un parámetro muy importante para regular el caudal sin necesidad de la utilización de válvulas que provoca un aumento en la carga del motor. La frecuencia mínima para motores sumergibles según el manual de Franklin Electric es de 30 Hz y para motores externos es de un 40 Hz; por supuesto que conforme se baja la frecuencia se debe bajar el voltaje proporcionalmente.

- Velocidad angular: Es una variable que afecta directamente la potencia de salida del fluido y, por ende, la carga que puede vencer el fluido, según la siguiente ecuación de Euler:

$$H = \frac{w^2 * r^2 * c}{g}$$

Donde:

H = Carga dinámica que puede vencer la bomba.

w = Velocidad angular.

r = Radio del impulsor.

g = Fuerza de gravedad

c = Es una variable constructiva de la bomba, depende de la forma, ángulo y posición de las aspas.

Por lo que sí, se cambia la velocidad es posible la regulación del caudal que la bomba supe.

- Aislamiento de devanado: Es la variable más representativa para los motores sumergibles debido a que este se degrada con mayor facilidad y rapidez en este tipo de motores y el cual representa una causa muy común en la falla de motores, en los motores externos no representa una variable tan significativa debido a que se mantiene muy estable con el paso del tiempo, si se le otorgan buenas condiciones de funcionamiento.
- Temperatura: Se mide la temperatura en las conexiones tanto del panel con el motor como en las conexiones de la acometida con el panel. Y se reporta el punto de mayor temperatura, con el fin de identificar fallas en las conexiones, sobrecargas o dispositivos dañados que estén generando elevaciones de temperatura fuera de lo normal.

- Medición de armónicos (%THD- V y %THD-I): Este valor se define como la relación eficaz entre el total de las armónicas del sistema con respecto al valor eficaz de la componente fundamental. Este puede ser medido para la tensión como para la corriente. Los armónicos en corriente pueden tener valores pequeños hasta el 100% como ocurre en fuentes de potencia conmutadas. En armónicos en voltaje estos valores pueden variar significativamente.

- **Variables hidráulicas**

- Nivel estático: Esta variable mide la altura del agua en pozos o en tanques de rebombes, cuando los equipos de bombeo se encuentran apagados.
- Nivel dinámico: Esta variable mide la altura del agua en pozos o en tanques de rebombes, cuando los equipos de bombeo están funcionando debido a que el nivel de agua sufre una disminución considerable, este es el nivel que se toma en cuenta para la selección del equipo de bombeo.
- Colocación: Es la altura a la que se encuentra la succión de la bomba, ya sea en pozos, en booster o en bombeos en los que se utilicen equipos sumergibles.
- Presión de entrada: Es una variable muy importante en caso de las estaciones tipo booster, esta variable es utilizada en estas estaciones para el cálculo de Carga Dinámica Total (CDT) que debe suplir la bomba.
- Presión de salida: Esta variable se relaciona con la potencia que le imprime el equipo de bombeo al fluido que se está trasladando, esta es muy utilizada en el cálculo del CDT para estaciones de bombeo en general, también es una herramienta para detectar fallas en el equipo de bombeo.
- Caudal: Es la cantidad de fluido que es impulsado por la bomba en un determinado tiempo.

La Dirección de Sistemas de Bombeo GAM tiene establecido una cuadrilla de mediciones, las cuales establecen sus rutas de medición y una base de datos con todas las mediciones mencionadas anteriormente, sin embargo, la ruta no estaba siendo enfocadas a las estaciones con mayor criticidad, por lo que se establece que las rutas de mediciones empiecen con las estaciones más críticas de cada área, esto nos llevara a verificar las mediciones de estas estaciones con mayor prontitud.

4.2.3.2. Criticidad para los equipos.

Para identificar los equipos que requieren mayor atención debido a su criticidad en la Dirección de Sistemas de Bombeo, con esto se puede posteriormente priorizar las tareas de mantenimiento según el equipo que se encuentre en la estación de bombeo.

El estudio de criticidad por medio del modelo MCR, arrojó los siguientes resultados:

Tabla 10. Evaluación de criticidad de los equipos de la Dirección

Criterios	Panel de control	Accesorios hidráulicos	Instrumentación (Control y Medición)	Bombas sumergibles	Bombas exteriores	Motores sumergibles	Motores exteriores
Frecuencia de fallos	5	3	2	3	3	5	3
Impacto en la seguridad y ambiente	5	3	1	1	3	1	5
Impacto en la calidad	5	1	1	5	3	5	3
Impacto en la producción	5	1	1	5	4	5	3
Impacto por baja mantenibilidad	3	1	1	3	3	1	1
Impacto en el Costo de mantenimiento	3	1	1	4	2	5	4
Total en las consecuencias de fallos	4,2	1,4	1	3,6	3	3,4	3,2
Total	21	4,2	2	10,8	9	17	9,6

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Según la tabla de evaluación del método MCR, la criticidad de los equipos es la siguiente:

Tabla 11. Evaluación de la criticidad de los equipos.

Panel de control	21
Motores sumergibles	17
Bombas sumergibles	10,8
Motores exteriores	9,6
Bombas exteriores	9
Accesorios hidráulicos	4,2
Instrumentación	2

	Muy alta criticidad
	Alta criticidad
	Media criticidad

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

En la tabla anterior, se puede observar como los paneles de control, los motores sumergibles y las bombas sumergibles presentan una alta criticidad en la institución, tanto por sus frecuencias de fallos como también en las consecuencias que provocan estos fallos en las diferentes áreas. También es importante rescatar que los equipos sumergibles de bombeo son equipos especiales y muy delicados en su manipulación, y su reparación es de mucha dificultad y especialización. Por lo que es inevitable que se le preste mayor atención y recursos al mantenimiento de estos equipos con el fin de reducir los fallos en estos equipos o minimizar el impacto de estos.

Los motores exteriores, las bombas exteriores y los accesorios hidráulicos, son equipos que no presentan tan alta criticidad debido que su frecuencia de fallo no es tan alta y sus consecuencias no son perjudiciales. También cabe resaltar que estos equipos no son equipos muy comunes en el mercado, tanto un motor externo como una bomba externa, son de una reparación sencilla y se cuentan con empresas destinados y especializados en la reparación de estos. Al ser equipos que se encuentran con facilidad en el mercado los tiempos de entrega por parte de proveedores es muy corta, esto resulta importante para la atención de emergencias y el mantenimiento de un sistema de stock mínimo.

En el caso de la instrumentación, tiene una criticidad media debido a que su afección en el servicio no se ve perjudicada, la frecuencia en los fallos de estos es muy baja y las consecuencias en la operación del sistema son nulas. Son instrumentos de fácil adquisición y de rápida entrega por lo que el Stock que se debe manejar de estos instrumentos es muy bajo.

Esta primera herramienta para catalogar los equipos será una justificación del porque enfatizar este proyecto en los equipos sumergibles, paneles de control y en equipos externos de bombeo que representan lo más crítico para la Dirección de Sistemas de Bombeo.

4.2.3.3. Estudio de criticidad de las estaciones de bombeo

Según la cantidad de estaciones que se tengan, es importante determinar un método que le proporcione a la organización la información de cuales de estas resultan ser estaciones con una necesidad mayor de funcionamiento y de mayores consecuencias en caso de fallo que el resto de las estaciones; esto con el fin de concentrar en dichas estaciones mayor atención y trabajos de mejoras para disminuir las probabilidades de falla de dichas estaciones, sin dejar de lado las otras estaciones que resulten menos críticas.

La evaluación de la criticidad de las estaciones de bombeo se realizó basándose en la teoría anterior del método MCR tal como se explicó en el apartado anterior, sin embargo, las organizaciones al ser distintas, es importante adaptar los criterios a evaluar para determinar el nivel de criticidad que se tenga.

Al basar su análisis de criticidad en una metodología ya establecida y validada, hace que la adaptación a las necesidades de la organización se vuelva valida, ya que se mantiene su sistema de evaluación y la única modificación se da en los criterios de las consecuencias.

Tabla 12. Criterios de evaluación para las estaciones de bombeo

Factor de frecuencia de fallos	1	Sumamente improbable	ningún evento en 5 años
	2	Improbable	1 evento en 5 años
	3	Posible	1 evento en 3 años
	4	Probable	entre 1 y 3 eventos al año
	5	Frecuente	Mas de 3 eventos por año
Impacto en seguridad ocupacional	1	Riesgo bajo de accidentes por factores eléctricos, de altura, mecánicos y vandalismo.	
	3	Riesgo medio de accidentes por factores eléctricos, de altura, mecánicos y vandalismo.	
	5	Riesgo alto de accidentes por factores eléctricos, de altura, mecánicos y vandalismo.	
Impacto en operación	1	Permisibilidad de afectación de 1 hasta 4 semanas	
	2	Permisibilidad de afectación de 1 semana	
	3	Permisibilidad de afectación de 1 a 3 días	
	4	Permisibilidad de afectación de 1 hora a 4 horas	
	5	Permisibilidad de afectación de 1 hora o menos	
Impacto por respaldo de equipos disponibles por estación (Se debe analizar principalmente los equipos críticos considerando los motores, bombas, paneles y los transformadores en caso de ser de AYA)	1	Se cuentan con unidades de reserva en sitio, en bodega y además posee opciones de reparación local	
	2	Se cuentan con unidades de reserva en sitio, en bodega y no posee opciones de reparación local	
	3	Cuenta con unidades de reserva en sitio pero no hay en bodega	
	4	No cuentan con unidades de reserva en sitio, pero hay en bodega	
	5	No cuenta con unidades de reserva en sitio ni en bodega	
Conocimiento técnico y uso de herramientas para atender afectaciones en la estación de bombeo	1	Todo el personal técnico posee conocimientos para atender cualquier falla en la estación	
	3	Aproximadamente la mitad del personal técnico posee conocimientos básicos para atender cualquier falla en la estación	
	5	Solo 1 o 2 técnicos de la Dirección posee conocimientos para atender cualquier falla en la estación	
Información técnica estandarizada	1	Existen información técnica en sitio de manera estandarizada, actualizada y validada.	
	3	Existe información técnica en sitio, pero no está actualizada, ni estandarizada ni validada.	
	5	No existe información técnica en sitio.	

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

La tabla 12 fue realizada en conjunto con el director de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM y los ingenieros encargados de las cuatro áreas de la Dirección, con el fin de contemplar el punto de vista técnico y administrativo que engloba el mantenimiento de una estación de bombeo e identificar las estaciones que necesitan ser intervenidas con mayor prontitud.

Para la evaluación de este método de criticidad, se realizará el mismo que utiliza el MCR, que se explicó en el inciso anterior en la tabla 3, esto haría que el método que se adaptó a estaciones este validado por el método original de MCR.

4.2.3.4. Inspecciones técnicas

Tabla 13. Inspección propuesta de estaciones de bombeo

Estación:			Fecha:			No°					
Formulario de inspección de Estaciones de Bombeo GAM											
Seguridad ocupacional			Impacto de operación			Respaldo de equipos			Información técnica		
Estado de la acometida	Bueno	Malo	Identifique los repuestos críticos, por ejemplo Fusibles, Relés, contactores, interruptores, elementos de control y potencia, variador de frecuencia, entre otros; con su respectivo modelo y marca; anótelos al reverso de la hoja.	¿Es posible agregar un equipo de respaldo (Motor, Bomba y Panel)?	Si	No	Se tiene rotulación de repuestos críticos en la estación.	Si	No		
¿Tiene puesta a tierra?	Si	No		Conocimiento técnico			Se tienen las fichas de los equipos en la estación con la información básica de los mismos, actualizados	Si	No		
Estado de la puesta a tierra	Bueno	Malo		Identifique la necesidad de trabajos en metal-mecánica, por ejemplo: Ejes, empaquetaduras o sellos mecánicos, acoples, sistemas de izaje menores, entre otros.	El personal técnico y operativo cuenta con el conocimiento general de la estación (De donde viene el agua, a donde se bombea, compañía de suministro eléctrico, etc.)	Si	No	Los paneles presentan la rotulación para la identificación de averías principales (Luces piloto y rotulación en selectores)	Si	No	
¿Hay cloración?	Si	No						La cloración genera peligros para operadores y técnicos	Si	No	Los centros de carga presentan la rotulación adecuada para la identificación de los elementos principales
¿Es necesario puntos de anclaje para trabajos en altura?	Si	No	Identifique el estado y la ubicación de los interruptores o sensores de presión (Se deben Calibrar).	Identificación de válvulas y manipulación en caso de emergencias	Si	No	La estación cuenta con los planos eléctricos unifilares y actualizados	Si	No		
¿Es necesario puntos de anclaje para carruchas o maquinaria pesada?	Si	No	Identifique el estado y la ubicación de los interruptores o sensores de presión. Anote la presión de disparo de alta, de baja y la presión máxima de operación.	Identificar elementos de desconexión y fallas generales.	Si	No					
La estación presenta tubería cerca de los paneles.	Si	No	Presión de alta: Presión de baja: Presión máxima de operación:	Conocen los elementos y equipos de seguridad necesarios para el ingreso a una estación de bombeo	Si	No	La estación cuenta con los planos de los tableros de control y los mismos se encuentran actualizados.	Si	No		
Existe ductos de cables de potencia con mas de un 80% del espacio disponible del ducto	Si	No									
El envolvente del panel y ductos es seguro (Cerraduras, empaques, ingreso de fauna, tapas en genera, cables expuestos, etc)	Si	No	Realice un diagrama de distribución de los equipos en la estación de bombeo	Conoce diferentes equipos de control de la estación, ya sea variador, autotransformador, LOGO, entre otros; y la información básica para atención de fallas y emergencias.	Si	No	Los equipos se encuentran debidamente rotulados con la numeración correspondiente para su identificación.	Si	No		
La alimentación eléctrica entre paneles y motores subterránea se puede convertir a aérea	Si	No	Realice un diagrama de distribución de los equipos en la estación de bombeo								
¿La instalación eléctrica e iluminación de la estación se encuentra en buen estado y es segura?	Si	No									
Se tiene iluminación de emergencia en buen estado	Si	No									
¿Se cuenta con extintores?	Si	No	Indique el voltaje del circuito de control y potencia	Si	No	Si	No				
Indique el voltaje del circuito de control y potencia	Control	Potencia									
Elaboró:			Jefe de área:			Firma:					

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Las inspecciones son de suma importancia para la visualización de mejoras en las estaciones de bombeo, sin embargo, es preciso que estas inspecciones estén guiadas o enfocadas en los equipos o sistemas críticos para que los trabajos que salgan de las inspecciones sea trabajos críticos que afectaran el buen funcionamiento de los equipos. Los trabajos de embellecimiento de la estación resultan importantes sin embargo no son vitales para la operación, este tipo de tareas se puede programar para la época de verano, donde no se recomienda la intervención de los equipos y en invierno intervenir los equipos y realizar las tareas críticas, debido a que se tiene más holgura en el tiempo de intervención de los equipos.

Se realizó el documento de inspecciones en conjunto del director de Sistemas de Bombeo, con el fin de realizar las inspecciones enfocando los esfuerzos a lo más crítico en las estaciones. Por lo que la inspección está basada en los criterios evaluados en el estudio de criticidad de las estaciones.

Esta forma de realizar las inspecciones de manera guiada hacia lo más crítico ayuda a disminuir la programación de trabajos de un nivel de baja criticidad como lo son: pintura de la estación y otros arreglos menores; provocando el aumento de la efectividad del personal para las tareas de mantenimiento.

Por otro lado, los beneficios que se esperan de las inspecciones son:

- El resguardo físico de todos los colaboradores por la mejora de las instalaciones eléctricas de las estaciones.
- Disminución de los tiempos de atención a fallas, por la identificación de repuestos críticos, que se deben tener en stock.
- Generar conocimiento en los colaboradores de los equipos en bodega.
- Identificar la necesidad de capacitaciones de personal en distintos dispositivos de control utilizados.
- Establecer la información mínima necesaria en las estaciones de bombeo.
- Identificar las tareas necesarias en cada estación de bombeo.

