

Implementación de técnicas de mantenimiento basado en condición para el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.

Nicolás Mateo Rojas Gutiérrez

ID. 000295064

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

Febrero 2021

Implementación de técnicas de mantenimiento basado en condición para el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.

Nicolás Mateo Rojas Gutiérrez

ID. 000295064

Trabajo de grado en la modalidad de práctica profesional presentado como requisito para optar por el título

de:

Ingeniero Mecánico

Director del Proyecto

Edwin Jesús Córdoba Tuta

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

Tabla de contenido

Introducción	8
Justificación del programa realizado.....	10
Objetivos.....	12
Contextualización de la institución	13
Referente Conceptual.....	15
Metodología.....	19
Resultados	28
Conclusiones.....	39
Sugerencias y recomendaciones	40
Referencias	41
Anexos.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Logo Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.	13
Ilustración 2. Tiempo parada de máquina	18
Ilustración 3 GUIA 4: IMPLANTACIÓN DE RCM3 ® + SOFTWARE RCM3...	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipo análisis RCM.....	28
Tabla 2. Criticidad bombeo de Bosconia.....	29
Tabla 3. Especificación de motores por unidad	30
Tabla 4. Hoja de información	31
Tabla 5. Hoja de decisión.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de mantenimiento 2020.....	44
Anexo 2. Software NEPTUNO.....	46
Anexo 3. Orden de trabajo	48
Anexo 4. Esquema unidad de bombeo.....	49
Anexo 5. Línea de impulsión	50
Anexo 6. Niveles de tanques.....	51
Anexo 7. Tablero de compresores.....	52

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Implementación de técnicas de mantenimiento basado en condición para el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. ESP.

AUTOR(ES): Nicolás Mateo Rojas Gutiérrez

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Edwin Jesus Cordoba Tuta

RESUMEN

El proyecto realizado en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A ESP. Tuvo como objetivo realizar un análisis detallado y estructurado acerca del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a los equipos electromecánicos de la planta de tratamiento de Bosconia, dicho proceso fue realizado a los equipos de Cloración y Bombeo, siendo este el plan piloto para evaluar y garantizar el mejoramiento de las condiciones no solo de seguridad, sino también del medio ambiente y operativas dentro de la organización. Este procedimiento, tuvo como enfoque las 7 preguntas del proceso RCM, especificando las funciones, fallas, modos y efectos consignados en la hoja de información RCM; para así evaluar las fallas presentadas y asignar las tareas de mantenimiento optimas y correctas las cuales fueron consignadas en la hoja de decisión RCM, cumpliendo con la norma SAE JA 1011. Con el programa, se buscó por medio de una metodología de gestión del mantenimiento garantizar el cumplimiento de las funciones de los activos, buscando un mejor desempeño económico y aprovechamiento en cuanto al recurso humano con el que actualmente está conformado la empresa.

PALABRAS CLAVE:

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, falla potencial, falla funcional.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Implementation of condition-based maintenance techniques for strengthening maintenance management in the Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A ESP.

AUTHOR(S): Nicolás Mateo Rojas Gutiérrez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Edwin Jesus Cordoba Tuta

ABSTRACT

The project carried out in the Metropolitan Aqueduct of Bucaramanga S.A ESP. The objective was to carry out a detailed and structured analysis of the Maintenance Focused on Reliability (RCM) to the electromechanical equipment of the Bosconia treatment plant, said process was carried out to the Chlorination and Pumping equipment, this being the pilot plan to evaluate and ensure the improvement of the conditions not only of safety, but also of the environment and operations within the organization. This procedure focused on the 7 questions of the RCM process, specifying the functions, failures, modes and effects recorded in the RCM information sheet; in order to evaluate the failures presented and assign the optimal and correct maintenance tasks which were recorded in the RCM decision sheet, complying with SAE JA 1011. With the program, it was sought through a maintenance management methodology to ensure the fulfillment of the functions of the assets, seeking a better economic performance and use in terms of the human resource with which the company is currently formed.

KEYWORDS:

Maintenance Focused on Reliability, potential failure, functional failure

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P a través del tiempo de ha destacado por ser una empresa que brinda servicios óptimos y de alta calidad, siendo distinguida de las demás organizaciones como un modelo líder de prestación de servicios públicos. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, esta empresa diariamente se involucra en procesos de mejoramiento continuo con el fin de superar y/o mantener su nivel de excelencia. El área de Mantenimiento Mecánico, Eléctrico y Electrónico es una de las áreas mayormente comprometidas con dicho objetivo, ya que su impacto frente al desempeño laboral de la empresa es alto.

Este proyecto se realizó con el fin de aportar positivamente al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P a continuar con el cumplimiento de uno de sus objetivos organizacionales. En este proceso el control, la dirección y la supervisión de las diversas actividades y labores que se llevan a cabo en la empresa por parte del área de mantenimiento fue uno de los principales pasos para poder dar inicio a la creación de la propuesta. Con base a lo anterior, se decidió proceder con la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en los equipos del área de mantenimiento electromecánico y así, seguir con la ejecución las propuestas para fortalecer la gestión de mantenimiento con las nuevas técnicas.

El mantenimiento RCM, se centra en lograr la máxima confiabilidad de los equipos sin superar la brindada por parte de los diseñadores (Barros y Valencia y Vargas, 2014). Así mismo, el comportamiento de cada componente será variable dependiendo de la combinación de modos de falla, ya que cada entorno de trabajo es diferente por lo que tanto su temperatura,

presión y mantenimiento no son iguales para cada uno.

Con base a lo anteriormente expuesto, se realizó una revisión exhaustiva del plan de mantenimiento que se estaba ejecutando en la organización, analizando las funciones y estándares de funcionamiento de cada uno de los elementos. Para la implementación del RCM, se debió identificar en cuales de los equipos pertenecientes de la planta de permitía la aplicación de la revisión RCM. Los equipos que se incluyeron en este proceso fueron los de bombeo de Bosconia.

Implementar la técnica RCM ayuda a identificar los modos de falla y los equipos con mayor incidencia, para así poder tomar acciones proactivas, debido a que su objetivo es mitigar y reducir costos en mantenimiento garantizando que el activo continúe con el cumplimiento de la función por varios años.

Justificación

Se propone desarrollar este proyecto en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P., para brindar estrategias de mantenimiento equilibradas con el fin de reducir los costos y preservar el tiempo de utilidad de los equipos utilizados en la organización por un tiempo significativo, teniendo como base que, no realizar mantenimiento requiere de una inversión altamente considerable, pero realizarla en exceso también es muy costoso (Montilla y Silva, 2007).

Implementar la técnica RCM facilita la determinación del rendimiento del sistema en términos de impacto de fallas y así mismo, la moderación de los resultados mediante diseños, detecciones y los mantenimientos efectivos (Wheeler, 2007).

El RCM, ha sido definido como un proceso para mantener y mejorar tanto la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos, controlando el costo de los mantenimientos reduciendo la cantidad que se requiere, utilizando una combinación de diferentes técnicas y/o herramientas que facilitan el análisis de riesgo, por medio de las hojas de decisión que se construyen por medio del análisis de riesgos y tareas de mantenimiento (Backlund y Akersten, 2003).

En el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P se ha evidenciado el desgaste económico por la falta de un programa de mantenimiento preventivo, ya que la vida útil de los equipos en la mayoría de los casos no ha cumplido las expectativas de las planificaciones de compra de estas mismas. Los programas de mantenimiento en esta organización, se realizan dependiendo del estado crítico actual de cada una de las herramientas utilizadas teniendo como consecuencia arreglos económicamente elevados o en el peor de los casos, la pérdida total del

equipo ya que dejan de funcionar adecuadamente.

El alcance del proyecto es que por medio de la técnica RCM, se pueda garantizar que los equipos efectivamente cumplan las funciones para las cuales fueron diseñados, asegurando un mejor aprovechamiento de los recursos asignados para el mantenimiento. Así mismo, previniendo daños de los equipos de alto impacto negativo o incluso que situaciones similares sean casi que ausentes frente al desarrollo de actividades de la organización.

Así mismo, este programa desea generar impacto a nivel metodológico, pues de esta forma la empresa tendrá planes de mejoramiento en cuanto al área de mantenimiento aportando a su objetivo organizacional, el cual es seguir liderando el sector de los servicios públicos destacándose debido a la calidad que brindan a sus clientes.

Objetivos

Objetivo general: Fortalecer e implementar las técnicas de mantenimiento basados en condición y técnicas de mantenimiento por confiabilidad (RCM) eficientes de la gestión en procesos de mantenimiento en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P.

Objetivos específicos:

- Investigar técnicas en mantenimiento basado en condición (CBM) para los procesos, evaluando los resultados de captación de agua y saneamiento en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.
- Analizar y actualizar las bases de datos en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. para identificar las debilidades en los procesos de mantenimientos ejecutados para fortalecerlas por medio de las nuevas técnicas establecidas en el programa.
- Realizar un estudio de mercados para ver la viabilidad de la implementación de las nuevas técnicas de mantenimiento basados en condición y fortalecer las técnicas de mantenimiento por confiabilidad (RCM) en equipos críticos en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.

Contextualización de la institución

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. es una empresa de servicios públicos domiciliarios de acueducto y saneamiento básico de nacionalidad colombiana que integran el área Metropolitana de Bucaramanga y demás municipios a los cuales brinda los diferentes servicios por parte de esta organización, y, en general, en cualquier lugar del país o del exterior, que, por vía contractual, se convenga en esta gestión, de carácter mixto, estructurada bajo el esquema de sociedad anónima.



Ilustración 1

Fuente: tomado de página web: <http://www.amb.com.co:8081/inicio/>

Su objetivo empresarial es brindar a la comunidad el servicio de agua distinguido por su calidad y además, la venta de energía en la medida en que su infraestructura genere este producto, prestar servicios de asesoría y asistencia de carácter técnico, operativo, comercial, administrativo e institucional a sistemas de acueducto y saneamiento básico, ser participe como socio de otras empresas de servicios públicos, asociarse con personas ya sean de Colombia o de otros países, formar consorcios, convenios, alianzas o cualquier tipo de asociación que la Ley permita.

El Acueducto se encuentra regulado por la ley 142 de 1994, por las disposiciones que la sustituyan, modifiquen o reglamenten; por los estatutos del Acueducto y por las normas del Código de Comercio en lo pertinente a las sociedades anónimas.

Su sede principal se encuentra ubicada en la Diagonal 32 N° 30ª-51 Parque del Agua de la ciudad de Bucaramanga, Santander.

La misión de la organización es prestar con calidad y continuidad, el servicio de acueducto en el área de influencia, gestionando de manera integral el agua para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de sus grupos de interés.

En cuanto a la visión, es destacarse por la gestión integral de agua potable, alcantarillado y residuos sólidos con alcance regional, orientado al desarrollo sostenible del amb en armonía con sus partes interesadas.

Para Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. las diferentes relaciones que maneja esta distinguida organización con sus grupos de interés se basa en la transparencia y la confianza, promoviendo e incitando los valores de responsabilidad, respeto e integridad, los cuales son representados en el trabajo dedicado para conseguir los objetivos empresariales, la aceptación de la diversidad de pensamiento e ideas en un ambiente de mutua cordialidad, dando un trato amable y digno entre las personas y consolidando la coherencia entre el deber ser y nuestro actuar en el ámbito empresarial.

Referente conceptual

Toda actividad o tarea realizada sobre los elementos de máquina antes o después de una falla, se denomina mantenimiento (Deshpande y Moodak, 2002). El nivel de productividad de las organizaciones es correlacionado con los planes adecuados de mantenimiento.

El mantenimiento operativo actualmente no solo se está superando día a día sino que también está rompiendo las barreras que no permitían su avance en el pasado, en la actualidad, las empresas ya se programan y se visionan para optimizar sus recursos evitando el desgaste por falta de planificación del área de mantenimiento. Para los empresarios, no es un secreto que esta área es una de las que más demanda inversión y procesos de compra de máquinas de alto costo y variabilidad de funciones, debido a esta problemática que se presenta con alta frecuencia se han creado diferentes técnicas de mantenimiento preventivo, entre esas el RCM.

A través del tiempo, el RCM se ha considerado como uno de los procesos más importantes para la creación y determinación de los programas de mantenimiento de máquinas operativas, permitiendo determinar y asignar cada una de las tareas, garantizando que el equipo cumpla las funciones asignadas, teniendo como alcance la mayor ejecución de actividades de mantenimiento, cuidando y aprovechando los recursos no solo económicos sino también el recurso humano, optimizando así el desarrollo de actividades frente al programa de mantenimiento, previniendo resultados fatales y evitando afectar evidentemente del desempeño y la productividad de la organización.

Teniendo en cuenta lo anterior, el RCP se define como “una herramienta que permite

determinar el rendimiento del sistema y la mitigación de los resultados” (Wheeler, 2007). De igual forma, Smith y Henchcliffe (2004) define el RCM como un procedimiento metodológico general para mantener algún activo físico, tal como estructuras y/o conductores. La fundamentación de esta definición se basa en el hecho de que todo activo es puesto en funcionamiento debido a que la expectativa que se tiene sobre este es que cumpla con la función o las funciones que le fueron asignadas o por las que estos fueron específicamente diseñados.

El RCM es una metodología de análisis, sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial, de alta utilidad que permite el desarrollo y optimización de los recursos de mantenimiento, utilizando la técnica preventiva (Palencia, 2015).

Con base a todas las definiciones anteriormente descritas, es importante resaltar que los autores coinciden con que el RCM es una de las técnicas que ha causado mayor impacto positivo no solo para la optimización de los recursos de las organizaciones, sino que también para elevar o mantener la productividad de estas mismas, y que de igual forma la calidad de los servicios prestados por las organizaciones se distingan por su alta calidad de resultados.

De acuerdo con John Moubray (2004), el RCM es un proceso que se ha utilizado en el transcurso del tiempo para determinar las acciones que se deben tomar para asegurar que cualquier equipo continúe haciendo lo que los usuarios y/o clientes quieren que haga en su contexto operacional actual. Este proceso ha sido utilizado en una cantidad considerable de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metalmecánica, etc. La norma SAE JA 1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un

proceso RCM.

Según la SAE JA 1011 (1999) existen 7 preguntas básicas del proceso, las cuales son: ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?, ¿En qué manera falla en satisfacer dichas funciones?, ¿Cuál sería la causa de cada falla funcional?, ¿Qué ocurre cuando ocurre cada falla?, ¿En cuál sentido es importante cada falla?, ¿Qué se puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?, ¿Qué se debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

La implementación de los programas RCM han demostrado evidencias positivas en las diferentes empresas que se manejan maquinarias operativas. Sin embargo, para que su implementación sea exitosa cada empresa debe realizar una profunda revisión de sus planes actuales de mercadeo y negocio (Fleming, 2006)

Según (Mora, 2008) para aplicar un proceso que permita determinar la tarea que se debe realizar para que un equipo continúe haciendo aquello que los clientes quieren que haga en su contexto operacional, se deben realizar dos cosas, primero, se debe identificar qué es lo que los clientes desean que realice para así poder determinar si el activo se encuentra en la capacidad de cumplir con los requerimientos, por lo que es fundamental tener conocimiento de la capacidad inicial. Es importante tener presente que existen máquinas que manejan diferentes variables en el proceso, si es necesario cuantificar el estándar múltiple o se puede enunciar cualitativamente, si es algo absoluto o variable, definiendo los límites superiores o inferiores de funcionamiento. Segundo, se debe entender el contexto operacional del activo, para comprenderlo es necesario tener en cuenta diferentes aspectos, tipo de proceso, si es un activo de servicio o de apoyo, los estándares de calidad, medio ambientales y de seguridad, los repuestos necesarios de acuerdo a la demanda y el abastecimiento de materias primas.

Así mismo, Viveros y Stegmaier y Kristjanpoller (2013) mencionan que existen dos categorías en la que los clientes esperan que los equipos cumplan sus funciones, las primarias son el por qué fue adquirido el equipo e involucra aspectos como velocidad, producción, capacidad de almacenamiento o carga, calidad de producto y servicio al cliente y las funciones secundarias, son las que reconocen que se espera de cada activo además de sus funciones primarias e involucra aspectos como integridad ambiental, seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta apariencia del activo.

El mantenimiento RCM, según August (2004) se concibe básicamente como un proceso de continuo mejoramiento, por lo que toda tarea y/o procedimiento que se vaya a realizar debe estar en constante revisión para así poder obtener información clara y completa de cada uno de los equipos operativos que sean utilizados en los diferentes procesos que ejecuta la organización. Esto no solo permite tener un mayor control, sino que también garantiza una documentación veraz y verídica, haciendo más fácil el trabajo. Todo lo anteriormente dicho, lleva a definir el RCM como un proceso utilizado para identificar qué se debe hacer para poder brindar seguridad que cualquier activo físico continúe cumpliendo su función en su contexto operacional actual.



Ilustración 2

Fuente: MOUBRAY, John. Reliability-centred Maintenance (RCM). 2004.

Metodología

Equipos intervenidos

Las cuatro unidades de bombeo pertenecientes a la planta de Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. incluyendo la tubería de impulsión.