4.2.4. Etapa 4. Formación de conocimiento

4.2.4.1. *Análisis de las mediciones*

El análisis de las mediciones es de gran importancia para establecer el estado del equipo, con el paso del tiempo los equipos van perdiendo sus características de fábrica, por eso el seguimiento de estos cambios puede ayudar a detectar próximas fallas y estar preparados para su posible atención o cambios de equipos.

También el análisis de las mediciones, y otros factores, dan paso a una probabilidad de falla que aparte de ser un aleado para la parte de mantenimiento y la predicción de las fallas, a su vez será un factor importante para la predicción de compras y la funcionalidad del stock.

La primera recomendación es crear un historial de mediciones por equipo instalado, para poder visualizar el comportamiento de los equipos en la línea del tiempo, ya que se dispone de todas las mediciones de los equipos, no obstante, la visualización del estado de un único equipo se torna muy complicado.

En la tabla 15, se puede ver un ejemplo de la hoja de mediciones sugerida. Esta hoja corresponde a las mediciones del Pozo W-13, ubicado en La Valencia de Heredia; con estos datos es posible identificar cambios importantes en el voltaje de las líneas, las corrientes, aislamiento del motor, caudal que impulsa la bomba, la presión de esta y otros comportamientos significativos que dan una perspectiva más clara del equipo.

Tabla 15. Mediciones ordenadas del Pozo W-13

MEDICIONES	#	Fecha de Medición	Lectura de Horimetro	Voltaje (V)			% DESBALANCE de VOLTAJE	Corriente (A)			% DESBALANCE de CORRIENTE	Potencias		Factor Potencia	Frecuencia	Aislam. MΩ	Máxima T° por fase (°C)	Armónicos		Nivel (m)		Colocación (m)	Presiones (Psi)			Caudal (l/s)	Caudal de Diseño		
				L1-L2	L1-L3	L2-L3		L1	L2	L3		KW	KVA					Entrada	HZ /RPM	%THD - V	%THD - I		Estatico 15 min	Dinam.	Entrada Succión			salida descarga	linea
24	Pozo W13	04/01/2017	11775.00	465	465	468	0.43	252	262	269	3.45	159	173	0.92	56.3/3365	550.00	36	3.00	36	91.00	97.00	106	NA.	88	80	65.60	85.00		
24	Pozo W13	09/02/2017	12627.00	470	470	471	0.14	267	254	262	2.68	161	173	0.93	56.3/3378	550.00	40 L1	6.00	33	91.00	98.00	106	NA.	84	82	67.00	85.00		
24	Pozo W13	11/05/2017	14811.00	470	469	470	0.14	264	252	260	2.58	160	172	0.93	56.3/3378	550.00	38 L1	6.00	33	98.70	98.70	106	NA.	90	84	64.50	85.00		
24	Pozo W13	26/06/2017	15007.76	469	469	470	0.14	265	254	261	2.31	160	173	0.93	56.3/3378	121.00	37	6.00	33	96.63	98.00	106	NA.	84	90	66.00	85.00		
24	Pozo W-13	27/07/2017	16638.24	468	469	469	0.14	264	254	262	2.31	160	173	0.93	56.3/3378	121.00	36	6.00	34	96.6	98.1	106	NA.	84	90	67.00	85.00		
24	Pozo W-13	31/08/2017	17476.50	462	465	465	0.43	262	255	267	2.42	160	173	0.92	56.3/3378	89.00	36	5.00	38	96.3	97.6	106	NA.	84	90	66.00	85.00		
24	Pozo W-13	29/09/2017	18171.75	472	471	472	0.14	265	253	261	2.57	161	173	0.93	56.3/3378	68.00	38	6.00	32	97.00	97.30	106	NA.	84	90	67.00	85.00		
24	Pozo W-13	30/10/2017	18875.00	484	478	477	0.90	263	253	261	2.32	161	179	0.90	56.3/3378	53.00	37	7.00	44	94.60	98.00	106	NA.	86	90	68.30	85.00		
24	Pozo W-13	08/12/2017	19806.00	485	478	477	1.04	263	251	260	2.71	160	179	0.90	56.3/3378	52.70	33	7.00	45	94.30	95.60	106	NA.	86		66.5	85.00		
24	Pozo W-13	24/01/2018	20927.00	486	480	479	0.90	280	267	275	2.55	173	191	0.91	56.3/3378	52.70	29	6.00	43		96.30	106	NA.	80	85	81.70	85.00		
24	Pozo W-13	08/03/2018	21960.00	485	479	479	0.83	263	258	253	1.94	161	179	0.90	56.3/3378	55.00	37	7.00	45	95.30	96.80	106	NA.	84	90	67.00	85.00		
24	Pozo W-13	27/04/2018	23155.00	473	468	468	0.71	280	269	278	2.42	172	189	0.91	56.3/3378	42.00	39	6.00	40			106	NA.	76	80	82.00	85.00		
24	Pozo W-13	18/06/2018	24401.00	471	465	464	0.93	269	257	265	2.53	161	178	0.90	56.3/3378	42.00	35	6.00	45		97.40	106	NA.	80	85	67.70	85.00		
24	Pozo W-13	31/08/2018	232.00	492	492	493	0.14	248	243	256	2.81	162	178	0.91	56/3379	28.00	33	6.00	37	96.20	97.60	106	NA.	78	85	66.80	85.00		

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Con el manejo de las mediciones por equipo se puede tener una predicción de falla, por medio de comportamientos como los siguientes:

- **Estado de aislamiento:**

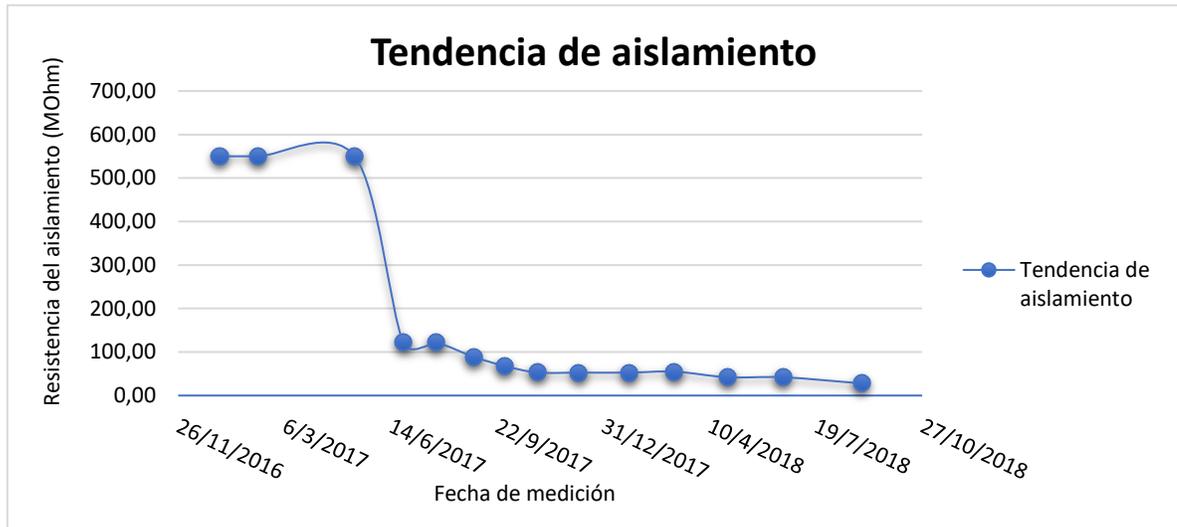


Ilustración 17. Gráfica de aislamiento del Pozo W-13
Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

La ilustración 17 muestra el comportamiento del aislamiento de un motor sumergible, el comportamiento presenta una disminución súbita entre el 11/05/2017 al 26/06/2017, si se revisa la disponibilidad y los historiales el día 19/06/2017 se presentó una falla en el sistema eléctrico por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, esa falla provocó esa disminución del aislamiento, a pesar de contar de contar con variador de frecuencia y sus protecciones adecuadas.

También es posible predecir, algún fallo del equipo, a causa de la pérdida del aislamiento, cabe recalcar que la pérdida de aislamiento es la principal causa de fallo en los motores sumergibles, si la tendencia sigue con el comportamiento que presenta la posibilidad de que falle se estaría dando alrededor de los primeros meses del año 2020; ayudando a la Dirección a prepararse de mejor manera, por supuesto se den considerar situaciones climatológicas o fallas externas al AyA.

Para motores exteriores este dato no es tan relevante debido a que son equipos no tan sensibles, por lo general su comportamiento es constante durante gran cantidad de tiempo.

- **Caudal que suple la bomba:**

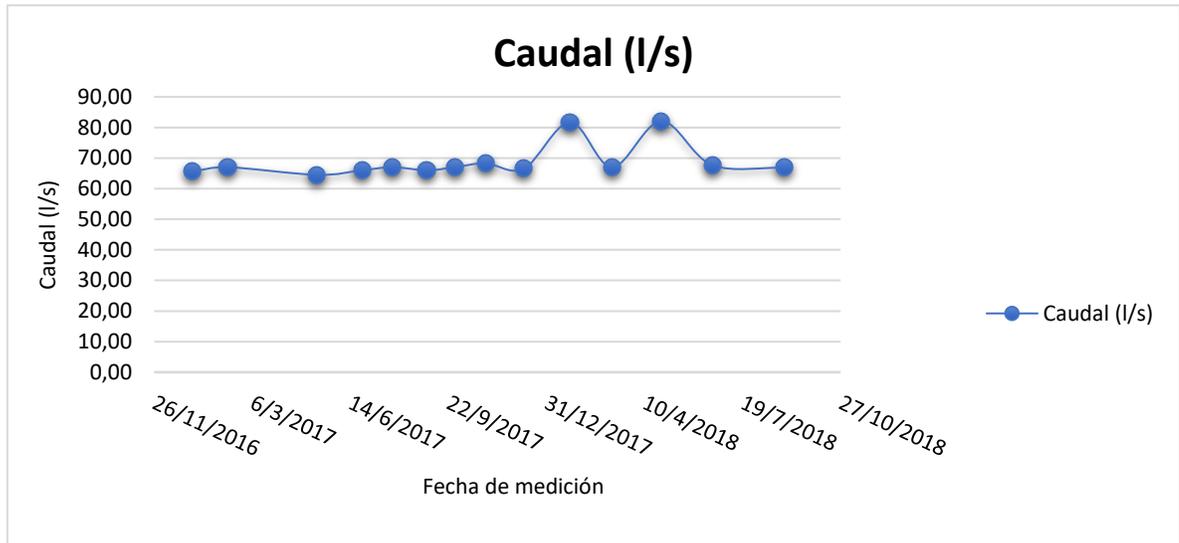


Ilustración 18. Gráfica de comportamiento de caudal del pozo W-13
 Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

La gráfica de caudal teóricamente se debe mantener constante, ya que el equipo es seleccionado para que supla una demanda constante según las necesidades del sistema de control, en la ilustración 18 muestra el resultado el comportamiento del caudal que impulsa la bomba, se muestra un comportamiento muy constante, donde la variación entre la primera y última medición es de 1.83 por ciento, y según la teoría cuando la variación en el caudal se superior a un 10 por ciento, es necesario una revisión del equipo ya que pueden presentar fallas, si la disminución del caudal se da sin un aumento en las corrientes del motor el daño está en la bomba, si las corrientes aumentan puede ser un bloqueo en el eje de la bomba o del motor.

En el caso de las bombas sumergibles, este gráfico es de gran importancia, ya que es de las pocas variables que podrían indicar un daño en las bombas, esto debido que al ser sumergibles y en ocasiones a grandes distancias hace que la visualización del estado de la bomba sea imposible.

- **Presión de descarga:**

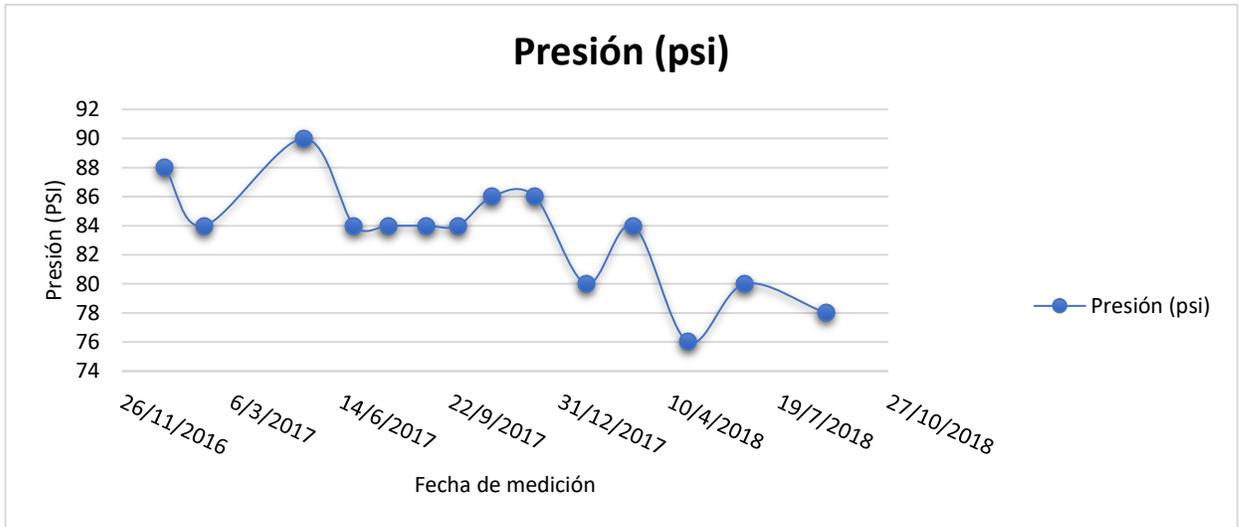


Ilustración 19. Gráfica de comportamiento de presión del pozo W-13

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Para el equipo la presión es una variable que controlar debido al sistema de redes de distribución, ya que a presiones muy altas es probable que estas no soporten la presión y surjan fugas, por lo que los dispositivos que controlan dicha presión deben estar calibrados para sacar el equipo para la presión de cierre de la bomba o para la presión del eslabón más débil de la red, dependiendo cual sea el dato menor.

- **Nivel dinámico del pozo**

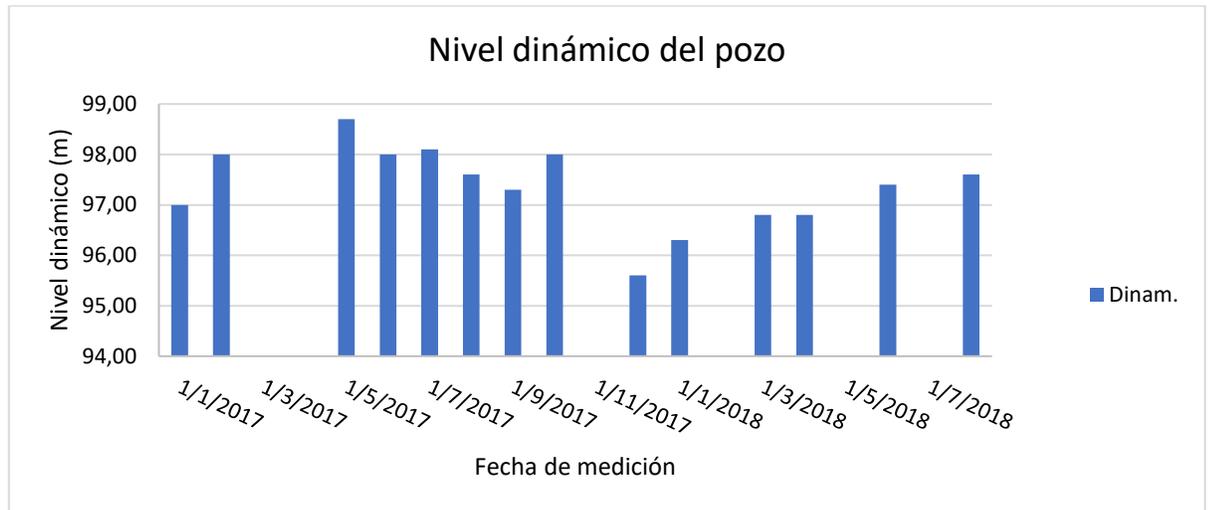


Ilustración 20. Gráfica de comportamiento de niveles dinámicos de pozo W-13

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

La ilustración 20 es la representación del nivel dinámico del pozo, este gráfico solo se mide en equipos a los equipos sumergibles, ya sea bombeo, rebombeo, pozo y pozo con turbina, esto se hace para determinar el estado del pozo, una disminución en el nivel puede significar una obstrucción en las rejillas del encamisado del pozo o bien, una disminución en el volumen del manto acuífero que alimenta al pozo.