Instrumentos

Para la realización de este proyecto se utilizaron los siguientes instrumentos: sensores de vibraciones, los cuales sirven para registrar la aceleración, velocidad o el desplazamiento; sensores de nivel, son transmisores de presión especiales para la medición del nivel hidrostático en tanques y pozos; sensores de temperatura, son componentes eléctricos y electrónicos que permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada; termografía, es una técnica que permite determinar temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar.

Procedimiento

Como primera medida, se inició con el conocimiento del plan de mantenimiento establecido por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. donde se especifica el mantenimiento predictivo a los equipos pertenecientes a esta organización, con base a este documento, se comenzó a generar las ordenes de trabajo de acuerdo con el cronograma de mantenimiento del año 2020 (Anexo 1), dichas ordenes se generan masivas y filtradas por sección y ubicación de los equipos. De igual forma, se hizo uso del software NEPTUNO (Anexo 2), el cual permite determinar la orden escrita por el operador, esta información se

carga al sistema para así poder dar cierre y continuar con la descarga de materiales del mantenimiento realizado. Este proceso principalmente permite mantener control sobre todos los procesos evitando pausas y/o atrasos en la operación.

Así mismo, se continuo con la solicitud de las especificaciones técnicas y hojas de vida de los equipos, en el momento de tener dichos documentos, se evaluó la criticidad de estos equipos en el bombeo de la planta de Bosconia, también se realizó una investigación de métodos de mantenimiento eficientes, con el fin de poder implementar las estrategias de mantenimiento centrado en confiabilidad en los equipos de mayo criticidad.

1. Generación de solicitudes de mantenimiento

El primer paso de este proyecto fue tener conocimiento acerca del software de mantenimiento para generar órdenes de trabajo para ejecutarlas y cargarlas nuevamente a la plataforma, de acuerdo con el cronograma de mantenimiento preventivo del 2020. Las solicitudes son ejecutadas por los operadores del área de mantenimiento los cuales tienen asignados sus equipos y funciones. Realizando el mantenimiento correspondiente, esta orden es revisada por el operador de turno de la planta para recibir la orden ejecutada, Posteriormente a esto, la orden (Anexo 3) se carga en el sistema para anotar las tareas que se realizaron sus respectivas observaciones, además de esto se tiene un control de tiempo de ejecución de la orden por parte de los operadores, con el fin de descargar el stock de cada cuadrilla de los materiales usados.

2. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Teniendo conocimiento de todos los procedimientos, funciones y cronograma de mantenimiento se procedió con la creación del mantenimiento centrado en confiabilidad, para el registro de la planta se identificaron los equipos que fueron sometidos al proceso de revisión

con la experiencia de los operadores y mecánicos, así mismo, se realizó un estudio detallado de los equipos con mayor criticidad. Es importante mencionar que los equipos que se evaluaron no se les pudo realizar un análisis de tasa de fallo, ya que nunca se aplican los mantenimientos correctivos, por lo que se optó en una revisión exhaustiva de los mantenimientos preventivos realizados y las técnicas que usan los mecánicos pertenecientes a la planta para así poder dar continuidad al planeamiento del RCM.

Generalmente, con cualquier modelo de gestión de mantenimiento, se busca la manera de incrementar la disponibilidad de los activos con costo aceptables dentro de la organización, teniendo en cuenta que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. De acuerdo con las preguntas básicas del proceso, se centrará inicialmente en la relación entre las organizaciones y los activos físicos que la componen.

Se identificó el sistema de bombeo de Bosconia con sus respectivos sistemas, subsistemas, equipos y componentes de cada activo, también se identificó las funciones clasificándolas por prioridad, teniendo en cuenta las posibles fallas y los modos de fallas, de acuerdo con la teoría se clasifican las fallas ocultas y evidentes del mismo modo que las fallas potenciales. Por otra parte, se evaluó las consecuencias de las fallas teniendo en cuenta la seguridad de los operadores y técnicos del bombeo, además, de los riesgos ambientales como consecuencia de las fallas. Con base a lo anterior, se seleccionaron las actividades de mantenimiento de acuerdo a las acciones que se debían tomar sobre el activo, cuando se realizó dicha implementación sobre el activo se asignaron unos recursos y equipo de trabajo necesarios para la ejecución.

3. Contexto operacional del bombeo de Bosconia

La planta de Bosconia se encarga de tratar y bombear el agua captada en el río Surata para distribuirla en el Área metropolitana de Bucaramanga, en este proceso se tuvo como foco la sección del bombeo, ya que es la que mayor impacto económico tiene en cuanto al consumo

energético y gastos de mantenimiento.

Los componentes del sistema son las unidades de bombeo (motor y bomba), sistema de refrigeración, sistema de lubricación, unidad de llenado, tuberías, tanques de succión y descarga, sistema de protección contra el golpe de ariete (hidroneumáticos y almenara), tableros de control y subestación eléctrica para la transformación de energía. La estación de bombeo está compuesta por cuatro unidades de bombeo que son las encargadas de bombear el agua tratada en la planta de Bosconia, hacia los tanques de distribución de Estadio y Morrórico, que se encuentran a una distancia aproximada de 350 m y 380 m respectivamente. Las unidades tienen una capacidad de 667 L/s y la tubería de impulsión alcanza 2000 L/s en caso de que entraran tres unidades en conjunto a bombear el agua tratada. En la ilustración 12 se puede observar un esquema de una unidad de bombeo (Anexo 4).

En el contexto operacional es importante tener en cuenta la línea de impulsión (Anexo 5) del sistema, la línea cuenta con tuberías de succión, descarga e impulsión. La tubería de succión de cada bomba está conformada por una tubería corta de acero de diámetro 900mm, en la cual se encuentra instalada una válvula de guarda del tipo mariposa de diámetro 900mm. Esta válvula permanece abierta durante la operación normal de la bomba y sólo se cierra para operaciones especiales de mantenimiento. Las bombas descargan su caudal a una tubería de 600 mm de diámetro en acero al carbón.

Las cuatro bombas SULZER descargan a un colector construido en acero y con diámetros de 600mm, 800 mm, 1000 mm. Este colector entrega a la tubería de impulsión, la cual tiene una longitud aproximada de 3306, distribuidos en dos tramos. El tramo inicial corresponde al tramo de alta presión con una longitud de 1614m, 1000 mm de diámetro, hecho en acero al carbón y espesor de lámina que va desde 16 mm hasta 8 mm. A final de este primer tramo, se conecta una almenara. El tramo final lo conforman una tubería tipo CCP (American Pipe), el cual

corresponde al tramo de baja presión y se encuentra en el sector de la meseta de Bucaramanga, comprendido entre la almenara (predios del Batallón Caldas) y el tanque de Morrорico. Tiene una longitud de 1692 m y un diámetro interior de 42 pulgadas.

La operación de las unidades de bombeo depende de los niveles de los tanques (Anexo 6) de almacenamiento de agua de Bosconia, estadio y Morrорico, así como del nivel de los tanques hidroneumáticos.

Una vez garantizadas las condiciones necesarias (nivel del tanque de succión y condiciones fisicoquímicas del agua) se procedió a encender la unidad, para esto es necesario seguir el instructivo para garantizar que el arranque del bombeo sea correcto.

El cual consiste en dirigirse al sistema de compresores y verificar que en el voltímetro del tablero TC-TABLERO DE COMPRESORES (Anexo 7) exista tensión (sólo se debe operar si el rango de la tensión es de 440 V+/-1%) y gire la perilla de la acometida en sentido horario. Verificar que el mando de los compresores se encuentre en automático y que cada uno de este en posición específica (principal – 1ª reserva – 2ª reserva). El nivel del compresor (Anexo 8) no debe estar ni demasiado alto (LSHHH), ni demasiado bajo (LSLLL), de lo contrario la unidad de bombeo no debe arrancarse. Posteriormente, dirigirse a las **Bombas de Refrigeración** y tomar las lecturas de pre –operación, teniendo en cuenta la ubicación de equipos descrita en el Figura N° 2. Coloque la perilla en marcha de la unidad que va a encender (P4 o P5) y registre en el F ME 706-008. (Parámetros Mecánicos para Unidades de Bombeo) los siguientes datos:

- Tome la lectura de la presión impulsión (3 [Kg/m²] mínimo).
- Tome la lectura de caudal de Agua. (30% [L/min] mínimo).

Diríjase a la **Central de Lubricación**, localizada en la parte posterior del motor de la unidad a encender y diligencie el formato F ME 706-008. (Parámetros Mecánicos), teniendo en cuenta la ubicación de equipos descrita en el Figura N° 2. Tome los siguientes datos:

- La temperatura del depósito del aceite (máximo 40°C)

- El nivel de aceite (50% mínimo).