Hay que tener presente que el nivel dinámico debe permanecer siempre por encima del nivel de colocación de la bomba, ya que si la bomba empieza a succionar aire provoca una baja de presión en la bomba lo que puede causar cavitación.

Si hay una disminución en el caudal de la bomba es preciso verificar que esa disminución no proviene de una baja en el nivel dinámico del pozo; esto para descartar que sea un desperfecto en la bomba.

Esas son algunas variables para estimar posibles fallos; sin embargo, no se debe dejar de lado el voltaje y sobre todo la corriente en el que se puede identificar una sobrecarga del motor o bien, un barrido del eje con respecto de la bomba por lo que el motor no siente la carga. Este control debe ser actualizado constantemente, para prever certeramente alguna falla.

4.2.4.2. Probabilidad de falla

La probabilidad de falla es una herramienta establecida por la Dirección de Sistemas de Bombeo, en la que se le realizó unas modificaciones y que contempla tanto conocimientos técnicos y mediciones, así como conocimiento tácito del personal. Esta herramienta establece en un porcentaje la probabilidad de que un equipo falle, esto lo realiza de acuerdo a una evaluación de los equipos mediante el uso de algunas variables que predicen las principales fallas que se dan en los equipos de bombeo, por ejemplo: la cantidad de años en funcionamiento, el aislamiento, caudal, tipo de motor, presión y factores externos.

Para la evaluación de la probabilidad de fallo de los equipos, se ha establecido los siguientes intervalos de evaluación:

- **Aislamiento del motor:** Esta variable es la mayor causa de falla en los equipos, según el control de disponibilidad y la experiencia del Ing. Emerson Campos. Se estableció un intervalo de evaluación de 1 a 5, donde 1 es muy poco crítico y 5 es muy crítico. Los intervalos son los siguientes:
 - 1) Si el aislamiento es mayor o igual a 500 MOhm
 - 2) Si el aislamiento está entre 499 MOhm y 200 MOhm
 - 3) Si el aislamiento está entre 199 MOhm y 75 MOhm
 - 4) Si el aislamiento está entre 74 MOhm y 10 MOhm
 - 5) Si el aislamiento es menor a 10 MOhm
- **Caudal:** La medición del caudal establece el funcionamiento de la bomba como tal, una disminución en el caudal puede indicar, ejes trabados tanto en motor y bomba, desgaste de los impulsores, ejes barridos, entre otras cosas; según la teoría una disminución de un 10 por ciento se debe revisar el equipo, dada la experiencia se establecieron unos intervalos de medición:
 - 1) El caudal es mayor al caudal de inicio.
 - 2) El caudal se encuentra entre el 100% y 95% del caudal inicial
 - 3) El caudal se encuentra entre el 95% y 90% del caudal inicial
 - 4) El caudal se encuentra entre el 90% y 85% del caudal inicial
 - 5) El caudal es menor al 85% del caudal inicial

- **Tiempo de instalado:** Este dato varía según el tipo de motor y a su vida útil. Los motores sumergibles tienen una vida útil en promedio de 3.5 años, según experiencias de la dirección y los motores exteriores presentan una vida útil promedio de ocho años. Por lo que se estableció la siguiente evaluación:
 - Motores sumergibles:
 - 1- El motor tiene menos de 2 años de instalado
 - 3- El motor tiene entre 2 y 3 años de instalado
 - 5- El motor tiene más de 3 años de instalado
 - Motores externos:
 - 1- El motor tiene menos de 4 años de instalado
 - 3- El motor tiene entre 4 y 7 años de instalado
 - 5- El motor tiene más de 7 años de instalado
- **Riesgos no medibles:** Los equipos en múltiples ocasiones presentan comportamientos que no se pueden medir o que no se ven reflejadas en las mediciones, entre estos comportamientos de tienen:
 - Vibraciones fuera de lo normal
 - Sonidos fuera de lo normal
 - Temperaturas diferentes a las nominales en motores externos.
 - Pérdidas de fluido eléctrico por causas externas

Se evalúa con un 1 si no presenta ninguna de las condiciones anteriores, si presenta alguna de las condiciones anteriores se le otorga un 5.

Tabla 16. Evaluación de probabilidad de falla

Evaluación de probabilidad de falla			
Criterio	Porcentaje de probabilidad	Puntuación	Porcentaje
Aislamiento	40%	1	8%
		2	16%
		3	24%
		4	32%
		5	40%
Caudal	30%	1	6%
		2	12%
		3	18%
		4	24%
		5	30%
Tiempo de instalación	Sumergibles		
	20%	1	4%
		3	12%
		5	20%
	Exteriores		
	20%	1	4%
		3	12%
5		20%	
Riesgos no medibles	10%	1	2%
		5	10%

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

La tabla 16 establece el valor porcentual de los criterios expuestos anteriormente, este porcentaje se determinó vía experiencia de la dirección y con apoyo del indicador de disponibilidad. Como se puede observar, el aislamiento representa un 40 por ciento del valor de probabilidad de falla, le sigue el caudal con un 30 por ciento, de tercero está el tiempo de funcionamiento o instalación con un 20 por ciento y, por último, los riesgos no medibles que representa anomalías en el funcionamiento en el equipo que no se detectan en las mediciones, este es un 10 por ciento. La puntuación representa un porcentaje de su criterio por lo que al final se suman todos los porcentajes obtenidos y dará como resultado la probabilidad de falla de cada equipo.

Tabla 17.Extracto de tabla de probabilidad de falla.

Potencia del Motor (HP)	RPM	Votaje, Fase, diametro	Estacion	VALORES DE DISEÑO (PRIMERA MEDICION POSTERIOR AL					VALOR ACTUAL							RIESGO					
				Fecha de Instalación	Q _{DISEÑO} (L/s)	ND _{DISEÑO} (m)	NE _{DISEÑO} (m)	ND _{DISEÑO-NE_{DISEÑO}} (m)	RPM _{DISEÑO} (Hz/RPM)	Fecha de última medición	Q (L/s)	Ω	ND (m)	NE (m)	ND-NE (m)	RPM	Aislamiento	Caudal	Tiempo de Instalación	Otros (Vibración, sobrecarga, ND)	% RIESGO TOTAL
2	3450	230/1/4	Pozo Edward	01/02/2012	0.2				60/3450		0.4	14.8				60/3450	4	1	5	1	71%
2	3450	230/1/4	Reb.Hacienda Paraiso2	27/03/2017	0.9	0.3		0.3	60/3450	10/09/2018	0.4	26	0.1		0.1	60/3450	4	5	3	1	75%
3	3450	230/1/4	Bomb.AltoCoris	03/02/2017	3.5	1			60/3450	14/09/2018	1.9	275	1.3		1.3	60/3450	2	5	3	1	59%
3	3450	230/1/4	Bomb.AltoCoris	26/02/2016	1.8			0	60/3450	14/09/2018	1.8	275	1.3		1.3	60/3450	2	1	2	1	37%
3	3450	230/1/4	Reb.Hacienda Paraiso1	05/06/2017	1.1	0.3		0.3	60/3450	10/09/2018	0.6	275	0.1		0.1	60/3450	2	5	3	1	59%
3	3450	(230/460)/3/4	Bom. Planta San Jeronimo	17/02/2011	1.3				60/3450	03/09/2018	1.4	275	2.9		2.9	60/3450	2	1	5	1	55%
5	3450	230/1/4	Pozo Las Catalinas 3	13/02/2015	5	17.4	16	1.4	60/3450	29/09/2018	3.8	50	23	14.1	8.9	60/3450	4	5	1	1	63%
5	3450	230/1/4	Rebom.Calle Lizanias	20/02/2015	2.5	0.15		0.15	60/3451	26/09/2018	3.6	275	0.5		0.5	60/3451	2	1	1	1	31%
5	3450	230/1/4	Pozo Bebedero	23/06/2018	1.2	42		42	60/3450	03/09/2018	1	159	17.5	15.4	2.1	60/3450	3	5	4	1	73%
5	3450	230/1/4	Pozo Chalo	10/06/2015	1	12.8		12.8	60/3450	04/09/2018	1.9	14	11.5	10	1.5	60/3450	4	1	1	1	47%
5	3450	230/1/4	Pozo Castilla	20/09/2018						23/10/2018	2.7	275	15.6	11.9	3.7		2	#DIV/0!	4	1	#DIV/0!
5	3450	230/3/4	Pozo Las Catalinas 4	17/08/2017	4	44	25	19	60/3450	29/09/2018	3.7	2	31	11	20	60/3450	5	3	3	1	75%
5	3450	230/3/4	Pozo Paquita	29/05/2014	1.3	14	12.7	1.3	60/3450	12/02/2018	1	275	22	14	8	60/3450	2	5	5	1	71%
7.5	3450	230/1/6	Pozo Las Catalinas 2	24/05/2016	6.2	2		2	60/3450	29/09/2018	1.7	1	28.1	15.8	12.3	60/3450	5	5	2	1	77%
7.5	3450	230/1/6	Rebom. Miravalles1	10/08/2010	5	0.1		0.1	60/3450	27/09/2018	8	275	2		2	60/3450	2	1	5	1	55%
7.5	3450	230/1/6	Rebom. Miravalles2	31/08/2012	5.5	0.1		0.1	60/3450	27/08/2018	10	275	2		2	60/3450	2	1	5	1	55%
7.5	3450	230/1/6	Rebom. Calle Lizanias	12/05/2015	2.6	0.1		0.1	60/3450	26/09/2018	3.3	275	0.5		0.5	60/3450	2	1	1	1	31%
7.5	3450	230/1/6	Rebom. Chirracal1	19/03/2016	3.5	0.4		0.4	60/3450	05/09/2018	4	9	0.3		0.3	60/3450	5	1	2	1	61%
7.5	3450	230/1/6	Rebom. Chirracal2	19/02/2014	4.4	0.1		0.1	60/3450	05/09/2018	3.8	18	0.3		0.3	60/3450	4	4	5	1	83%
7.5	3450	230/3/6	Rebom.Pico Blanco	25/05/2016	5.9	3		3	2600	19/09/2018	9.8	275	2		2	3368	2	1	2	1	37%
7.5	3450	230/3/6	Rebom.Pico Blanco	25/05/2016	5.5	3		3	2600	19/09/2018	10.6	275	2		2	3350	2	1	2	1	37%
7.5	3450	230/3/6	Pozo Villa Foresta	29/11/2012	4	16.7	8.1	8.6	60/3450	29/09/2018	6.6	3.2	20	6.4	13.6	3000	5	1	5	1	79%
10	3500	230/3/6	Pozo Ana Lucia	10/08/2015	9.5	10.8	7.56	3.24	2930	29/09/2018	10	2	8.9	4.8	4.1	3335	5	1	1	1	55%
10	3450	230/3/6	Pozo La Rosita 2	26/01/2017	1.7	7	4.5	2.5	60/3450	29/09/2018	8.8	275	18.6	11	7.6	3315	2	1	3	1	43%
10	3450	230/3/6	Pozo Bosque Escondido	10/03/2014	4	34.8	29.6	5.2	60/3450	24/02/2017	5	275	5	2	3	60/3450	2	1	5	1	55%
10	3450	(230/460)/3/6	Pozo El Silo 1	02/03/2018	7	16	6.2	9.8	60/3450	29/09/2018	3.8	275	12.6	6	6.6	2555	2	5	4	1	65%
10	3450	(230/460)/3/6	Pozo Las Catalinas 5	24/10/2017	4	65		65	60/3450	29/09/2018	6.3	275	56.4	16.8	39.6	60/3450	2	1	3	1	43%

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

4.2.4.3. Análisis de la Criticidad

El análisis de la criticidad de las estaciones es fundamental para determinar y visualizar el porqué de la criticidad en estaciones, y orienta a su vez a la organización para buscar las soluciones necesarias para disminuir la criticidad. Este análisis es razonable se está efectuando el estudio, ya que es importante que el encargado y el conocimiento que tienen de las estaciones se refleje en las calificaciones del estudio.

Este análisis debe tomar en cuenta los datos de mediciones, la trazabilidad de los equipos, la seguridad de los operadores, el inventario de equipos, datos de control de los sistemas y la experiencia de los jefes de área. El análisis y el estudio de la criticidad es necesario efectuarlo en conjunto, tanto por los jefes de área, como la dirección, con el fin de establecer criterios que hagan más certera la información recopilada.

4.2.4.4. Análisis de las inspecciones técnicas

El análisis de las inspecciones determina las tareas que se deben realizar y cómo se deben efectuar; lo que llevará a una programación más enfocada en la criticidad y no en trabajos menores. Las inspecciones también generarán información sobre repuestos críticos, por lo que será un insumo para facilitar compras, disminuirlas, y también disponer de repuestos como, por ejemplo: contactores, relés, sensores, entre otros; ayudará a minimizar el tiempo de atención de fallas y así se disminuye los tiempos de paro en las respectivas estaciones.

Con las inspecciones es importante no solo que salgan tareas técnicas, sino que se descubra la necesidad de la capacitación del personal, con el fin de tener personal más crítico, que aporte ideas; y que el personal técnico no solo sea el encargado de realizar las tareas técnicas, sino que genere criterios y que su experiencia ayude a mejorar la gestión administrativa.

Es clave determinar la necesidad de información (Planos eléctricos, hidráulicos, control, entre otros) en las estaciones, este criterio es determinante en la solución rápida y eficiente a fallas, también como medida de seguridad, tanto de los operadores como la seguridad de los equipos instalados.

4.2.5. Etapa 5. Producción, captación y almacenaje de conocimiento

4.2.5.1. *Informe de fallas poco frecuentes*

La elaboración de un informe de fallas se debe a la necesidad de crear un historial de aquellas fallas poco frecuentes, con el objetivo de estar preparados para próximas fallas; el tener este historial permitiría establecer una solución rápida basada en experiencias pasadas. También es una manera para captar el conocimiento tácito y la experiencia de los colaboradores y transformarlo en conocimiento explícito.

Esta herramienta permite atender fallas poco comunes y con mayor prontitud, sino que ayuda a determinar los materiales y repuestos necesarios para la atención de fallas. Entre las ventajas de esta herramienta se tienen:

- Identificación de las causas para atenderlas antes de que pase una falla con mayores efectos.
- Transforma el conocimiento tácito en conocimiento explícito, a la mano de todos.
- Minimiza el tiempo de adaptación del personal nuevo.
- Disminuye los tiempos de reparación de una falla, al disponer de una guía de atención según el historial.
- Establece los materiales y repuestos para atender adecuadamente las fallas.
- Justifica la aplicación de un presupuesto para repuestos y materiales críticos, en caso de compras de emergencia.

Tabla 18. Plantilla propuesta para historial de fallas poco frecuentes de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

Informe de fallas			
Fecha:		Responsable:	
Área:		Estación:	
Causa y descripción de la falla			
Solución a la falla			
Materiales necesarios para la atención de la falla			

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Como se muestra en la tabla 18, es una herramienta sencilla, de fácil utilización, dado la cantidad de información se recomienda una herramienta sencilla y que contenga la menor cantidad de información necesaria para una futura utilización. Se propone la utilización de programas estilo Excel, con el fin de crear una base de datos digital, fácil de utilizar por todos los miembros de la dirección y aprovechando los recursos que se tienen.

4.2.5.2. *Procedimientos para tareas correctivas y preventivas*

Como se estableció, los procedimientos son herramientas de aprendizaje, guías en las que se establece el paso a paso para la realización de una tarea, el responsable de cada paso, referencias, entre otra información.

Al igual que el informe anterior, esta herramienta ayuda a transformar el conocimiento tácito de los colaboradores a un conocimiento explícito que perdure en el tiempo. El procedimiento es una herramienta utilizada para tareas de mayor frecuencia, por ejemplo, en la Dirección de Sistemas de Bombeo, una falla frecuente es la salida de funcionamiento de pozos por equipos quemados, al ser una falla común se puede desarrollar un procedimiento, que beneficie la atención de fallas o actividades relacionadas con el mantenimiento:

- Transformación del conocimiento tácito a explícito.
- Disminución de tiempos de realización de trabajos.
- Disminución de errores o retrabajos en las tareas realizadas.
- Estandarización de los trabajos, en las cuatro áreas de la dirección.
- Disminución de tiempos de adaptación de nuevo personal.
- Mejoramiento en la gestión de compra de materiales y repuestos críticos para la atención de fallas comunes.

La creación de los procedimientos en tareas correctivas y preventivas también representa una meta que se tiene por parte de la dirección, con el fin de lograr certificarse en la Norma ISO 9001; esto es una meta institucional y la dirección pretende ser la primera en lograr esta certificación en el AyA, por lo que es importante que este modelo sea una herramienta para alcanzar esa meta.

La dirección ya tiene la plantilla de elaboración de procedimientos, por lo que se deben ir realizando los procedimientos para las principales tareas correctivas y preventivas, está en el anexo 2.

4.2.5.3. *Mejoras en criterios compras de equipos*

La gestión de “stock” es un proceso valioso pues consume gran parte del presupuesto de la dirección. Actualmente no se tiene un método técnico para el cálculo de equipos de seguridad en bodega y la cantidad de equipos requeridos para satisfacer la probabilidad de falla de acuerdo con los modelos de motores que se tienen.

El siguiente método detalla el stock de motores, dado que las bombas son un equipo que se debe seleccionar justo a la medida según la estación, ya sea pozo, rebombeo, bombeo o booster, ya que la gestión de stock se vuelve muy específica y depende de un estudio de todas las estaciones con el fin de identificar las características y modelos de las bombas y tomar decisiones de compra para bombas que puedan servir en múltiples estaciones, las bombas de agua son equipos con una vida útil aproximada de 8 años a 10 años y no son equipos que tiendan a fallar con facilidad, por lo que esta selección de equipos si debe hacerse de manera específica para cada estación de bombeo.

Para determinar el método de gestión de stock se debe pensar en cuatro variables las cuales deben ir asociadas:

- El número de equipos instalados.
- La probabilidad de falla
- Factor de importación
- Número de fallas en el período pasado

Número de equipos instalados: Hace referencia a todos los equipos de un mismo modelo instalados en todas las estaciones, por ejemplo, en 10 estaciones puede haber un mismo modelo de motor.

Probabilidad de falla: La probabilidad de falla se definió anteriormente como un conjunto de factores negativos que aumentan la oportunidad de que un equipo entre en una falla.

Factor de importación: El tiempo de entrega de los equipos juega un papel muy importante para determinar el tiempo que debe soportar el stock hasta que se haga la entrega, este factor se estableció en la Dirección con el fin de tomarlo en cuenta a la hora de tener un stock de seguridad. Este factor se calcula de la siguiente manera:

$$F_i = \left(1 + \frac{D_{He}}{D_{Ha}} \right)$$

Donde:

F_i = Factor de importación

D_{He} = Días hábiles para la entrega

D_{Ha} = Días hábiles en el año

Número de fallas promedio: Corresponde al número de veces promedio que ha fallado un equipo o un mismo modelo, por ejemplo, en dos estaciones tengo el mismo modelo de motor y en un el equipo ha fallado dos veces y en la otra estación el equipo falló tres ocasiones, el número promedio de fallas es 2,5.

a) **Calculo del Stock de seguridad**

El stock de seguridad hace referencia de los equipos que debemos tener en bodega siempre, esto con el fin de solventar tiempos de entrega, fallas inesperadas, entre otras. Para el cálculo del stock de seguridad se debe tener en cuenta el pasado, que se quiere decir con esto, que el stock de seguridad debe ser capaz de solventar, aunque sea el promedio de las fallas del periodo anterior, esto debido a dos razones:

- 1- La probabilidad de que todas las fallas de un periodo se den en un pequeño lapso de compra, mientras se realiza la entrega de los equipos solicitados.
- 2- El stock de seguridad debe ser reducido, pero a su vez ideado para que soporte casos de emergencia.

Para calcular el stock de seguridad, se utiliza la siguiente formula:

$$S.S = Nf_{prom} * F_i$$

Donde:

S.S = Stock de seguridad

Nf_{prom} = Número de fallas promedio

F_i = Factor de importación

Con esta fórmula, lo que se quiere es que el stock de seguridad haga frente a la posibilidad de que se repitan las fallas del período anterior, contemplando el tiempo de entrega de los equipos por parte de la empresa distribuidora.

b) [Calculo del stock normal](#)

El stock normal hace referencia al stock que deberíamos tener ante la probabilidad de falla a futuro, por medio del indicador de probabilidad de falla establecido anteriormente. Para el cálculo del stock normal se tiene la siguiente formula:

$$S.N = E_i * P_f$$

Donde:

S.N = Stock normal

E_i = Equipos instalados

P_f = Probabilidad de falla

Como se puede observar en la fórmula, el stock normal se encarga de contemplar los posibles equipos que podrían fallar, esta probabilidad será un promedio de las probabilidades de todos los equipos de un mismo modelo.

Teniendo estas dos divisiones en el stock tomamos en cuenta factores pasados, futuros y los actuales; así como el factor externo de tiempos de entrega. Si se suman los dos tipos de stock, tenemos un stock requerido para solventar las necesidades de la Dirección y de los sistemas.

$$Q_R = S.S + S.N$$

Para obtener la cantidad de equipos que se deben comprar se puede realizar de la siguiente manera:

$$Q_C = Q_R - Q_i$$

Donde:

Q_C = Cantidad de equipos por comprar

Q_R = Cantidad de equipos requeridos

Q_i = Cantidad de equipos en bodega

La cantidad de equipos en bodega lo que significa es que muchas veces cuando se hace el estudio de los equipos que se deben comprar, ya se tienen equipos en bodega al inicio del estudio por lo que se disminuye la cantidad final que se deben comprar, asegurándose así una rotación del Stock inicial.

Esta cantidad de equipos a comprar está sujeta al presupuesto con el que se cuente en la Dirección, y la compra queda a criterio del director con el apoyo del criterio técnico que respalde su decisión, desplazando el criterio experto que podría ser tergiversado u omitir varios aspectos.

c) Base de datos para manejo de inventario

Como un medio para mejorar la gestión de bodega, y facilitar la introducción de equipos nuevos, se pudo establecer una base de datos utilizando Microsoft Access, esta base de datos puede manejar varios tipos de equipos, agregar o quitar equipos de manera sencilla, crear informes e imprimirlos si es necesario.

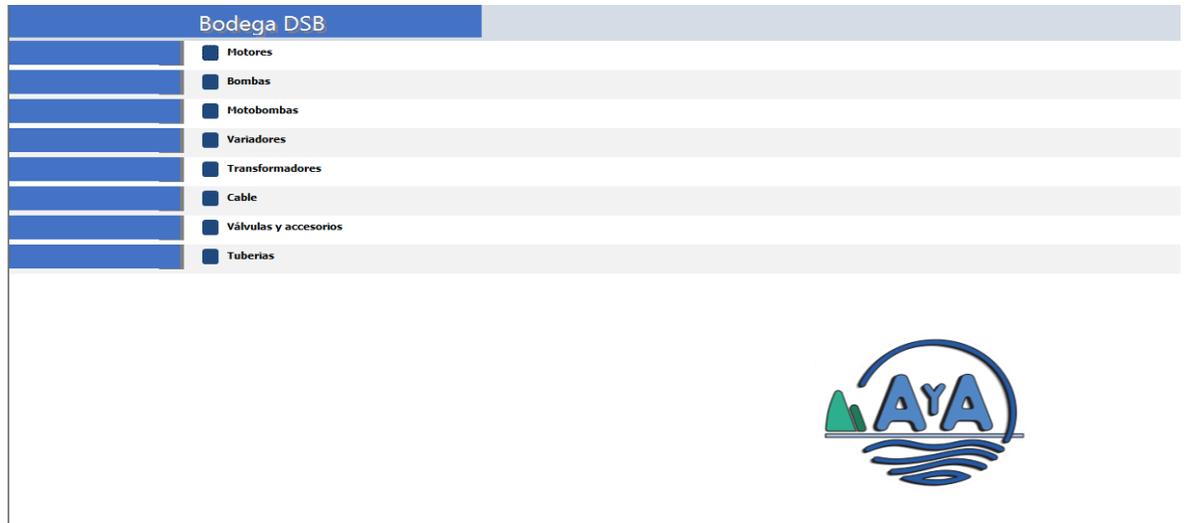


Ilustración 21. Base de datos para la bodega de la dirección.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Access

En el anexo 4 se presentará la base de datos de manera más ilustrada y con las respectivas funciones que se pueden utilizar. Esta herramienta se diseñó para mejorar el trato de los equipos en bodega. La actual herramienta utilizada es Microsoft Excel y cumple con la función de la gestión de la bodega; sin embargo, la nueva base de datos propuesta pretende ser más amigable y más fácil de manejar pro los encargados responsables de la labor.

4.2.6. Etapa 6. Circulación y utilización del conocimiento

4.2.6.1. *Solicitud de trabajos*

La solicitud es una herramienta aplicada para el planeamiento de tareas de mantenimiento, la idea es que esta solicitud de trabajo sea el primer paso para la programación de trabajos.

El funcionamiento de esta herramienta es que venga alimentada por las inspecciones de las estaciones, estas tendrán la misma estructura de las ordenes de trabajo, exceptuando las fechas y horas de los trabajos. La finalidad de la solicitud de trabajo es determinar los materiales necesarios para la realización de las tareas y adquirirlos, ya sea en las bodegas institucionales o por medio de compras; una vez se cuenten con los materiales de la solicitud se acepta la solicitud y el trabajo podrá ser programado.

Beneficios que se pretenden alcanzar con la implementación de las solicitudes de trabajo:

- Eliminar los trabajos incompletos o interrumpidos por falta de materiales.
- Disminuir cantidades de caja chicas realizadas por la Dirección.
- Identificación de materiales críticos, para una posible contratación.
- Disminución los tiempos del personal de la Dirección en procesos administrativos de las compras.
- Incrementar la eficiencia en las compras y realización de trabajos.
- Aumentar la disponibilidad de las estaciones, debido a la eficiencia en la realización de los trabajos.
- Clasificar la criticidad los trabajos, a partir de los criterios establecidos en el análisis de criticidad.

A continuación, se expone la plantilla propuesta para la solicitud de trabajo:

Tabla 19. Plantilla propuesta para las solicitudes de trabajo

No. Solicitud		Nivel de criticidad	Alto
			Medio
Fecha de solicitud			Bajo
Área			
Estación			
Responsable:			
Descripción:			
Materiales y herramientas			
Personal necesario			
Observaciones			

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

4.2.6.2. Órdenes de trabajo

La orden de trabajo es de gran importancia, es la principal herramienta de control de mantenimiento, aparte de su función de programar trabajos será el insumo principal para la medición de la gestión realizada por las áreas respectivas y de la dirección.

Como se mencionó, la estructura de la orden de trabajo es similar a la solicitud de trabajo, aunque se le agregan otros criterios con el fin de medir el tiempo de realización de los trabajos.

Tabla 20. Plantilla propuesta para ordenes de trabajo.

Orden de trabajo			
N° Orden:		Prioridad:	Fecha:
Requerido por:			
Autorizado por:			
Área:			
Estación:		Equipo:	
Descripción del trabajo			
Materiales y Herramientas			
Personal involucrado			
Fecha de inicio del trabajo:		Hora de inicio:	
Fecha final del trabajo:		Hora final:	
Responsable de OT:			

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel.

Cada orden de trabajo debe estar asociada a una solicitud, solo en casos que se den por alguna emergencia no deberán estar asociadas a una solicitud de trabajo. La orden de trabajo comprueba el uso del material solicitado y su proyección en cuanto a cantidades necesarias para su respectiva realización.

La orden de trabajo mide la cantidad de tiempo que les toma para la realización de la tarea descrita, las personas que intervienen en la tarea con el fin de identificar la cantidad de personal para la realización de tarea y centrar responsabilidades ante tareas.

4.2.6.3. Método de manejo de solicitudes de trabajo

El manejo de la información y de estas herramientas es igual o más importante que la herramienta en sí, por lo que no solo se deben enfocar esfuerzos en la herramienta, sino que también en el manejo de estas.

Dado a los avances tecnológicos y la visión ecológica de la institución se estableció que el medio de comunicación de dichas herramientas fuese por medio del sistema de correo institucional, donde cada funcionario tiene acceso a una cuenta y se puede manejar de manera sencilla y rápida la información.

El programa utilizado para correo es el Microsoft Outlook incluye múltiples ventajas aparte del manejo de correos, destacan las siguientes:

- Manejo de contactos
- Establecimiento de calendarios y citas.
- Manejo de correo
- Elaboración y manejo de tareas
- Compartir calendarios y carpetas entre varias personas
- Redireccionar correos a carpetas

Este programa ofrece muchas funciones; sin embargo, para el manejo de estas herramientas se aplicará el manejo de tareas de Outlook, la creación de plantillas y el redireccionamiento del correo o como Microsoft lo llama “Regla”.

El proceso para el manejo de la información será:

- 1- Crear la plantilla de solicitudes y órdenes de trabajo en la cuenta de cada jefe de área, debido a que ellos serán los encargados de la elaboración y aprobación de estos documentos.
- 2- Se deben crear dos carpetas compartidas de tareas entre los jefes de área y el gestor de mantenimiento, una para las solicitudes de trabajo y otra para las órdenes de trabajos.
- 3- Luego se debe crear una regla que direcciona los correos por medio de un asunto específico y un remitente particular, esto para que las solicitudes y órdenes de trabajo lleguen a la carpeta respectiva; lo anterior se debe hacer por cada área para manejar apropiada las respectivas tareas según cada área.
- 4- Una vez completada la solicitud, según los materiales y con el visto bueno de la dirección, que la carpeta de órdenes de trabajo es compartida con el jefe de área correspondiente, el gestor de mantenimiento coloca las órdenes y el jefe de área podrá visualizarlas desde donde se encuentre.
- 5- Una vez realizada la orden de trabajo y completada por el jefe de área en la misma carpeta de órdenes de trabajo, la cual queda guardada en dicha carpeta y pueden utilizarse los datos que desee la dirección, lo que permite medir la gestión de mantenimiento.

El propósito es contar con un medio sencillo y fácil de emplear, lo más significativo es aprovechar los insumos disponibles de la dirección y aprovecharlos al máximo. Una vez que la dirección tenga el modelo bien establecido, se puede dar paso a la búsqueda de un software, que reúna con los requerimientos establecidos por la dirección.

4.2.7. Etapa 7. Medición y estrategias de mejoras

4.2.7.1. *Misión y visión del departamento*

Para introducir un cuadro de mando integral es necesario, como se estableció en el apartado 4.4.6.2, determinar los alcances de la Dirección, por lo que es de gran importancia establecer la misión y visión; las cuales se establecieron en la sección 2.2 y 2.3 de este documento.

4.2.7.2. Análisis F.O.D.A

Según CEEI el análisis FODA es: “un método de diagnóstico situacional relativamente sencillo y muy práctico, que ayuda a perfilar una estrategia adecuada para conseguir un óptimo ajuste entre la capacidad interna empresarial y el entorno competitivo.”

Lo que permite visualizar el estado de la dirección, tanto a lo interno como a lo externo, lo cual es importante para determinar las características y plantear mejoras y mediciones de manera acertada.