En el lado posterior del tablero de control, suba la perrilla de la corriente alterna y la de corriente continua. Seleccione la bomba disponible (No.1 ó No.2) y pulse el botón de marcha. Verifique las alarmas de daños en el tablero, ya que si alguna está presente no encenderá la bomba. Tome las siguientes lecturas:

- Presión de aceite de la salida de la bomba (mínimo 2.5 bar).

- Presión de aceite de la salida del intercambiador (mínimo 1.5 bar).

- Presión de aceite a la entrada de la Bomba – Motor (2.0 Kg/cm² mínimo).

- Presión de agua a la entrada del Intercambiador (1.5 bar mínimo).

- Temperatura (T°) de aceite a la salida del intercambiador (45 °C > T>15 °C).

- Temperatura del agua de salida del intercambiador.

Diríjase al conjunto **Bomba /Motor** y tome las siguientes lecturas:

- Presión de agua en la Succión (0.3 Kg/cm² mínimo).

- Presión de agua en la Impulsión mínimo 30 Kg/cm²).

- Caudal de aceite de la bomba lado acoplado (30 % [L/min] mínimo).

- Caudal de aceite de la bomba lado libre (30 % [L/min] mínimo).

- Caudal de aceite de la bomba lado axial (30 % [L/min] mínimo).

- Temperatura de aceite del cojinete lado libre de la bomba (50 °C máximo).

- Temperatura de aceite del cojinete lado acoplado de la bomba (55 °C máximo).

- Temperatura del metal de la bomba (40 °C máximo).

- Temperatura de aire motor, en cualquiera de los dos puntos existentes, en el motor o en el tablero de control (55 °C máximo).

- Temperatura de agua salida del intercambiador del motor (30 °C máximo).

- Temperatura de aceite del cojinete del motor lado acople (55 °C máximo).

- Temperatura de aceite del cojinete del motor lado libre (50 °C máximo).

Una vez tomadas las lecturas, desaire la bomba principal y la parte superior de la válvula hidráulica, verifique que la válvula hidráulica esté cerrada y que el fin de carrera se encuentre cerrado. El mando debe estar en posición automática y el nivel del aceite hidráulico debe estar dentro de los límites establecidos.

Diríjase a los tableros ubicados en la sala de control y diligencie el F ME 706-009; en el tablero de la subestación. Tome la lectura de la tensión de entrada de línea VRS (tensión fase R-S), VST (tensión fase S-T), VTR (tensión fase T-R). El rango de tensión debe estar en 115kv +/-6%. En el tablero de la acometida que está trabajando, tome lectura de la tensión de entrada del motor y el factor de potencia (mínimo 4.16kv +/- 100%). En el tablero de la unidad que se va a encender, tome lecturas de:

- Temperatura de arrollamientos de fase del motor (fase A, fase B, fase C) (125 °C máximo) para unidades 1,2, y 3, la unidad 4 es hasta 155°C porque es de clase H.

Diligencie el F ME 706-008 para las siguientes lecturas:

- Temperatura del metal del cojinete del motor lado acople (75 °C máximo).

- Temperatura del metal del cojinete del motor lado libre (60 °C máximo).

- Temperatura del metal del cojinete de la bomba lado acople (60 °C máximo).

- Temperatura del metal del cojinete de la bomba lado libre (55 °C máximo).

- Temperatura del metal del cojinete de la bomba lado axial (50 °C máximo).

Verifique en el panel de alarmas de daños (en el cuarto de control), si alguna está encendida, si es así proceda a investigar y corregir el posible daño. (**Nota:** antes de arrancar verificar que no debe estar ninguna alarma encendida).

Realice el enclavamiento mecánico y eléctrico, accionando los relés de desbloqueo

respectivos.

En el tablero acople (TS-06), verificar que el pulsador de “restauro” ha sido accionado. Proceda a dar arranque a la bomba, girando en sentido horario la perilla de arranque o parada.

Nota: Debe tenerse en cuenta que la secuencia de entrada y salida de los carros, se realice de la siguiente manera:

- Se energizan los interruptores de media tensión C y A y en un tiempo máximo de 12s.
- El interruptor C debe estar por fuera de servicio e inmediatamente el interruptor B entra en operación.
- Si el paso anterior no se cumple, el operador de bombeo inmediatamente debe pulsar el botón de PARADA DE EMERGENCIA y reportar la falla.
- Si el arranque es exitoso, se debe tomar lectura cada hora de tensión, corriente, potencias activa y reactiva, factor de potencia y vibraciones para proceder a registrarlos en los formatos (F ME 706-009. Parámetros Eléctricos Unidades de Bombeo y F ME 706-010. Registro de Vibraciones).

El operador de bombeo deberá diligenciar además los siguientes formatos al final del día (12pm) o parada del bombeo:

- F ME 706-011. Control de arranque unidades de bombeo Bosconia.
- F ME 706-012. Control de agua bombeada Bosconia (m³).
- F ME 706-013. Control de Energía bombeo Bosconia (kW-h).
- F ME 706-015. Control horas de bombeo.

Nota: Si el arranque no es posible, no se debe intentar de nuevo porque solo se permiten 2 arranques al tercero se bloquea por 30 minutos y solo se podrá realizar previa autorización del superior inmediato.

Procedimiento de Parada: basta accionar el selector de la bomba a la posición de Parada

Normal, la válvula de control se cierra y el motor para automáticamente. Parar las centrales de aceite y de refrigeración.

El sistema está compuesto por 4 unidades de bombeo, estas unidades tienen 2 subsistemas, el subsistema hidráulico, y el subsistema eléctrico. Además, se incluyó el subsistema neumático que lo componen los compresores que se encargan de alimentar los tanques hidroneumáticos que entrarían en el tercer nivel de jerarquía junto con la tubería de impulsión.

El conjunto de personal a cargo del bombeo está conformado por Ingenieros, técnicos de mantenimiento y operadores. Cada uno cumple unas funciones específicas. Los técnicos son los encargados de mantener los equipos en óptimas condiciones, ejecutando el plan de mantenimiento en las fechas programadas para cada equipo, en la implementación del RCM se busca fortalecer e implementar nuevas técnicas. El grupo está conformado por Luis Orlando Salcedo Díaz y Ayasid Vega encargados de todo el mantenimiento mecánico del bombeo ellos cumplen con toda la capacitación necesaria para ejecutar los mantenimientos de estos equipos. Por otra parte, Andrés Espinosa es el técnico electricista el cual tiene a cargo todos los mantenimientos eléctricos de la planta de Bosconia, Andrés ejecuta también el Rol de operador en un 10% puesto que releva a los operadores en casos de incapacidades, vacaciones, descansos, licencias. El grupo de operadores cumple con los 3 turnos diarios ya que el bombeo funciona las 24 horas del día y los 365 días del año, tiene asignados 3 turnos de la siguiente manera: 7:00 am a 3:00 pm - 3:00 pm a 11:00 pm -11:00 pm a 7:00 am

Resultados

Tabla 1. Equipo análisis de RCM.

Facilitador	Nicolás Mateo Rojas Gutiérrez
Supervisor de Ingeniería	Ing. Jolman Lozano Pico
Técnicos de mantenimiento	Luis Orlando Salcedo Diaz (Mecánico)
	Ayasid Vega (Mecánico)
	Andres Espinosa (Electricista)
Supervisor de Operación	Ing. Jairo Fabián Jaimes
Operadores	Hugo Jose Dallos Suarez, Jose Eraldo Leal Plata, Alberto Arciniegas Samiento

Para iniciar con el procedimiento anteriormente mencionado, se determinó el equipo de operación de la planta para implementar el RCM del bombeo, para así poder facilitar la asignación de tareas y mantenimientos. Es importante mencionar que este grupo se conformó por personal competente, teniendo entre ellos: ingenieros y técnicos que cuentan con la formación pertinente en el funcionamiento de la planta.

Tabla 2. Criticidad bombeo de Bosconia.