Tabla 21. Análisis F.O.D.A de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM

F.O.D.A	
Fortalezas	Oportunidades
1:Personal con altas capacidades técnicas y experiencia. 2:La dirección y las jefaturas dispuestos a realizar los cambios necesarios. 3:Personal motivado en la realización de sus labores. 4. Información necesaria y sistemas de mediciones.	1:Mejorar en el manejo de la información.. 2:Capacitación de personal en las estaciones, los sistemas de control, entre otros. 3:Mejora de sistema de adquisición de equipos. 4:Mejorar el manejo de inventarios de bodega.
Debilidades	Amenazas
1:Manejo de inventarios. 2:Falta de un mecanismo técnico para toma de decisiones en compras de equipos. 3:Falta de procedimientos escritos de las tareas de mantenimiento. 4:Falta de ordenes de trabajo y sistema para su manejo.	1: Reducción del presupuesto debido a la situación del país. 2:Dificultad de cambio de costumbres en el personal, a pesar de su disposición al cambio. 3:Falta de seguimiento de las metodologías propuestas.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

El análisis anterior fue realizado mediante la ayuda de la auditoria MES que se especifica en la sección 5.2.1 del presente documento y también por medio de la experiencia del propio director.

La idea es que las fortalezas se sobrepongan a las debilidades y que se aprovechen las oportunidades para no darle paso inteligentemente a las amenazas.

4.2.7.3. Definición de los objetivos según las perspectivas

En la elaboración de los objetivos se utilizó la información recabada hasta el momento, desde la misión y visión hasta la criticidad y algunas sugerencias dadas por parte de la Gerencia General del A y A.

Según las perspectivas se tienen:

A) Perspectiva financiera

Tabla 22. Objetivos perspectiva financiera

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Financiera	Reducir en un 10% el número de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM en un periodo de un año.	Optimizar las compras de equipos de respaldo o stock, generando una disminución de un 5% del stock de equipos.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

- **Objetivo 1:** Para reducir el número de cajas chicas en la dirección en un 10% se recomienda realizar compras programadas por mes por grandes volúmenes de materiales y repuestos, por medio de inspecciones identificar materiales y repuestos críticos que se puedan comprar por medio de contrataciones o licitaciones.
- **Objetivo 2:** Para reducir en un 5% los equipos en stock, se estableció un método de cálculo de equipos, según sus fallas en el periodo, su probabilidad de falla y la cantidad de equipos instalados que se tienen, por lo que se pasa de un sistema basado en la experiencia a uno basado en datos medibles. El método planteado toma en cuenta los equipos en existencia, por lo que el volumen de compra disminuirá, mientras se da la fluidez a los equipos ya existentes, con lo que disminuye el stock.

B) Perspectiva cliente

Tabla 23. Objetivos perspectiva cliente

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Cliente	Aumentar la disponibilidad total anual en un 5% en las estaciones de bombeo.	Establecer un estándar de información mínima en las estaciones de bombeo con la consigna de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores y disminuir tiempos de atención a pequeñas fallas por parte de los operadores.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

- **Objetivo 1:** La disponibilidad de los equipos disminuyen por medio de la predicción y las mediciones de los equipos, manejando mejor los materiales y repuestos críticos y con un correcto manejo de equipos en stock; dado que le permite a la dirección actuar con mayor prontitud; si como la propuesta para solventar fallas externas como de fluido eléctrico que perjudican la disponibilidad de la estación.
- **Objetivo 2:** Los clientes de la dirección no solo son el cliente final que recibe el servicio de agua potable, sino también el departamento de control de sistemas, el contar con la información necesaria de los sistemas de las estaciones permite atención rápida a fallas pequeñas, disminuir riesgos contra la seguridad de los operadores por medio de una mejor manipulación de los sistemas y aumentar la vida útil por la mejora en la manipulación de los sistemas.

C) Perspectivas de procesos internos

Tabla 24. Objetivos perspectiva de procesos internos

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Procesos internos	Reducir en un 5% los tiempos de atención y solución de averías en equipos.	Reducir los retrabajos en un 5% mediante la mejora de la planificación de trabajos con ordenes de trabajo.

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

- **Objetivo 1:** Para alcanzar el 5 por ciento de ese tiempo se pretende realizar capacitación del personal técnico y de operación; mejorar la información en las estaciones. Crear un levantamiento de repuestos críticos por estación, monitoreo mensual del estado de los equipos y realizar una preselección y pruebas en los equipos de repuesto, cuando los equipos presenten una significativa probabilidad de falla.
- **Objetivos 2:** Por medio de las solicitudes y las órdenes de trabajo, así como las inspecciones y el análisis de criticidad, se va a mejorar la planificación en los procesos y adquisición de materiales necesarios con el fin de reducir los retrabajos en 5 por ciento.

D) Perspectiva de innovación y aprendizaje

Tabla 25. Objetivos perspectiva de innovación y aprendizaje

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Innovación y aprendizaje	Aumentar el conocimiento de los técnicos y operadores por medio de capacitaciones de las estaciones de bombeo, sus estructuras y funcionamiento.	Aumentar la motivación de los colaboradores mediante el incremento en la participación de la gestión del mantenimiento.

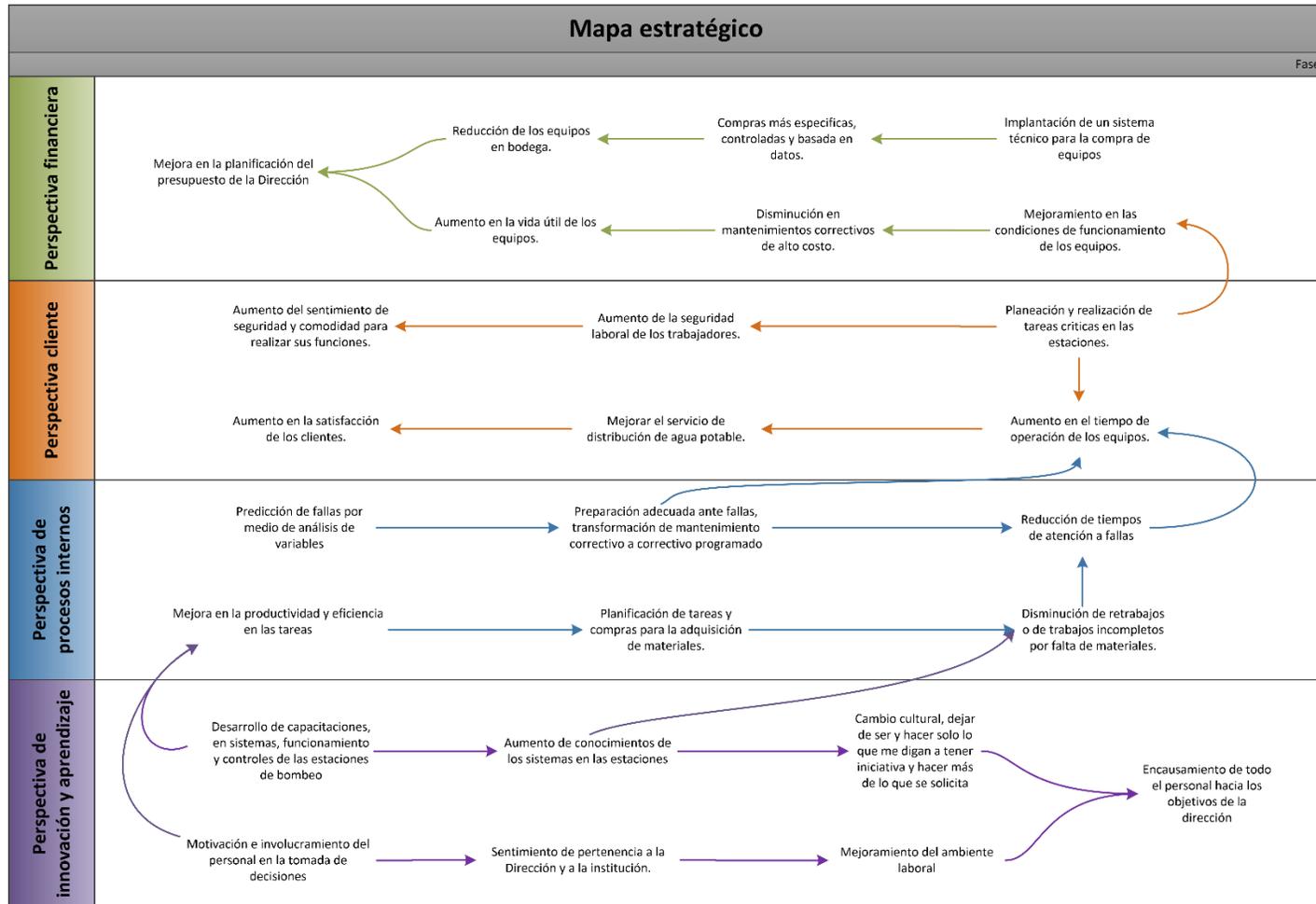
Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

- **Objetivo 1:** La dirección planea establecer pequeñas capacitaciones, tanto a técnicos como a operadores, con el fin de ampliar el conocimiento en temas relacionados a proceso de distribución de cada estación, diseño de estaciones de bombeo, hidráulica, sistemas de control de arranque, entre otros.
- **Objetivo 2:** La dirección plantea que el personal técnico y operador se compenetren con sus labores y que puedan proponer ideas y sean tomados en cuenta en decisiones; promoviendo sentimientos de pertenencia que los motive para la gestión de mantenimiento oportuno, eficaz basado en su sólida experiencia.

4.2.7.4. Mapa estratégico

El mapa estratégico analiza los efectos provenientes de los objetivos planteados y aquellos efectos que se relacionan entre sí. Estas relaciones deben contemplar la perspectiva financiera, como un eje transversal en la toma de decisiones.

Tabla 26. Mapa estratégico para la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM



Fuente: Elaboración propia, Microsoft Visio

2.1.1.1. *Determinación de los indicadores de gestión.*

Para la selección de los indicadores se debe considerar que sean una fuente de conocimiento para la toma de decisiones, para ello se deben fundamentar en los objetivos e intereses de la dirección.

Para determinar el número de indicadores es necesario establecer el responsable del manejo de dicha herramienta, para determinar qué número de indicadores le será posible manejar; un número muy grande de indicadores puede ser incontrolable y perdería eficiencia a la hora de realizarla regularmente.

Dado que en la dirección se le otorgara esa labor al gestor de mantenimiento, se ha decidido una cantidad de cada indicador por objetivo, se quiere que el manejo del cuadro de mando integral sea una labor sencilla.

A) *Perspectiva financiera*

Para el objetivo 1 de esta perspectiva, el indicador es el número de cajas chicas, debido a los procedimientos internos en la institución, las cajas chicas son mecanismos para compras de emergencia. Se pueden realizar tres por mes como máximo. La dirección ha tenido problemas ya que se están realizando cajas chicas sin ningún control, por eso el indicador seleccionado es precisamente la cantidad de cajas chicas que se realicen. Este indicador tiene un periodo de medición mensual escogido por la dirección.

$$N_{CC} = \text{Número de cajas chicas}$$

El objetivo 2 para disminuir las compras, se estableció un método para la compra de equipos, el cual contempla los equipos en bodega por los que se disminuye las compras, se establece una movilidad de equipos viejos y por ende una disminución en el stock, por lo que la determinación de una menor compra de equipos disminuye el stock, este indicador tendrá una medición anual debido a que ese es el periodo de compra de equipos. Para lo que se estableció el siguiente indicador:

$$\%C = \frac{\text{Costo de compra del periodo anterior} - \text{Costo de compra del periodo actual}}{\text{Costo de compra del periodo anterior}} * 100$$

B) Perspectiva cliente

Para el primer objetivo, de la perspectiva cliente se aplicará un indicador que ya se está aplicando en la dirección, el cual es la disponibilidad de las estaciones de bombeo. Este indicador muestra el porcentaje del tiempo que una estación estuvo en funcionamiento, por eso es uno de los indicadores más importante, ya que nos dice que tan eficiente es el servicio y cuál es el aporte de la dirección para proveer un servicio continuo. La disponibilidad es un indicador que se mide de manera mensual, la disponibilidad se mide mediante:

$$Disp = \frac{\textit{Tiempo total} - \textit{Tiempo en falla}}{\textit{Tiempo total}} * 100$$

Para el objetivo 2, de la perspectiva cliente se establece para aumentar la seguridad de los operarios como primera intención, por serlos primeros en intervenir en las fallas; y la segunda razón es para disminuir el tiempo de atención a pequeñas fallas, al aumentar la información en la estación le brinda al operador la oportunidad de atender la solución de manera más segura por la información en sitio, por lo que se medirá el porcentaje de estaciones con información actualizada y estandarizada. El indicador esta dado por:

$$\%Inf = \frac{\textit{Número total de estaciones} - \textit{Número de estaciones con información}}{\textit{Número total de estaciones}} * 100$$

C) Perspectiva de procesos internos

Para determinar la efectividad del mantenimiento, se recomienda la aplicación del indicador tiempo medio entre reparación, este indicador establece el tiempo promedio que tarda la dirección en rehabilitar los equipos y poner en funcionamiento, este indicador entre menor sea indica que la atención de las fallas se da de manera rápida y oportuna, por supuesto es responsabilidad de los encargados de mantenimiento velar por la calidad de los trabajos y que se realicen a la mayor velocidad posible. Este indicador se medirá cada dos meses. Este indicador está dado por:

$$TMPR = \frac{\textit{Tiempo total de las estaciones en falla}}{\textit{Número de fallas}}$$

Para el objetivo 2 y medir los retrabajos se hará por medio de las ordenes de trabajo, ya que a la hora de que exista un retrabajo, la orden de trabajo debe ser reactiva para terminar el trabajo, este indicador tendrá una frecuencia de medición de 2 meses, por lo que el indicador estará dado por:

$$OT_{RA} = \text{Número de OT's reactivadas}$$

D) Perspectiva de innovación y aprendizaje

Para el objetivo 1, se intenta medir el interés de la dirección en aumentar el conocimiento del personal por medio de capacitaciones. Las capacitaciones no necesariamente pueden ser extensas, pueden ser con contenido cortos pero provechosos para técnicos, operadores y funcionarios administrativos de la dirección, por lo que el indicador será el número de capacitaciones y tendrá una frecuencia de medición de seis meses. Este indicador está dado por:

$$N_{CA} = \text{Número de capacitaciones}$$

Para el objetivo 2, es complicado tener un indicador para la motivación, por lo que se torna necesario aplicar una encuesta para medir el grado de motivación del personal. Se efectuó una encuesta basada en los pilares expuestos en la teoría de Herzberg, quien establece los siguientes pilares: condiciones de trabajo, salarios y beneficios, compañeros de trabajo, reconocimiento e interés del trabajo. La encuesta se muestra en el anexo 3, la encuesta es pequeña y rápida de hacer para que sea un instrumento fácil de realizar. Esta encuesta e indicador será realizada una vez al año, y el indicador estará dado por:

$$M_o = \frac{\text{Suma de las calificaciones de la encuesta de motivación}}{\text{Número de encuestados}}$$

Tabla 27. Indicadores propuestos por objetivos

Perspectiva	Objetivos	Indicadores
Financiera	Reducir en un 10% el número de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM en un periodo de un año.	$N_{CC} = \text{Número de cajas chicas}$
	Optimizar las compras de equipos de respaldo o stock, generando una disminución de un 5% del stock de equipos.	$\%C = \frac{\text{Costo de compra del periodo anterior} - \text{Costo de compra del periodo actual}}{\text{Costo de compra del periodo anterior}} * 100$
Cliente	Aumentar la disponibilidad total anual en un 5% en las estaciones de bombeo.	$Disp = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo en falla}}{\text{Tiempo total}} * 100$
	Establecer un estándar de información mínima en las estaciones de bombeo con la consigna de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores y disminuir tiempos de atención a pequeñas fallas por parte de los operadores.	$\%Inf = \frac{\text{Número total de estaciones} - \text{Número de estaciones con información}}{\text{Número total de estaciones}} * 100$
Procesos internos	Reducir en un 5% los tiempos de atención y solución de averías en equipos.	$TMPR = \frac{\text{Tiempo total de las estaciones en falla}}{\text{Número de fallas}}$
	Reducir los retrabajos en un 5% mediante la mejora de la planificación de trabajos con ordenes de trabajo.	$OT_{RA} = \text{Número de OT's reactivadas}$
Innovación y aprendizaje	Aumentar el conocimiento de los técnicos y operadores por medio de capacitaciones de las estaciones de bombeo, sus estructuras y funcionamiento.	$N_{CA} = \text{Número de capacitaciones}$
	Aumentar la motivación de los colaboradores mediante el aumento en la participación de la gestión del mantenimiento.	$Mo = \frac{\text{Suma de las calificaciones de la encuesta de motivación}}{\text{Número de encuestados}}$

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

2.1.1.1. Codificación de los indicadores

El otorgarles un código a los indicadores hace que su manejo sea más fácil, también evita confusiones a la hora de realizarlos. Para realizar esta codificación se hará uso de las perspectivas, la siguiente tabla muestra la codificación:

Tabla 28. Codificación de los indicadores

Perspectiva	Codificación	Indicadores
Financiera	F1	N_{CC} = Número de cajas chicas
	F2	$\%C = \frac{\text{Costo de compra del periodo anterior} - \text{Costo de compra del periodo actual}}{\text{Costo de compra del periodo anterior}} * 100$
Cliente	C1	$Disp = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo en falla}}{\text{Tiempo total}} * 100$
	C2	$\%Inf = \frac{\text{Número total de estaciones} - \text{Número de estaciones con información}}{\text{Número total de estaciones}} * 100$
Procesos internos	PI1	$TMPR = \frac{\text{Tiempo total de las estaciones en falla}}{\text{Número de fallas}}$
	PI2	OT_{RA} = Número de OT's reactivadas
Innovación y aprendizaje	IA1	N_{CA} = Número de capacitaciones
	IA2	$Mo = \frac{\text{Suma de las calificaciones de la encuesta de motivación}}{\text{Número de encuestados}}$

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

2.1.1.1. Cuadro de mando integral

Con toda la información anterior se hace la estructuración del cuadro de mando integral.

Tabla 29. Cuadro de mando integral perspectivas financiera y cliente

Perspectiva	Objetivos	Indicador	Descripción	Fuente de información	Código	Indicadores	Unidades	Frecuencia	Responsable	Metas		
										Alto	Medio	Bajo
Financiera	Reducir en un 10% el número de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM en un periodo de un año.	Número de cajas chicas	Mide la cantidad de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Encargado de los procesos financieros de la Dirección	F1	$N_{cc} = \text{Número de cajas chicas}$	Unidad	Mensual	Gestor de mantenimiento	3	2	1
	Optimizar las compras de equipos de respaldo o stock, generando una disminución de un 5% del stock de equipos.	Gestión de compra de equipos	Hace una comparación entre las compras de equipos del periodo anterior con el actual, para determinar la disminución de stock	Encargado de los procesos financieros de la Dirección	F2	$\%C = \frac{\text{Costo de compra del periodo anterior} - \text{Costo de compra del periodo actual}}{\text{Costo de compra del periodo anterior}} * 100$	Porcentaje	Anual	Gestor de mantenimiento	>5%	>1% y <5%	<1%
Cliente	Aumentar la disponibilidad total anual en un 5% en las estaciones de bombeo.	Disponibilidad	Mide el periodo de funcionamiento de una estación de bombeo, nos indica el porcentaje de continuidad en el servicio de impulsión y distribución del agua potable.	Gestor de mantenimiento	C1	$Disp = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo en falla}}{\text{Tiempo total}} * 100$	Porcentaje	Mensual	Gestor de mantenimiento	>98%	<98% y >97%	<97%
	Establecer un estándar de información mínima en las estaciones de bombeo con la consigna de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores y disminuir tiempos de atención a pequeñas fallas por parte de los	Número de estaciones sin información	Establece la cantidad porcentual de las estaciones de bombeo sin información estandarizada.	Encargada de procedimientos de la Dirección.	C2	$\%Inf = \frac{\text{Número total de estaciones} - \text{Número de estaciones con información}}{\text{Número total de estaciones}} * 100$	Porcentaje	Semestral	Gestor de mantenimiento	<50%	>50% y <70%	>70%

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Tabla 30. Cuadro de mando integral perspectivas procesos internos e innovación y aprendizaje

Procesos internos	Reducir en un 5% los tiempos de atención y solución de averías en equipos.	Tiempo medio para reparar	Establece la efectividad en la atención de fallas, mediante el tiempo promedio para la atención de una falla.	Ordenes de trabajo	PI1	$TMPR = \frac{\text{Tiempo total de las estaciones en falla}}{\text{Número de fallas}}$	Horas	Bimestral	Gestor de mantenimiento	Bajo <72 Horas	Medio >72 y <168 Horas	Alto >168
	Reducir los retrabajos en un 5% mediante la mejora de la planificación de trabajos con ordenes de trabajo.	Número de retrabajos	Mide la cantidad de retrabajos realizados por los departamentos técnicos de la Dirección.	Ordenes de trabajo	PI2	$OT_{RA} = \text{Número de OT's reactivadas}$	Unidad	Bimestral	Gestor de mantenimiento	Bajo <3	Medio >3 y <8	Alto >8
Innovación y aprendizaje	Aumentar el conocimiento de los técnicos y operadores por medio de capacitaciones de las estaciones de bombeo, sus estructuras y funcionamiento.	Número de capacitaciones	Establece la cantidad de capacitaciones realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Director de Sistemas de Bombeo y Coordinador de Mantenimiento	IA1	$N_{CA} = \text{Número de capacitaciones}$	Unidad	Bimestral	Gestor de mantenimiento	Alto >2	Medio <2 y >0	Bajo 0
	Aumentar la motivación de los colaboradores mediante el aumento en la participación de la gestión del mantenimiento.	Motivación del personal	Establece el nivel promedio de motivación que existe en el personal de la Dirección.	Encuesta de motivación de personal	IA2	$M_o = \frac{\text{Suma de las calificaciones de la encuesta de motivación}}{\text{Número de encuestados}}$	Unidad	Anual	Gestor de mantenimiento	Alto >16	Medio <16 y >8	Bajo <8

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Tabla 31. Cuadro de mando integral

Perspectiva	Objetivos	Indicador	Descripción	Fuente de información	Código	Indicadores	Unidades	Frecuencia	Responsable	Metas		
										Alto	Medio	Bajo
Financiera	Reducir en un 10% el número de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM en un periodo de un año.	Número de cajas chicas	Mide la cantidad de cajas chicas realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Encargado de los procesos financieros de la Dirección	F1	$N_{CC} = \text{Número de cajas chicas}$	Unidad	Mensual	Gestor de mantenimiento	3	2	1
	Optimizar las compras de equipos de respaldo o stock, generando una disminución de un 5% del stock de equipos.	Gestión de compra de equipos	Hace una comparación entre las compras de equipos del periodo anterior con el actual, para determinar la disminución de stock	Encargado de los procesos financieros de la Dirección	F2	$\%C = \frac{\text{Costo de compra del periodo anterior} - \text{Costo de compra del periodo actual}}{\text{Costo de compra del periodo anterior}} \times 100$	Porcentaje	Anual	Gestor de mantenimiento	>5%	>1% y <5%	<1%
Cliente	Aumentar la disponibilidad total anual en un 5% en las estaciones de bombeo.	Disponibilidad	Mide el periodo de funcionamiento de una estación de bombeo, nos indica el porcentaje de continuidad en el servicio de impulsión y distribución del agua potable.	Gestor de mantenimiento	C1	$Disp = \frac{\text{Tiempo total} - \text{Tiempo en falla}}{\text{Tiempo total}} \times 100$	Porcentaje	Mensual	Gestor de mantenimiento	>98%	<98% y >97%	<97%
	Establecer un estándar de información mínima en las estaciones de bombeo con la consigna de mejorar la seguridad laboral de los colaboradores y disminuir tiempos de atención a pequeñas fallas por parte de los	Número de estaciones sin información	Establece la cantidad porcentual de las estaciones de bombeo sin información estandarizada.	Encargada de procedimientos de la Dirección.	C2	$\%Inf = \frac{\text{Número total de estaciones} - \text{Número de estaciones con información}}{\text{Número total de estaciones}} \times 100$	Porcentaje	Semestral	Gestor de mantenimiento	<50%	>50% y <70%	>70%
Procesos internos	Reducir en un 5% los tiempos de atención y solución de averías en equipos.	Tiempo medio para reparar	Establece la efectividad en la atención de fallas, mediante el tiempo promedio para la atención de una falla.	Órdenes de trabajo	PI1	$TMPR = \frac{\text{Tiempo total de las estaciones en falla}}{\text{Número de fallas}}$	Horas	Bimestral	Gestor de mantenimiento	<72 Horas	>72 y <168 Horas	>168
	Reducir los retrabajos en un 5% mediante la mejora de la planificación de trabajos con ordenes de trabajo.	Número de retrabajos	Mide la cantidad de retrabajos realizados por los departamentos técnicos de la Dirección.	Órdenes de trabajo	PI2	$OT_{RA} = \text{Número de OT's reactivadas}$	Unidad	Bimestral	Gestor de mantenimiento	<3	>3 y <8	>8
Innovación y aprendizaje	Aumentar el conocimiento de los técnicos y operadores por medio de capacitaciones de las estaciones de bombeo, sus estructuras y funcionamiento.	Número de capacitaciones	Establece la cantidad de capacitaciones realizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Director de Sistemas de Bombeo y Coordinador de Mantenimiento	IA1	$N_{CA} = \text{Número de capacitaciones}$	Unidad	Bimestral	Gestor de mantenimiento	>2	<2 y >0	0
	Aumentar la motivación de los colaboradores mediante el aumento en la participación de la gestión del mantenimiento.	Motivación del personal	Establece el nivel promedio de motivación que existe en el personal de la Dirección.	Encuesta de motivación de personal	IA2	$M_o = \frac{\text{Suma de las calificaciones de la encuesta de motivación}}{\text{Número de encuestados}}$	Unidad	Anual	Gestor de mantenimiento	>16	<16 y >8	<8

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

3. Propuesta de introducción del modelo gestión

En las organizaciones siempre se da una resistencia al cambio, lo que dificulta la incorporación de nuevos mecanismos de gestión. Si la introducción del modelo se realiza de manera de impuesta es muy probable que sea rechazada por el personal y su futuro se torna incierto; por ese motivo es importante que la dirección encuentre una estrategia para que el modelo sea aceptado dentro de la labor diaria de los funcionarios.

DISEÑO FUNCIONAL GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

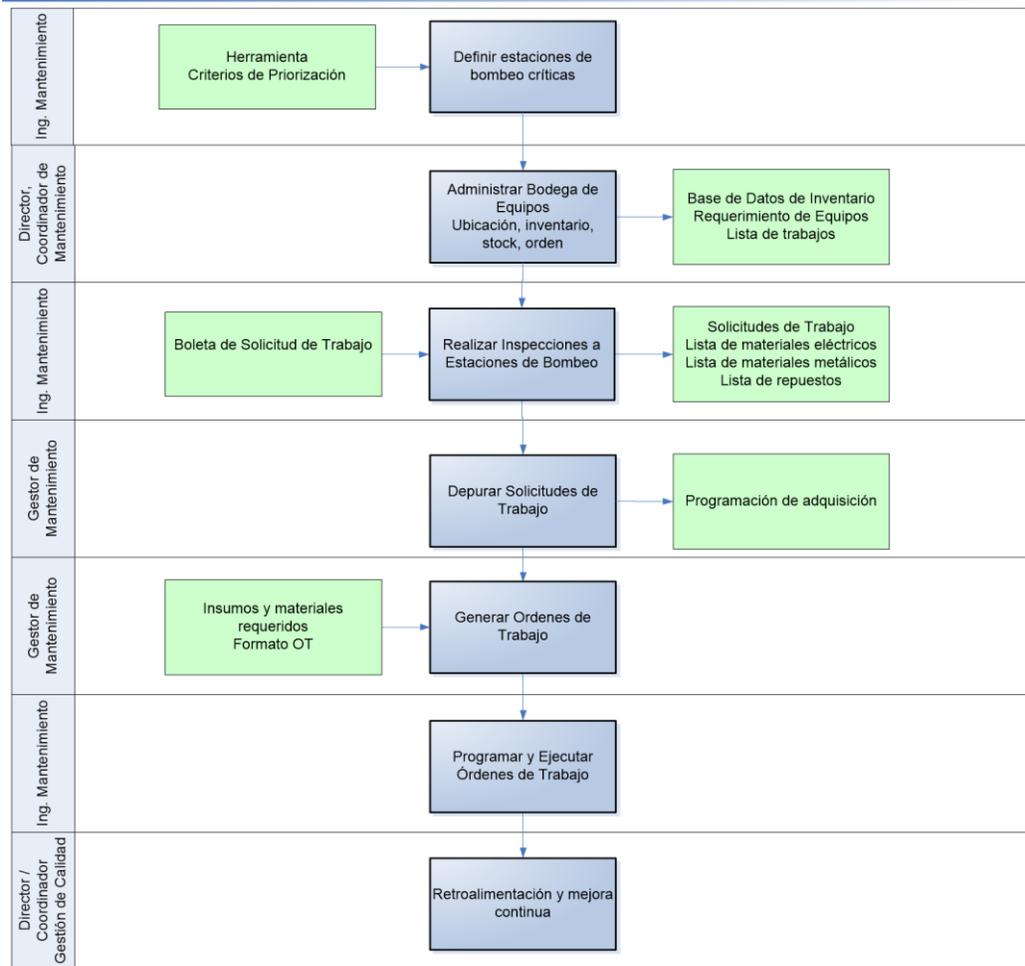


Ilustración 22. Diseño funcional de la gestión de mantenimiento

Fuente: Elaborado por la Ing. Carol Rodríguez, Ingeniera de gestión de calidad, Microsoft Visio

Como se puede observar en la ilustración 22, cuenta con siete etapas con sus respectivos encargados y responsables.

- En la etapa 1 se encuentra la elaboración de una herramienta de priorización de estaciones de bombeo y su evaluación, en esta etapa se define los criterios de criticidad de importancia para el buen funcionamiento de los sistemas.
- La etapa 2 hace referencia al mantenimiento, reorganización y levantamiento de la bodega de equipos, esto debido a lo expuesto anteriormente de que la bodega representa la “estación de bombeo más crítica” debido a que esta cuenta con la mayor cantidad de activos de la dirección.
- La etapa 3 se realizan el diseño de las boletas de inspecciones, la realización de estas donde salen las solicitudes de trabajo.
- En la etapa 4 se hace una depuración de las solicitudes y se realizan una mejor gestión de los materiales, repuestos y equipos.
- En la etapa 5 se generan las ordenes de trabajo una vez ya adquiridos los insumos necesarios para la realización de las tareas.
- En la etapa 6 se da la programación y ejecución de las ordenes de trabajo.
- La última etapa se debe establecer un sistema de retroalimentación para que la gestión mejore de manera continua y con ello el servicio brindado por la dirección de sistemas de bombeo.

Como se puede observar esta propuesta resulta ser muy parecida al modelo diseñado, ya que la intención es ir colocando la idea del modelo de manera paulatina y sencilla; para ir generando la costumbre y facilitando la introducción del modelo de gestión definitivo.

4. Ejemplo de aplicación del modelo

En el mes de julio, el pozo CNP-6 viene presentando bajo aislamiento, por eso el director junto con el gestor de mantenimiento deciden hacer uso del modelo de gestión de predicción de fallas, selección de equipos, pruebas de los equipos y gestionar todo lo relevante ante una posible falla de dicho pozo. Debido al costo y dificultad de reparación de motores sumergibles, resulta mejor esperar un fallo del equipo a intervenirlo antes.