PLANTA BOSCONIA		
ESTACION DE BOMBEO		
CODIGO	EQUIPO	CRITICIDAD
BOBM – M1	MOTOR UNIDAD N° 1	26
BOBM – M2	MOTOR UNIDAD N° 2	26
BOBM – M3	MOTOR UNIDAD N° 3	26
BOBM – M4	MOTOR UNIDAD N° 4	26
BOBM-D1	BOMBA PRINCIPAL 1	26
BOBM-D2	BOMBA PRINCIPAL 2	26
BOBM-D3	BOMBA PRINCIPAL 3	26
BOBM-D4	BOMBA PRINCIPAL 4	26
BOBM-D5	BOMBA PRELLENADO	26
BOBM-MONYCON	SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	32
BOBM-Z3	COMPRESOR 3	26
BOBM-Z4	COMPRESOR 4	26
BOBM-Z5	COMPRESOR 5	26
BOMB-BATC	BATERÍAS ESTACIONARIAS	27
BOMB-CARB1	CARGADOR BATERÍAS 1	25
BOMB-CARB2	CARGADOR BATERÍAS 2	25
SE-CT1	TRANSF. CORRIENTE 1	30
SE-CT2	TRANSF. CORRIENTE 2	30
SE-MALLA	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	34
SE-PARL	PARARAYOS DE 115 KV	30
SE-PATIO	BARRAJES Y PATIO DE S/E KV	33
SE-PT	TRANSF. POTENCIAL S/E	34
SE-SECC2	SECCIONADOR TRAF0 2	26
SE-SECCL	SECCIONADOR LÍNEA	36
SE-SF61	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 1	32
SE-SF62	DISYUNTORES DE POTENCIA TRAF0 2	32
SE-TP1	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 1	32
SE-TP2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 2	32
TCSU	TABLERO CONTROL SUBESTACIÓN	26
TCSU1	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 1	26
TCSU2	TABLERO CONTROL SUBES. TRAF0 2	26

Con base a unos estudios realizados en el Acueducto, se pudo evidenciar un análisis detallado de los equipos más críticos, esto se encuentra en las bases de datos del A.M.B. S.A. E.S.P desde el 2010, durante el transcurso de la práctica se pudieron realizar algunos ajustes y técnicas de mantenimiento de acuerdo con la instrumentación que ha ido adquiriendo la empresa en los últimos años, de acuerdo con lo planteado por el facilitador. Gracias a los análisis de los equipos su pudo obtener la siguiente información:

Cabe resaltar que se pudieron destacar algunos cambios significativos en los motores de las unidades, los cuales han sido reemplazados en los últimos años por motores de mejor eficiencia, esto implica algunos cambios en las especificaciones de los motores, a continuación, dejamos las especificaciones más importantes de los motores por N° de unidad.

Tabla 3. Especificaciones técnicas motores por unidad.

MOTOR UNIDAD 1	Motor eléctrico marca SIEMENS de 5100 Kw, 4 polos, 60 Hz, 4160 V, 809.9 A, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo FALH 160. Intercambiador de calor de aire.
MOTOR UNIDAD 2	Motor eléctrico marca WEG LINEA M- MODELO MGF 630 DE 3730 Kw, 4 polos, 60 Hz, 4160 V, 593 A, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo FALH 160. Intercambiador de calor de aire
MOTOR UNIDAD 3	Motor eléctrico marca WEG LINEA M- MODELO MGF 630 DE 3730 Kw, 4 polos, 60 Hz, 4160 V, 593 A, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo FALH 160. Intercambiador de calor de aire.
MOTOR UNIDAD 4	Motor eléctrico marca TIBB (ABB) tipo QWS630Kb4 de 3780 Kw, 60 Hz, 4160 V, 597 A, acoplado directamente a la bomba por medio del acoplamiento tipo FALH 160. Intercambiador de calor de agua-aire.

Siguiendo con el desarrollo del análisis del RCM, se analiza la unidad de llenado del bombeo de Bosconia, la cual cumple la función de llenar la tubería de impulsión cuando se hacen labores de mantenimiento en las unidades de bombeo, este proceso de llenado dura aproximadamente 7 horas y se usa para proteger la planta del golpe de ariete. Este equipo es importante cuando hay parada de planta y se realizan mantenimiento de gran magnitud en el la planta.

Tabla 4. Hoja de información-Unidad de llenado-Hidráulico.

F MM 706 - 020		DEPARTAMENTO DE OPERACIONES HOJA DE INFORMACION RCM				REV.: 0
		Sistema		Facilitador		Hoja N°1
		UNIDAD DE LLENADO		Ing.NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ		1
		Subsistema		Auditor		de
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO		3
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFEECTO DE LA FALLA
1	Bompear agua a un flujo minimo de 252m3/h hasta una altura manometrica de 380 m.	A	No bombea agua	1	Impulsores bloqueados por un objeto	Un objeto extraño produce una sobrecarga en el motor, el sistema se detiene y no suministra agua al proceso. Esto problema llenar la tubería de impulsión para la entrada de las unidades de bombeo.
				2	Valvula anular cerrada	La valvula de anular se encuentra sobre la tubería de impulsión, si pongo en marcha la unidad de llenado, los rodamientos del motor van a subir su temperatura produciendome una sobrecarga, deteniendome el motor, esta falla no me permite llevar la tubería de impulsión.
				3	Valvula de compuerta manual cerrada	La valvula de descarga solo se utiliza cuando se esta interviniendo el sistema de suministro de agua, me causa una sobre carga en los rodamientos que apoyan el rotor del motor, esto no, permite empezar con el proceso de llenado.
				4	Valvula de control manual cerrada	La valvula de control manual cerrada, me causa una sobrecarga en el rotor, por esta falla puedo retrasar mi proceso de llenado.
				5	Valvula de control manual con embolo	La valvula cerrada me puede causar sobrecalentamiento en el motor por que no permite el paso de caudal, esto me retrasa el sistema de llenado de la tubería de impulsión.

(Continuación) Tabla 4. Hoja de información-Unidad de llenado-Hidráulico.

F MM 706 - 020		DEPARTAMENTO DE OPERACIONES HOJA DE INFORMACION RCM				REV.: 0
		Sistema		Facilitador		Hoja N°1
		UNIDAD DE LLENADO		Ing.NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ		2
		Subsistema		Auditor		de
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO		3
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA
1	(Continuación)Bombear agua a un flujo mínimo de 252 m3/h hasta una altura manometrica de 380m	B	(Continuación)No bombea agua	6	Cojinetes del eje de la bomba desgastados	Aumentan las vibraciones en la bomba, con esta falla aumenta el reido y el motor trabaja con sobre carga, me causa perdida de potencia en el sistema.
				7	Eje fatigado	Este sistema entra a funcionar cuando tenemos parada de planta, una de las causas es que el eje se fatiga ya que toda la carga siempre esta en el mismo punto de los rodamientos
				8	Cuñas desgatadas del eje de la bomba	Esta falla no deja transmitir la potencia requerida por la bomba, el fluido pierde energia hidraulica, esto me retrasa el proceso de llenado.
				9	Acomple de la bomba mal montado	Un mal montaje, me va a causar vibraciones que me pueden provocar una fractura en la estructura de la bomba.
				10	Falla en el sistema electrico	El sistema electrico se analiza por separado.

(Continuación) Tabla 4. Hoja de información-Unidad de llenado-Hidráulico.

F MM 706 - 020		DEPARTAMENTO DE OPERACIONES HOJA DE INFORMACION RCM				REV.: 0
		Sistema		Facilitador		Hoja N°1
		UNIDAD DE LLENADO		Ing. NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ		3
		Subsistema		Auditor		de
		HIDRAULICO		Ing. JOLMAN LOZANO PICO		3
F	FUNCION	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA
1	Bombear agua a un flujo mínimo de 252 m ³ /h hasta una altura manométrica de 380m .	B	Bombear agua a un flujo menor	1	Impulsores de la bomba desgastados	Si lo impulsores presentan desgaste tienen diametro inferior y el flujo disminuye gradualmente.
				2	Anillos de posicionamiento de impulsores desgastados	Este desgaste en algun punto causa falla en la bomba, por eso no es capaz de suministrar el flujo deseado.
				3	Falla en el tanque de almacenamiento	Esta falla no deja transmitir la potencia requerida por la bomba, el fluido pierde energia hidraulica, esto me retrasa el proceso de llenado.
2	Lucir aceptable	A	No lucir aceptable	1	Pintura deteriorada	La pintura se desprende, esto causa residuos que pueden contaminar el sistema y corrosion en el equipo.
				2	Equipos Sucios	El equipo sucio o el area contaminada no es aceptable para los tecnicos y operadores en la planta.

Tabla 5. Hoja de decisión -Unidad de llenado-Hidráulico.

F MM 706 - 021			DEPARTAMENTO DE OPERACIONES										INFORMACION RCM										HOJA DE		REV.: 0	
			Sistema										Facilitador										Hoja N°1		1	
			UNIDAD DE LLENADO										Ing.NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ										de		3	
			Subsistema										Auditor													
			HIDRAULICO										Ing. JOLMAN LOZANO PICO													
Referencia de informacion			Evaluacion de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA										INTERVALO INICIAL		A REALIZAR POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6														
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar no queden objetos extraños dentro de la bomba despues de la intervención.													
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar la apertura de la valvula anular.													
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar la apertura de la valvula compuerta.													
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar la apertura de la valvula de control manual.													
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar la apertura de la valvula de control manual con embolo.													