Cuando se da una extracción de equipos de un pozo solo hay 2 factores que se ven afectados con el tiempo que se tarde en dicha extracción, uno es el factor de personal involucrado, ya que para dicha tarea es necesario al menos 5 personas en un pozo de estas características; el otro factor es la producción que sería la cantidad de producción que el A y A deja vender a los afiliados de la institución.

En la siguiente tabla se establecen los costos asociados a dichos factores:

Tabla 32. Costos asociados a una rehabilitación del pozo CNP-6 con y sin gestión de mantenimiento

Estudio de costos de caso CNP-6						
Personal						
Factores	Salario mensual	Salario por hora	Sin utilizar el modelo		Con el modelo propuesto	
			Horas	Costo	Horas	Costo
3 técnicos especialistas	₺ 430.850,00	₺ 579,10	24	₺ 41.695,16	8	₺ 13.898,39
2 jefes técnicos	₺ 472.850,00	₺ 635,55	24	₺ 30.506,45	8	₺ 10.168,82
1 ingeniero	₺ 961.450,00	₺ 1.292,27	24	₺ 31.014,52	8	₺ 10.338,17
Producción						
Factores	Caudal (m3/h)	Tarifa del m3 de agua	Sin utilizar el modelo		Con el modelo propuesto	
			Horas	Costo	Horas	Costo
Pérdida de producción	291,6	₺ 331,00	56	₺ 5.405.097,60	8	₺ 772.156,80

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

Los datos de salarios fueron tomados del corte de salarios del segundo semestre del 2018 y los datos de producción de caudales y horas fuera de funcionamiento se establecieron con los datos de la Dirección de Sistemas de Bombeo GAM y la tarifa del metro cubico se consultó con datos de la ARESEP suponiendo la tarifa más baja de ₺331 por metro cúbico.

Los datos de atención de fallas sin la utilización de un modelo de gestión de mantenimiento se establecieron según la experiencia del Ing. Luis Roberto Solis, quien es el encargado del área en la que se encuentra dicho pozo y también es el coordinador de mantenimiento de las 4 áreas de la Dirección.

Si se realiza una comparación de los costos totales obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 33. Comparación de costos con y sin modelo de gestión de mantenimiento

Comparación de costos		
Costos	Sin utilizar el modelo	Con el modelo propuesto
Personal	₡ 103.216,13	₡ 34.405,38
Producción	₡ 5.405.097,60	₡ 772.156,80
Total	₡ 5.508.313,73	₡ 806.562,18

Fuente: Elaboración propia, Microsoft Excel

$$\% \text{ Ahorro} = \left(\frac{5.508.313,73 - 806.562,18}{5.508.313,73} \right) * 100$$

$$\% \text{ Ahorro} = 85,36\%$$

Como se puede observar, al hacer una comparación entre los costos sin y con un modelo se puede observar, que si se realizar lo previsto en el modelo establecido en este proyecto, como un estudio de variable, predicción de fallas, selección de equipos de manera anticipada, planificación de pruebas con antelación, entre otras medidas, se obtuvo un ahorro de un 76% en la rehabilitación de dicho pozo.

Hay que hacer una salvedad el modelo como tal no propone acciones nuevas para la dirección, sino que lo que hace es un manejo diferente del conocimiento y una estructuración para el manejo de este, que organiza de una mejor manera la gestión realizada.

5. Conclusiones y recomendaciones

6.2. Conclusiones

- 1) Se realizó la auditoría MES lo que permitió visualizar que la Dirección está en el rango de una gestión de mantenimiento aceptable.
- 2) Se diseñó un modelo de gestión de mantenimiento basado en la gestión de conocimiento, adaptado a las características y recursos de la Dirección de Sistemas de Bombeo.
- 3) Se estableció una herramienta para la evaluación de las estaciones de bombeo, utilizando de importancia para la dirección y apoyados en teorías establecidas.
- 4) Se diseñó un sistema para cálculo de compra de equipos, tomando en cuenta factores pasados y futuros, el cual establece un sistema basado en datos y no en la experiencia, lo que permite tener compras más orientadas a las necesidades verdaderas de la Dirección.
- 5) Se realizó una base de datos, empleando Microsoft Access para el manejo del inventario en la bodega.
- 6) Se estableció un sistema, ágil y rápido, para el manejo de información importante de la dirección, utilizando los recursos disponibles como la plataforma de correo electrónico, lo cual se está aprovechando de mejor manera.
- 7) Se construyó un cuadro de mando integral, en él se contemplan los objetivos, con información relevante para una toma de decisiones acertadas.

6.3. Recomendaciones

- 1) Implementar el modelo de gestión que se diseñó para la Dirección, teniendo presente que el cambio no será fácil y rápido, dado la resistencia al cambio que suele aparecer en las organizaciones.
- 2) Implantar la evaluación de la criticidad de las estaciones como primera herramienta para la planificación de los trabajos, según la época del año y las estaciones más críticas.
- 3) Organizar y mejorar los equipos que se encuentren en bodega, así como la estructura de esta; es de gran importancia el buen estado de esta, ya que representa la estación más crítica por contener la mayor cantidad de equipos.
- 4) Adoptar el criterio técnico de compra diseñado para la dirección con el fin de realizar compras más específicas y basadas en las necesidades reales de la dirección.
- 5) Establecer el sistema de inspecciones propuesto, este se estructuró con los mismos criterios de la criticidad, con el fin de visualizar tareas que disminuyan la criticidad de las estaciones.
- 6) Darle seguimiento al cuadro de mando integral para que se establezca un medio de mejora continua y brinde información veraz y oportuna.
- 7) Sentar de manera clara las responsabilidades dentro de la Dirección para asegurar una continuación de las herramientas sugeridas.

7. Referencia bibliográfica

- A y A. (2016). *Política nacional de agua potable de Costa Rica, 2017-2030*. Costa Rica: AyA.
- Amendola, L. (2012). *Organización y gestión del mantenimiento: mantenimiento como negocio "balanced scorecard"*. España: PMM Institute for Learning.
- Banco Interamericano de desarrollo. (2011). *Evaluación para sistemas de bombeo de agua*. Washington, D.C: BID.
- Cárcel, F. J. (2014). *Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento*. Valencia, España: OmniaScience.
- Carro, R., & González, D. (2010). *Gestión de stocks*. Mar del Plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Centro Europeo de Empresas e innovación. (2010). *Plan estratégico e implantación del cuadro de mando integral*. España: Centro Europeo de Empresas e Innovación.
- Choque, E., & Ardaya, B. (2008). *Guía para la operación, mantenimiento y buen uso de sistemas de dotación de agua por bombeo*. La Paz, Bolivia: Elva Pacheco.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Tlalpan, México: Comisión Nacional del Agua.
- Emerson Motor Technologies. (2007). *Installation, Operation and Maintenance*. Emerson Motor Technologies.
- Franklin Electric. (2015). *Manual AIM Motores Sumergibles*. Franklin Electric.
- Fusko, M., Rakyta, M., Krajcovic, M., Dulina, L., Gaso, M., & Grzmar, P. (2018). Basics of designing maintenance processes in industry 4.0. *MM Science Journal*, 2252-2259.
- Galvis, J. (2001). *Mapas de conocimiento como una herramienta de apoyo para la gestión del conocimiento*. Bogotá, Colombia: CINTEL.
- Gobierno de Costa Rica. (1953). *Ley General de Agua Potable*. Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- Grupo WEG. (2016). *Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia PWM*. Brasil: Grupo WEG.
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.

- Hitachi. (1993). *Hitachi Submersible Motors*. Japón: Hitachi.
- Ing. Emerson Campos. (1 de Agosto de 2018). Administración y aspectos técnicos de sistemas de bombeo. (A. García, Entrevistador)
- Ing. Luis Roberto Solis . (1 de Setiembre de 2018). Aspectos técnicos de mantenimiento de sistemas de bombeo. (A. García, Entrevistador)
- Marshall Institute. (1999). *Maintenance effectiveness survey*. Marshall Institute.
- Martínez, Y., & Huguet, R. (2010). Estaciones de bombeo: Evolución y futuro. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 53-56.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima, Peru: OPS.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos*. España: Ingeman.
- Parra, C., & Crespo, A. (2017). *Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad*. España: Ingeman.
- Pedroche, J. E. (2012). *El cuadro de mando integral aplicado al mantenimiento*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Pérez, A. (2006). Auditoría del conocimiento en las organizaciones. *Revista Universidad de Sonora*, 25-28.
- ProPymes. (2014). *Programa: Gestión del mantenimiento*. ProPymes.
- Reino, C. I. (2014). *Propuesta de un modelo de gestión de inventarios, caso Ferreteria Almacenes Fabian Pintado*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Saer Elettropompe. (2006). *Motori sommersi*. Italia: Saer Elettropompe.
- Sáez, C. (1998). Los procedimientos. *Revista de investigación e innovación en la clase de idiomas*, 157-166.
- SIAPA. (2014). Capitulo 12. Sistemas de control y monitoreo. En SIAPA, *Lineamiento técnicos para factibilidades*. Jalisco, México: SIAPA.
- SIAPA. (2014). Capitulo 13. Estaciones de bombeo. En SIAPA, *Lineamientos técnicos para factibilidades*. Jalisco, México: SIAPA.
- Tavares, L. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicaciones.

US Motors. (1985). *Installation and maintenance manual*. Connecticut, U.S.A: US Motors.

Vega , K. V. (2014). *Diseño de una propuesta de gestión de mantenimiento basada en un cuadro de mando integral, para el Departamento de Facilidades para una planta de manufactura de productos médicos*. Cartago, Costa Rica: ITCR.

Vilana, J. R. (2011). *Gestión de stock*. Escuela de organización industrial.

Villamil, J. E. (2010). Importancia de las herramientas administrativas requeridas para la planeación y gestión de las actividades de mantenimiento hospitalario en las instituciones de salud. *Umbral científico, Bogota, Colombia*, 40-46.

8. Anexos

Anexo 1. Auditoria MES

Auditoria Marshall de mantenimiento para el departamento de sistemas de bombeo del A y A					
Estación de bombeo de la Uruca					
Indicaciones					
1 - Este proceso de auditoria debe ser aplicado a todo el personal del departamento de sistemas de bombeo en la Uruca.					
2 - La auditoria debe ser aplicada como minimo a 10 personas.					
3 - La auditoria consta de 60 preguntas distribuidas en 5 áreas distintas.					
4 - La puntuación por pregunta va de 1 al 5 con la siguiente escala:					
1 = No se cuenta					
2 = Deficiente					
3 = Regular					
4 = Bueno					
5 = Excelente					
A continuación se desarrollan las 60 preguntas en total divididas en 5 áreas de interes para el estudio:					
Recursos gerenciales					
Preguntas	1	2	3	4	5
1. ¿Usted cree que el mantenimiento tiene los recursos para realizar su trabajo?			x		
2. ¿La estructura completa del mantenimiento parece ser lógica y favorece al cumplimiento de las actividades de mantenimiento?				x	
3. ¿La organización ayuda a eliminar las barreras que el operario de mantenimiento encuentra en su trabajo y de las cuales no tiene control?		x			
4. ¿La gerencia estimula a mantenimiento a alcanzar las metas de la producción?				x	
5. ¿La gerencia estimula a producción a que ayude a mantenimiento en la realización de sus actividades?			x		
6. ¿Se desarrollan equipos de trabajo (mantenimiento y producción), para resolver tópicos que afectan a ambos departamentos?		x			
7. ¿La gerencia estimula al personal de mantenimiento (mecánicos, eléctricos...) y a los operadores a que trabajen juntos en la resolución de problemas que afectan la disponibilidad de sus procesos?		x			
8. ¿El personal de mantenimiento posee las habilidades necesarias para realizar sus trabajos?			x		
9. ¿Los trabajadores en general han recibido el adiestramiento adecuado en sus áreas de trabajo?		x			
10. ¿La gerencia involucra al personal de mantenimiento en la definición de sus objetivos y metas a cumplir?		x			
11. ¿La gerencia revisa y le hace seguimiento a los objetivos de la planta en reuniones de trabajo con el personal de mantenimiento y operaciones?		x			
12. ¿Los objetivos del mantenimiento están alineados con la visión y misión de la institución?				x	
Puntuación total			33		
Gerencia de la información (Software de gestión del mantenimiento)					
Preguntas	1	2	3	4	5
13. ¿La organización utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Máximo/SAP PM/...)?	x				
14. ¿Está cada componente identificado, codificado y asociado a un sistema dentro de toda la planta?				x	
15. ¿La organización mantiene actualizado el Máximo/SAP PM/...?	x				
16. ¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?	x				
17. ¿La organización mantiene registros precisos de fallas de sus sistemas?				x	
18. ¿Están los inventarios de repuestos dentro del Máximo/SAP PM/...?	x				
19. ¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por él?	x				
20. ¿La organización estima y le hace seguimiento a los costos de mantenimiento?		x			
21. ¿La organización evalúa los tiempos operativos y fuera de servicio?				x	
22. ¿La organización de mantenimiento se compara contra otras organizaciones para medir su desempeño ("benchmarking")?	x				
23. ¿El tiempo de realización del mantenimiento es registrado y evaluado?			x		
24. ¿La gerencia de mantenimiento utiliza algún tipo de medida de comparación (costos de mantenimiento/costos de producción)?				x	
Puntuación total			23		

Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo					
Preguntas	1	2	3	4	5
25. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para actividades de M.P?	x				
26. ¿Se revisan periódicamente los planes de M.P, aumento/descenso, necesidades de adiestramiento, etc?		x			
27. ¿La organización tiene personal de mantenimiento dedicado exclusivamente a realizar actividades de M.P?		x			
28. ¿Los operadores ayudan en las actividades de mantenimiento menor (limpieza, lubricación, ajuste e inspección visual)?				x	
29. ¿La organización utiliza técnicas de mantenimiento predictivo (vibración, análisis de aceite, ultrasonido, etc)?			x		
30. ¿La organización le hace seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?		x			
31. ¿Los grupos de producción y operaciones permiten que el personal de mantenimiento tenga acceso a los equipos en las fechas estimadas de M.P?				x	
32. ¿La organización tiene la cultura de analizar y evitar las fallas repetitivas?				x	
33. ¿Se incluye al personal de mantenimiento y producción en el proceso de evaluación de equipos nuevos?		x			
34. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a operar los equipos nuevos?			x		
35. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a mantener los equipos nuevos?			x		
36. ¿La organización hace seguimiento y evalúa los costos de operación y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de sus activos?	x				
Puntuación total			30		
Planificación y ejecución					
Preguntas	1	2	3	4	5
37. ¿Son priorizadas las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?				x	
38. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para las actividades correctivas?		x			
39. ¿Se le hace seguimiento a la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?			x		
40. ¿La organización controla el sobre tiempo (adicional al planificado)?			x		
41. ¿La organización registra la información obtenida por la ejecución de la actividad de mantenimiento (correctiva/preventiva)?				x	
42. ¿Son los trabajadores de mantenimiento asignados a las distintas labores en función de sus conocimientos y habilidades?				x	
43. ¿Son las actividades correctivas bien planificadas antes de ejecutarse?			x		
44. ¿La organización utiliza planificadores de mantenimiento para preparar el alcance de mantenimiento mayores ("Paradas, revisiones")?				x	
45. ¿La organización utiliza contratistas calificadas para realizar trabajos de mantenimiento (subcontrataciones)?					x
46. ¿La organización participa en la definición de las actividades de trabajo y en la estimación de tiempos de ejecución de los contratistas?					x
47. ¿Se tiene en cuenta el impacto (seguridad, ambiente y producción) que tiene el sistema en el cual se va a ejecutar el mantenimiento?				x	
48. ¿Se define el camino crítico de los mantenimientos mayores y se identifican los repuestos críticos?				x	
Puntuación total			45		
Soporte, calidad y motivación					
Preguntas	1	2	3	4	5
49. ¿Están disponibles los repuestos y materiales a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?			x		
50. ¿Está el almacén de repuestos bien organizado y sus tiempos de respuesta son eficientes?			x		
51. ¿Se controla bien la salida y entrada de repuestos al almacén?					x
52. ¿Se tiene un proceso de cuantificación de stock de repuestos que incluya el criterio del impacto de no tener el repuesto en almacén?				x	
53. ¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?				x	
54. ¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?					x
55. ¿Se tiene un proceso que permita verificar la calidad de las actividades de mantenimiento ejecutadas?		x			
56. ¿Es la calidad en el área de mantenimiento un objetivo importante?					x
57. ¿Tiene la organización un interés real en satisfacer las diferentes necesidades de sus trabajadores?					x
58. ¿El buen desempeño de los trabajadores es bien recompensado dentro de la organización (económico-motivacional)?			x		
59. ¿El personal de mantenimiento está motivado para realizar su trabajo lo mejor posible?					x
60. ¿El personal de mantenimiento sigue las políticas y procedimientos de seguridad?			x		
Puntuación total			47		

Anexo 2. Procedimiento de mediciones

Contenido.....	1
I. OBJETIVO.....	2
II. ALCANCE.....	2
III. TERMINOLOGÍA.....	2
IV. RESPONSABLES	2
V. NORMATIVA APLICABLE.....	2
VI. DESCRIPCIÓN.....	2
VII. Control de registros	5
VIII. Historial de cambios.....	5
IX. Anexos.....	6

OBJETIVO.