(Continuación) Tabla 5. Hoja de decisión -Unidad de llenado-Hidráulico.

F MM 706 - 021			DEPARTAMENTO DE OPERACIONES										INFORMACION RCM						HOJA DE		REV.: 0	
			Sistema						Facilitador												Hoja N°1	
			UNIDAD DE LLENADO						Ing.NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ												2	
			Subsistema						Auditor												de	
			HIDRAULICO						Ing. JOLMAN LOZANO PICO												3	
Referencia de informacion			Evaluacion de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA						INTERVALO INICIAL		A REALIZAR POR	
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6										
1	A	6	S	N	N	S	N							Inspeccionar los cojinetes del eje de la bomba desgastados realizando un analisis de vibraciones de acuerdo al historial de la maquina,.Generar una orden de trabajo para realizar el mantenimiento correspondiente.						Anual	Técnico de Mantenimiento	
1	A	7	S	N	N	S	N							Inspeccionar el eje de la bomba realizando un analisis de vibraciones de acuerdo al historial de la maquina, ademas de un analisis termografico para evaluar temperaturas.Generar una orden cuando se observe una condicion fuera del estandar.						10 Años	Técnico de Mantenimiento	
1	A	8	S	N	N	S	N							Inspeccionar desgastes en las cuñas del eje realizando un analisis de vibraciones de acuerdo al historial de la maquina, ademas de un analisis termografico para evaluar temperaturas.Generar una orden cuando se observe una condicion fuera del estandar.						10 Años	Técnico de Mantenimiento	
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado- Desarrollar un protocolo de mantenimiento estandar para asegurar el montaje correcto del acomple entre el motor y la bomba.								
1	A	10												Se analiza por separado								

(Continuación) Tabla 5. Hoja de decisión -Unidad de llenado-Hidráulico

F MM 706 - 021			DEPARTAMENTO DE OPERACIONES										INFORMACION RCM										HOJA DE		REV.: 0	
			Sistema										Facilitador										Hoja N°1		3	
			UNIDAD DE LLENADO										Ing.NICOLAS MATEO ROJAS GUTIERREZ										de		3	
			Subsistema										Auditor										Ing. JOLMAN LOZANO PICO			
Referencia de informacion			Evaluacion de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA										INTERVALO INICIAL		A REALIZAR POR	
							O1	O2	O3																	
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6														
1	B	1	S	N	N	S	S						Observar el caudal que se esta bombeando cuando el equipo entre a funcionamiento, si se observa una disminucion de caudal significativa. Generar una orden de trabajo para reemplazar los impulsores.										Diario		Operador	
1	B	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar los anillos de desgaste con un boroscopio.Generar una orden de trabajo para reemplazar los bujer cuando se observe una condicion fuera del estandar.										3 Años		Técnico de Especializado	
1	B	3											Se analiza por separado.													
2	A	1	S	N	N	S	S						Verificar la apariencia del equipo en cuanto a pintura, realizar un lavado y revisar si hay desgaste o restos de pintura.										2 Años		Técnico de Mantenimiento	
2	A	2	S	N	N	S	S						Verificar el sitio de trabajo del equipo, limpiar el equipo o lavar si es necesario.										6 meses.		Técnico de Mantenimiento	

Discusión

En este estudio, se pudo evidenciar que efectivamente implementar la técnica RCM nos permitió no solo determinar sino también facilitar el estudio de los rendimientos del sistema en los equipos tal como lo menciona Wheeler, 2007 disminuyendo la carga laboral de los empleados ya que no se preparan solamente para el daño y/o impacto negativo que pueda ocasionar el daño ya sea temporal o permanente de algunas de las herramientas de trabajo de la organización, disminuyendo consigo la productividad y el desgaste de los recursos humanos.

De igual forma, se empezó a implementar la cultura del mantenimiento preventivo, con el objetivo de garantizar un cambio positivo en el transcurso del tiempo dentro de esta organización, conformando equipos competentes y calificados para la ejecución de las actividades laborales asignadas y así mismo, demostrar el buen estado y funcionamiento de todas las herramientas brindadas por la empresa para la ejecución de dichas funciones.

En esta práctica, pudimos asegurar a nuestros colaboradores que los equipos se desempeñaban según sus expectativas, por lo que se evidenció tal como lo expresa Moubray, 2004 el RCM asegura a los empleados y empleadores que los equipos continuaran haciendo lo que los usuarios esperan que hagan.

En el transcurso del tiempo, se ha identificado que dicha práctica se ha convertido en algo viral ya que sus resultados no solo impactan significativamente a la organización que desea implementarla, sino que también aporta tanto a la economía de la organización convirtiéndola en un ente más rentable y permite que dichos recursos tangibles sean utilizados para otras áreas críticas y/o mejoras que se deben realizar en es. Siguiendo este orden de ideas, también se pudo notar que el bienestar de los empleados aumento, ya que su desgaste por un mantenimiento frente a equipos que se encontraban en un estado crítico y que afectaba toda la

operación se podía evitar por medio de esta técnica, por lo que permite a la empresa tener un mejor aprovechamiento del talento humano, para así poder mejorar otro tipo de procesos que conforman la operación.

Optar por un mejoramiento continuo, así como lo expresa August, 2004 conlleva de una supervisión constante y específica, esto con el fin de poder obtener un mayor control y conocimiento de los equipos operativos teniendo como base la objetividad y seguridad en el momento de presentar cualquier informe frente al estado de cada activo físico y así mismo, poder garantizar el cumplimiento de las tareas laborales asignadas y brindar una mayor satisfacción por parte del cliente interno y externo.

Conclusiones

En esta práctica empresarial se realizó con el fin de fortalecer el plan de mantenimiento del A.M.B. S.A. E.S.P., para poder implementar nuevas técnicas basadas en un plan piloto que tuvo como objetivo desarrollar técnicas de mantenimiento preventivo.

El RCM está orientado en evitar los fallos y las consecuencias que conllevan estos mismos, con la ventaja que no está orientado a la estadística en el momento que tuvimos que hacer análisis a los equipos críticos no contábamos con una buena memoria de la hoja de vida puesto que el software de mantenimiento fue implementado en los últimos años.

Por otra parte, el contexto operacional del bombeo nos ayudó a entender de qué manera se opera la planta de mayor criticidad del A.M.B. S.A. E.S.P., ya que se venían implementando técnicas con la instrumentación indicada. Además, el personal del A.M.B. S.A. E.S.P. está muy bien capacitado para implementar de manera interna el RCM en la planta de Bosconia, ya que cuentan con la instrumentación en la mayoría de los equipos críticos que facilita el análisis de estos.

Así mismo, se corrigieron fallas en la instrumentación, para generar mayor confianza en los equipos. El sistema de vibraciones que se adquirió a SENSOMATIC fue de vital importancia para diseñar el plan de mantenimiento RCM.

Con base en la metodología el árbol lógico de decisión del proceso RCM se evaluó las consecuencias de cada modo de falla, para determinar cómo se pueden mitigar las consecuencias de cada falla arrojando como resultados tareas de mantenimiento a condición, tareas de mantenimiento preventivas como se vienen trabajando en el contexto operacional. También se evaluaron otras actividades o recomendaciones que fueron planteadas por el equipo operacional de la planta.

Sugerencias y recomendaciones

Se sugiere continuar con el proceso de análisis RCM, para abarcar la totalidad de plantas y demás secciones de la empresa.

Por otra parte, se recomienda obtener el RCM3 ®, SOFTWARE DESARROLLADO POR IRIM PARA LA IMPLANTACIÓN DE RCM para facilitar los procesos RCM en instalaciones, este software no es un sustituto del técnico, ya que este va soportando la información que el técnico va generando. El RCM3® es un software desarrollado por IRIM para llevar a cabo el proceso de implantación de RCM de una forma eficiente y ágil. Ya que permite aplicar de forma organizada y estructurada cada una de las fases que componen un proceso RCM. La aplicación nos permite tener un soporte de cada de las fases, nos facilita la creación del RCM ya que detallamos las funciones y los modos de fallos de los activos.



Ilustración 3

Fuente: GUIA 4: IMPLANTACIÓN DE RCM3 ® + SOFTWARE RCM3 ®

Referencias

- A. Dmuth, G. Hinchcliffe (2004). RCM Puerta de acceso al mantenimiento de clase mundial. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Backlund, F. y Akersten, P. (2003). RCM Introducción: aspectos de Gestion de Procesos y Requisitos. *Revista de calidad de Ingeniería de Mantenimiento* 9, N° 3: 250-264.
- Barros Chaparro, David Jesús y Valencia Ochoa, Guillermo y Vargas Henríquez, Lisandro (2014). Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo. *Scientia Et Technica*, 19 (2), 200-208. Disponible en:
<https://redalyc.org/articulo.oa?id=849/84931680008>
- Fleming, Susan A. (2006). Plan propuesto por la FAA para implementar un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos de control de tráfico aéreo: GAO-07-81R. *Reporte 1*
- J. Augus. (2004). Guía de RCM: Construyendo un programa de mantenimiento de planta confiable. PennWell Corporation
- Montilla M., Carlos A. y Arroyave, Juan Felipe y Silva M., Carlos Eduardo (2007). Caso de

aplicación centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento

preventivo. *Sciencia Et Technica*, XIII (37), 223-278. Disponible en:

<https://redalyc.org/articulo.oa?id=849/849903374>

Mora Gutiérrez A. (2008). Mantenimiento estratégico para empresas generales o de

servicio. 1era ed. Ed. Medellin, Colombia: AMG; p. 30-130

Moubray John (1999). Criterio de Evaluación para procesos de mantenimiento centrada en

confiabilidad

Palencia García O. (2015). Gestión integral de mantenimiento basada en confiabilidad.

Colombia. Disponible en: [https://confiabilidad.net/articulos/gestión-integralde-](https://confiabilidad.net/articulos/gestión-integralde-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/)

[mantenimiento-basada-en-confiabilidad/](https://confiabilidad.net/articulos/gestión-integralde-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/)

SAE JA1011. (1999). Criterios de Evaluación para procesos de Mantenimiento Centrada en

Confiabilidad.

Viveros P, Stegmaier R, Kristianpoller F, et al. (2013). Propuesta de un modelo de gestión

de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista Ingeniare* (1) 125-

V.S. Deshpande, J.P. Modak. (2002). Aplicación para consideraciones de seguridad en una planta de acero. *Ingeniería de Confiabilidad y Seguridad del Sistema* 10: 7

Wheeler, Paul. (2007). Mantenimiento centrado en la fiabilidad. *Edificios 101*, N° 11:38

Anexos

Anexo 1

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO 2020

No Aplica

FEM 706 - 001

REV 0

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PROGRAMACION ANUAL



DIVISION ELECTROMECHANICA - AÑO 2020

DIVISION: AREA MANTENIMIENTO

SECCION: BOMBEO BOSCONIA

GRUPO: BOMBEO BOSCONIA

SUBGRUPO: BOMBEO BOSCONIA

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPT.		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
B0BB-001	SECCIONADOR TRAF0 No 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

1

No Aplica

F EM 706 - 001

REV 0

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PROGRAMACION ANUAL



amb

EN SUS ALMACENES

DIVISION ELECTROMECHANICA - AÑO 2020

DIVISION: AREA MANTENIMIENTO

GRUPO: BOMBEO BOSCONIA

SECCION: BOMBEO BOSCONIA

SUBGRUPO: BOMBEO BOSCONIA

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPT.		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
BOBB-106	VALVULA HIDRAULICA UNIDAD 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

4

No Aplica

F EM 706 - 001

REV 0

MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PROGRAMACION ANUAL



DIVISION ELECTROMECANICA - AÑO 2020

DIVISION: AREA MANTENIMIENTO

GRUPO: BOMBEO BOSCONIA

SECCION: BOMBEO BOSCONIA

SUBGRUPO: BOMBEO BOSCONIA

CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPT.		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE																											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
BOBB-142	DISYUNTOR (CARRO) B UNIDAD 1																																																		
BOBB-143	DISYUNTOR (CARRO) C UNIDAD 2																																																		
BOBB-144	DISYUNTOR (CARRO) A UNIDAD 2																																																		
BOBB-145	DISYUNTOR (CARRO) B UNIDAD 2																																																		
BOBB-146	DISYUNTOR (CARRO) C UNIDAD 3																																																		
BOBB-147	DISYUNTOR (CARRO) A UNIDAD 3																																																		
BOBB-148	DISYUNTOR (CARRO) B UNIDAD 3																																																		
BOBB-149	DISYUNTOR (CARRO) C UNIDAD 4																																																		
BOBB-150	DISYUNTOR (CARRO) A UNIDAD 4																																																		
BOBB-151	DISYUNTOR (CARRO) B UNIDAD 4																																																		
BOBB-152	HIDROLAVADORA																																																		
BOBB-153	SISTEMA DE VIBRACIONES UNIDAD 2																																																		
BOBB-154	SISTEMA DE VIBRACIONES UNIDAD 3																																																		
BOBB-155	BOMBA 1 BARRIO BOSCONIA																																																		
BOBB-156	BOMBA 2 BARRIO BOSCONIA																																																		
BOBB-157	TANQUE HIDRONEUMATICO BOMBEO BARRIO BOSCONIA																																																		
BOBB-158	TABLERO DE CONTROL BOMBEO BARRIO BOSCONIA																																																		
Q FL-05	CAUDALIMETRO FLORA-ALBANIA																																																		

Anexo 2

SOFTWARE NEPTUNO

Modulo Administrativo para Control de Ordenes de Servicio

Salir Cronogramas Programación Masivo OT Ordenes Solicitudes Fichas Técnicas Proveedores Empleados

Alertas de Vencimiento de Ordenes

ORDEN	FECHA ORDEN	MAX PLAZO	SUBGRUPO	SECCION
DE-18680	27/04/2018	6/05/2018	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-22548	29/04/2019	5/05/2019	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-26858	27/04/2020	3/05/2020	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-18679	27/04/2018	6/05/2018	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-22547	29/04/2019	5/05/2019	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-26857	27/04/2020	3/05/2020	PATRONES DE REFERENCIA	PROCESO ELECT
DE-27384	18/06/2020	21/06/2020	PLANTA BOSCONIA	PROCESO ELECT
DE-27151	18/06/2020	25/06/2020	PLANTA BOSCONIA	PROCESO ELECT

566

Alertas de Vencimiento de Ordenes C

COD EQUIPO	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	STTO
PTFF-045	17/08/2020	23/08/2020	PLANTA FLORIDABLANCA
VTCL50TDO1	17/02/2020	23/02/2020	CAMARA DE VALVULAS
BOBB-001	17/02/2020	24/02/2020	BOMBEO BOSCONIA
EB-M2	9/03/2020	15/03/2020	SISTEMA DE CAPTACIÓN <COMPUERTAS
EB-M3	9/03/2020	15/03/2020	SISTEMA DE CAPTACIÓN <COMPUERTAS
EB-M1	19/10/2020	25/10/2020	SISTEMA DE CAPTACIÓN <COMPUERTAS
CT-01	9/03/2020	15/03/2020	CAPTACIÓN EMBALSE
CT-02	9/03/2020	15/03/2020	CAPTACIÓN EMBALSE

229

ORDENES DE TRABAJO

Salir Incluir Editar Guardar Cancelar Plantilla

Datos de la Orden de Trabajo

División: AREA MANTENIMIENTO Sección: PROCESO ELECTROMECÁNICO

Sitio: CENTRO-CONTROL / MORRORRICO Actividad: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Orden No: DE-26411 Fecha Emisión Orden: 13/03/2020 Plazo Max. Ejecución: 5/04/2020

Equipo: PTPM-018 BOMBA MULTIETAPA 2 - LABORATORIO DE MEDIDORES

Centro Costo: Asignada A: 5.796.212 ORTIZ AMAYA GONZALO

Información Diligenciada en Campo

Fecha Inicio: 13/08/2020 Hora Inicio: 14:00 Fecha Final: 13/08/2020 Hora Final: 15:30

Recibido: Estado: CERRADA

Cargo: Fecha de Cierre: 5/10/2020

Descripción del Mantenimiento: Información del Mantenimiento Recursos Humanos Materiales y/o Repuestos Anexos Ordenes

INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO

Observaciones:

Trabajos Pendientes:

REALIZADO TRABAJOS

- ☒ APERTURA Y CIERRE TOTAL DE VÁLVULAS
- ☒ MANTENIMIENTO GENERAL
- ☒ INSPECCIÓN PRELIMINAR
- ☒ LIMPIEZA GENERAL
- ☒ LUBRICACIÓN
- ☐ PINTURA GENERAL
- ☒ PRUEBAS DE AISLAMIENTO MOTOR
- ☒ REVISIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS
- ☒ REVISIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS
- ☒ REVISIÓN DE RODAMIENTOS