Ejecutar y analizar las mediciones eléctricas e hidráulicas de todos los equipos de las estaciones de bombeo

ALCANCE.

Este procedimiento indica cómo se debe realizar y analizar los datos medidos en campo por el personal de mediciones.

TERMINOLOGÍA.

Equipo de Bombeo: Se refiere al conjunto de bomba y/o motor.

DSB: Dirección Sistemas de Bombeo GAM.

AER: Área Electromecánica Regional.

Mediciones Hidráulicas: se refieren a las mediciones establecidas del sistema hidráulico, como presión, caudal y niveles.

Mediciones Eléctricas: se refiere a las mediciones eléctricas que se realizan en las estaciones de bombeo, como: corriente, voltaje, aislamiento de motores, variables eléctricas de potencia y temperatura del sistema de potencia.

Personal de Medición: grupo de funcionarios destacados en la parte electromecánica, dedicados a inspeccionar y ejecutar labores de medición de variables eléctricas e hidráulicas en las estaciones de bombeo.

Estación tipo Pozo: estación de bombeo de captación de agua subterránea.

Estación tipo Bombeo: estación donde se bombea agua por primera vez.

Estación tipo Rebombeo: estación con tanque cisterna donde se bombea agua que ya ha sido bombeada al menos una vez.

Estación tipo Booster: estación de rebombeo en línea.

CCO: Centro de control Operacional AyA.

Base 4: base de operadores de bombeo, instalados físicamente en el Rebombeo La Uruca.

CCM: Centro de Control de Motores.

RESPONSABLES

Responsable	Descripción
Dirección Sistemas de Bombeo GAM	Coordinará y supervisará las mediciones y análisis de variables eléctricas e hidráulicas de los equipos de bombeo.
Área Electromecánica Regional	Coordinará y supervisará las mediciones y análisis de variables eléctricas e hidráulicas de los equipos de bombeo.

NORMATIVA APLICABLE.

DESCRIPCIÓN.

Este procedimiento será ejecutado en la recepción de equipos de bombeo nuevos y reparados.

CUADRO #1.**MEDICIONES Y ANÁLISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRÁULICAS PARA ESTACIONES DE BOMBEO
TIPO POZOS**

N.º	Actividad	Responsable	Unidad	Documentos de Referencia
1	El personal de mediciones debe elaborar las rutas semanales de las estaciones a visitar.	DSB - AER		
2	En caso de encontrar el equipo en operación se debe seguir el procedimiento según se describe a partir del siguiente punto. De encontrar el equipo apagado, se debe informar al Centro de Control, vía radio, para obtener el visto bueno de poner en operación el equipo; se debe dar al menos 30 minutos de tiempo en operación para iniciar las mediciones. En caso de no tener el visto bueno de parte del CCO, se debe reprogramar la visita a la estación correspondiente.	DSB - AER		

3	<p>Mediciones eléctricas con el equipo en operación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las variables eléctricas de voltaje y potencia, en los contactos que salen del interruptor principal del TCE, siguiendo el orden: L1-L2, L1-L3, L2-L3, de izquierda a derecha. 2. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las corrientes en el mismo orden anterior, de izquierda a derecha, en las líneas que salen hacia el motor, en el siguiente orden: L1, L2 y L3. 3. Medir en todas las conexiones del circuito de potencia las temperaturas por fase. Anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor por fase más alto e indicar en que parte del circuito se presenta. 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
4	<p>Mediciones hidráulicas con el equipo en operación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Instalar el medidor de caudal en la tubería de descarga. 2. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de caudal correspondiente a la presión del manómetro de salida. 3. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de nivel dinámico 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
5	<p>Informar al CCO y Base 4 antes de proceder con el apagado del equipo.</p>	DSB - AER		
6	<p>Apagar el equipo y esperar 15 minutos para continuar con las mediciones</p>	DSB - AER		

7	<p>Mediciones eléctricas con el equipo apagado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Una vez que se apaga el equipo y mientras pasan los 15 minutos de espera, se debe bajar el interruptor principal y los interruptores del circuito de control, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de conexión. 2. Transcurridos los 15 minutos de espera se debe medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el aislamiento del motor. 3. Conectar nuevamente los cables de potencia, en el mismo orden que se encontraban. 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
8	<p>Mediciones Hidráulicas con el equipo apagado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el nivel estático a 15 minutos de apagado el equipo. 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
9	Conectar nuevamente los interruptores de control y potencia	DSB - AER		
10	Informar a Base 4 y CCO que se va a poner en operación el pozo	DSB - AER		
11	Encender el equipo y verificar que quede operando normalmente.	DSB - AER		
12	Anotar en las bitácoras correspondientes las actividades ejecutadas en la estación	DSB - AER		
	FIN DEL PROCEDIMIENTO			

CUADRO #2.

**MEDICIONES Y ANÁLISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRÁULICAS PARA ESTACIONES DE BOMBEO
TIPO BOOSTER, BOMBEO Y REBOMBEO**

N.º	Actividad	Responsable	Unidad	Documentos de Referencia
1	El personal de mediciones debe elaborar las rutas semanales de las estaciones a visitar.	DSB - AER		
2	En caso de encontrar el equipo en operación se debe seguir el procedimiento según se describe a partir del punto siguiente; tomar en consideración que debido a que se cuenta con equipo(s) de respaldo en este tipo de estaciones, las mediciones se deben realizar primero a los equipos que se encuentren en operación y posteriormente se ejecuta en los equipos de respaldo.	DSB - AER		
3	<p>Mediciones eléctricas con el equipo en operación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las variables eléctricas de voltaje y potencia, en los contactos que salen del interruptor principal del TCE, siguiendo el orden: L1-L2, L1-L3, L2-L3, de izquierda a derecha. 2. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las corrientes en el mismo orden anterior, de izquierda a derecha, en las líneas que salen hacia el motor, en el siguiente orden: L1, L2 y L3. 3. Medir en todas las conexiones del circuito de potencia las temperaturas por fase. Anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor por fase más alto e indicar en que parte del circuito se presenta. 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)

4	<p>Mediciones hidráulicas con el equipo en operación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Instalar el medidor de caudal en la tubería de descarga. 2. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de caudal correspondiente a la presión del manómetro de salida. 3. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de nivel dinámico 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
5	<p>Antes de proceder con el apagado del equipo, se debe verificar que el equipo de respaldo se encuentre en óptimas condiciones para operar. En caso contrario, se deber informar al CCO y a Base 4.</p>	DSB - AER		
6	<p>Apagar el equipo y esperar 15 minutos para continuar con las mediciones</p>	DSB - AER		
7	<p>Encender el respaldo y esperar al menos 30 minutos para iniciar las mediciones, a partir del punto 2.</p>			
8	<p>Mediciones eléctricas con el equipo apagado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Una vez que se apaga el equipo y mientras pasan los 15 minutos de espera, se debe bajar el interruptor principal y los interruptores del circuito de control, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de conexión. 5. Transcurridos los 15 minutos de espera se debe medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el aislamiento del motor. 6. Conectar nuevamente los cables de potencia, en el mismo orden que se encontraban. 	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)

9	Mediciones Hidráulicas con el equipo apagado. 2. Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el nivel estático a 15 minutos de apagado el equipo.	DSB - AER		RE-01-(ME-PR-07)
10	Conectar nuevamente los interruptores de control y potencia	DSB - AER		
11	Realizar las mediciones en apagado del equipo(s) de respaldo y encender el equipo que estaba operando normalmente.			
12	Repetir el procedimiento de acuerdo con la cantidad de equipos que existen en la estación			
13	Informar a Base 4 y CCO que se va a poner en operación la estación	DSB - AER		
14	Encender el equipo y verificar que quede operando normalmente.	DSB - AER		
15	Anotar en las bitácoras correspondientes las actividades ejecutadas en la estación	DSB - AER		
16	Al finalizar el recorrido en la totalidad de estaciones de bombeo de cada Área, el personal de medición deberá pasar los datos recolectados en el registro de Hoja de Campo RE-01-(ME-PR-07) para medición a las plantillas del REGISTRO DIGITAL RE-02-(ME-PR-07)			RE-01-(ME-PR-07) RE-02-(ME-PR-07)
	FIN DEL PROCEDIMIENTO			

CUADRO #3.**ANÁLISIS DE LOS DATOS DE MEDICIÓN**

N.º	Actividad	Responsable	Unidad	Documentos de Referencia
1	El personal de mediciones debe analizar los datos adquiridos en campo durante la ejecución de las mediciones en cada equipo. Este análisis consiste en evaluar y comparar los resultados adquiridos contra las hojas de registro de mediciones anteriores. En caso de identificar variaciones importantes con relación a las mediciones anteriores, se debe comunicar inmediatamente, vía telefónica y/o correo, al Jefe de Área y a la DSB o AER.	DSB - AER		
2	Ingeniería de la DSB debe analizar los parámetros eléctricos e hidráulicos de cada medición de acuerdo con el registro RE-02-(ME-PR-07). Posteriormente se deberá proceder a identificar las fallas significativas y oportunidades de mejora que sean necesarias para programar los trabajos correspondientes con cada Área electromecánica	DSB - AER		RE-02-(ME-PR-07)
	FIN DEL PROCEDIMIENTO			

Control de registros

Registro	Almacenamiento	Acceso	Tiempo de retención	Disposición final
RE-01-(ME-PR-07)	Carpeta digital compartida	Limitado	Indefinido	Historial
RE-02-(ME-PR-07)	Carpeta digital compartida	Limitado	Indefinido	Historial

Historial de cambios

Versión	Justificación de los Cambios	Descripción de los cambios

Anexos

Anexo 3. Encuesta de motivación

Encuesta de motivación					
Preguntas	Evaluación				
	1	2	3	4	5
1- Las condiciones laborales son las idóneas para la realización de sus tareas					
2- La institución de brinda un salario y beneficios económicos competitivos					
3- La relación laboral con sus compañeros de trabajo es buena					
4- La dirección realiza un reconocimiento verbal por la buena realización de su trabajo					
5- Que tan motivado se siente en su lugar de trabajo					

Evaluación	
Muy malo	1
Malo	2
Medio	3
Bueno	4
Muy bueno	5

Anexo 4. Base de datos de inventario

Bodega DSB	
<input type="checkbox"/>	Motores
<input type="checkbox"/>	Bombas
<input type="checkbox"/>	Motobombas
<input type="checkbox"/>	Variadores
<input type="checkbox"/>	Transformadores
<input type="checkbox"/>	Cable
<input type="checkbox"/>	Válvulas y accesorios
<input type="checkbox"/>	Tuberías



Ingreso/salida de Motores

Estado	Usado	N°Pedido	
Tipo de motor	Sumergibles	Adjudicado a	
Criticidad	Bajo	Fecha de ingreso	
Marca	Franklin Electric	Observaciones	Activo: 81254
Potencia (HP)	3		
Modelo	2343162604		
N° Serie	09A18-13-0626		
Ubicación	BG		
Voltaje (V)	230/3/60		
RPM	3450		
Diametro/Frame	4		
Sirve en			
Precio	00		
N°Licitacion			
N° Material			

Eliminar registro





Motores usados

Estado	Usado	Ubicación	BG
Tipo de motor	Sumergibles	Sirve en	
Criticidad	Bajo	Precio	00
Marca	Franklin Electric	N°Licitacion	
Potencia (HP)	3	N° Material	
Modelo	2343162604	N°Pedido	
N° Serie	09A18-13-0626	Adjudicado a	
Voltaje (V)	230/3/60	Fecha de ingreso	
RPM	3450	Observaciones	Activo: 81254
Diametro/Frame	4		

Informe



Motores usados

Imprimir
informes

Cerrar

Tipo de motor	Marca	(HP)	Modelo	N° Serie	Ubicación	Voltaje (V)	RPM	Diametro/Fram	Sirve en	Fecha de ing	Observaciones
Sumergibles	Franklin E	3	2343162604	10E14-27-1250	BG	230/3/60	3450	4			Acoplado a bomba 18GS30
Sumergibles	Franklin E	3	2343162604	09A18-13-0626	BG	230/3/60	3450	4			Activo: 81254
Sumergibles	Franklin E	5	2243038304	2K98-20-0685	BG	230/1/60	3450	4			Activo: 62694
Sumergibles	Franklin E	7.5	2261119020	220022	BG	230/1/60	3450	6			Activo: 81200 Reparado por Roller Fonseca 2008 Prueba de bombeo 19/12/2016 Devuelta en bodega 20/12/2016

miércoles 24 de octubre de 2018

Página 1 de 1

Variadores

Variadores nuevos

Variadores usados

Ingreso/salida de variadores



Ingreso/salida de variadores

Descripción	Variador 7.5 CNERGY con gabinete	Precio	₡0.00
Cantidad	1	Proveedor	
Potencia (HP)	8	Fecha de ingreso	
Amperaje (A)	40	Observaciones	40 A 10 HP 3 PH 230
Marca	Siemens		
Modelo			
N°Serie	1*		
Ubicación	Bodega Guadalupe		
Estado	Nuevo		
Sirve en	Las catalinas, Castilla		
N° Licitación			
N° Pedido			
N° Material			



Eliminar registro  

Variadores nuevos

[Imprimir informe](#)
[Cerrar](#)

Descripción	Cantidad	(HP)	Amperaje (A)	Marca	Modelo	N°Serie	Ubicación	Sirve en	Proveedor	Fecha de ingreso	Observaciones
1 x CCM x 2 x 100	1	100	178			4*	Transitor	Bombeo El Curio			480 V
1 x CCM x 3 x 250	1	250	297			6*	Transitor	CNP 3-4-9			480 V
Variador 200 HP S	10	200	294	Siesa		3*	Bodega C	Repuest o de los W'S			480 V
Variador 7.5 CNEF	1	8	40	Siemens		1*	Bodega C	Las catalinas , Castilla			40 A 10 HP 3 PH 230
Variador ITT 230 V	1	20	55	ITT	PUMPSMART	2144703025	Bodega C	Loma real	ZEBOL		
Variador ITT 230 V	1	20	55	ITT	PUMPSMART	2144703045	Bodega C	Loma real	ZEBOL		
Variador ITT 230/:	1	3	27	ITT	PUMPSMART	2174401531	Bodega C	San Jeronim o			7,5 HP 3 PH - 230 V
Variador ITT 230/:	1	5	34	ITT	PUMPSMART	2174401542	Bodega C	Las catalinas , Castilla			10 HP 3 PH 230 V
Variador WEG 300	1	300	515	WEG	NACFW110515	1017018939	Bodega C	Banco de pruebas o pozo la Uruca	CETRANS/	01/12/2016	400 HP- 480 V

miércoles 24 de octubre de 2018

Página 1 de 1