☐ Marcar Todos / Desmarcar Todos

☐ Marcar Ordenes con Trabajos Pendientes

Desarrollado por Microshif S.A.S.
Software Para Entidades Públicas
Derechos Reservados 2014
www.microshif.com.co
Contacto: (7) 8908391 - 3203918493

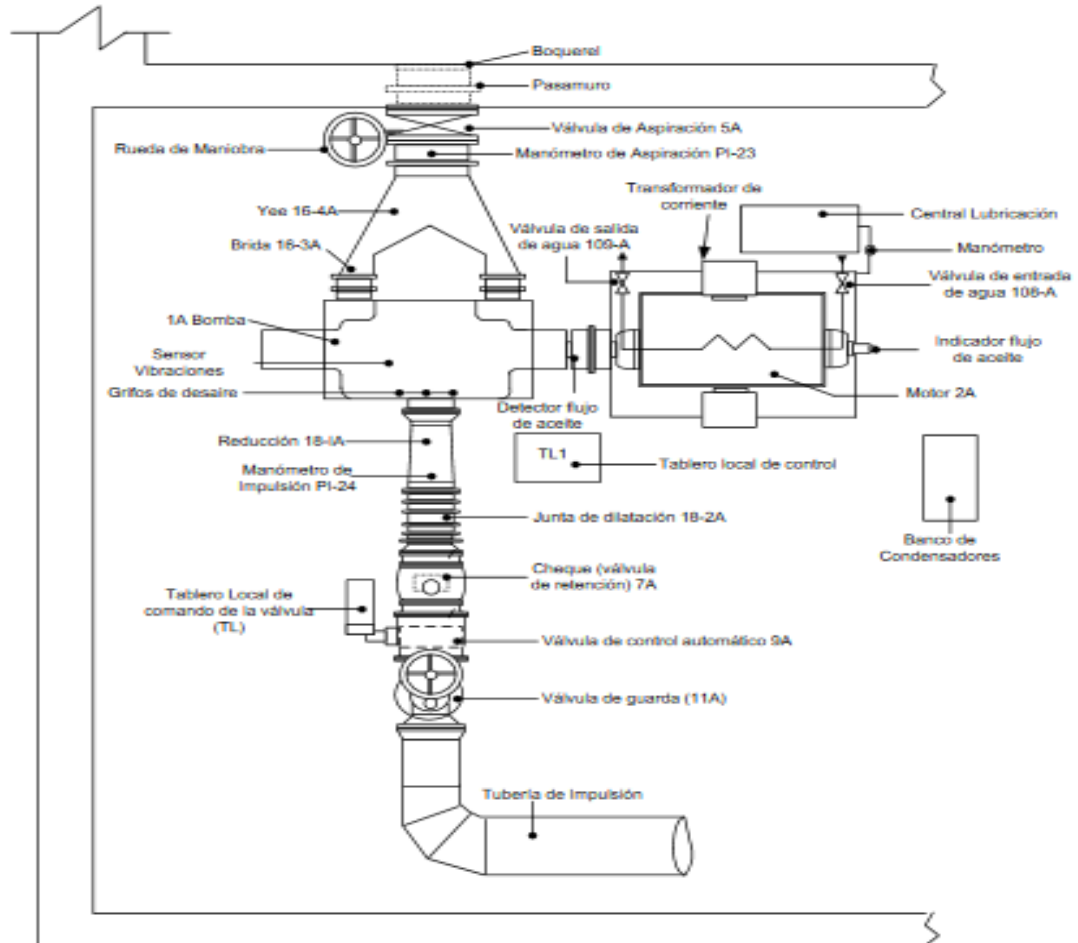
NEPTUNO
SOFTWARE

ORDEN DE TRABAJO

CONTROLA SGC 12/03/2012

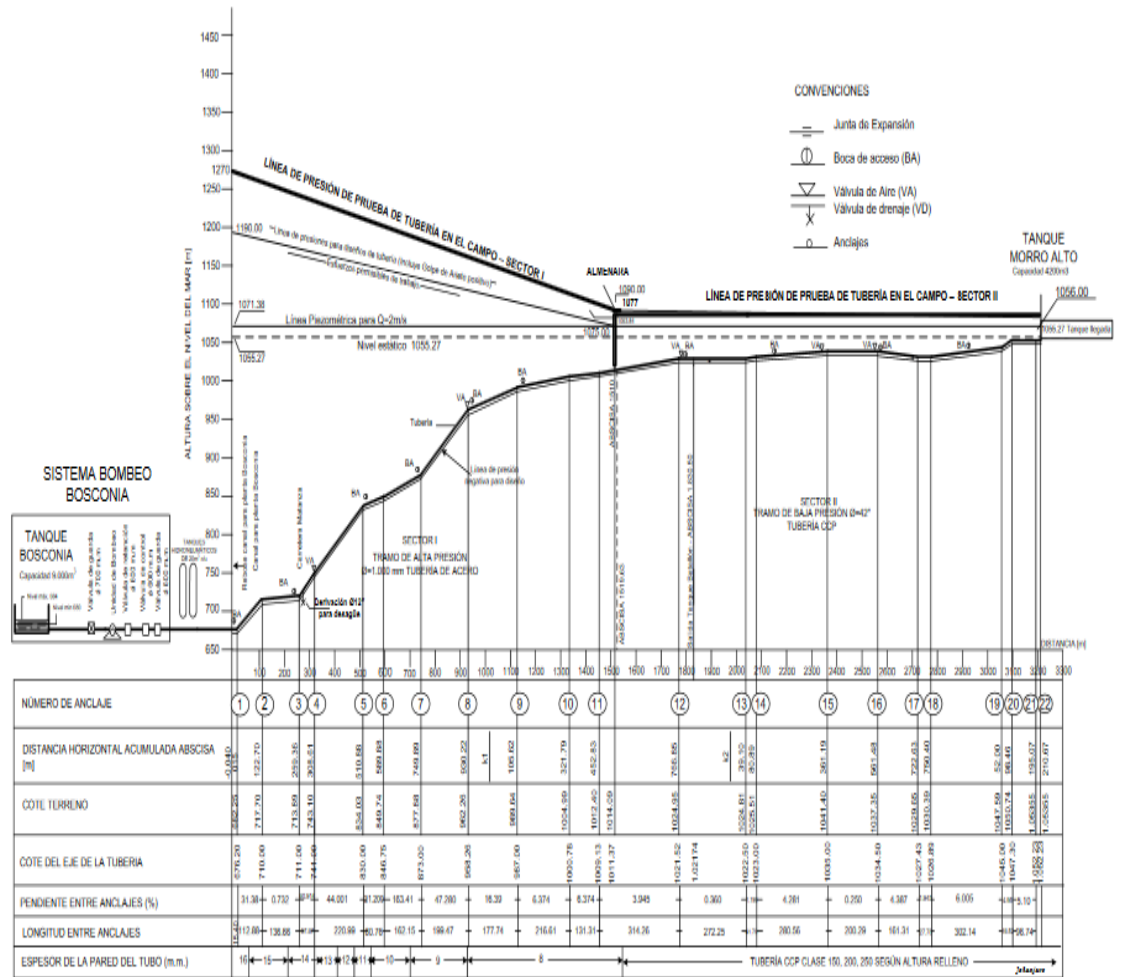
Anexo 4

ESQUEMA DE UNIDAD DE BOMBEO



Anexo 5

LÍNEA DE IMPULSIÓN



Anexo 6

NIVELES DE LOS TANQUES

TANQUE BOSCONIA		
CODIGO	NIVEL	ALTURA m
LSHH 107	NIVEL MUY ALTO DE RESERVA	4.00
LSH 108	NIVEL ALTO	3.50
LSL 109	NIVEL BAJO	1.00
LSLL 110	NIVEL MUY BAJO DE RESERVA (ALARMA)	0.75
LSLLL 111	NIVEL DE RESERVA (PARADA EMERGENCIA)	0.50
LT 106	SONDA DE NIVEL	0.00
TANQUE ESTADIO		
CODIGO	NIVEL	ALTURA m
LSHHH 113	NIVEL MUY MUY ALTO	4.40
LSHH 114	NIVEL MUY ALTO	4.20
LSH 115 B1	NIVEL ALTO	4.10
LSL 116 B	NIVEL BAJO	2.50
LSLL 117	NIVEL MUY BAJO	2.00
LSH 112 B	CIERRA VÁLVULA 14	4.10
LSL 112 B	ABRE VÁLVULA 14	2.70
LT 112	SONDA	0.00
TANQUE MORRORICO		
CODIGO	NIVEL	ALTURA m
LSHHH 119	NIVEL MUY MUY ELEVADO	2.80
LSHH 120	NIVEL MUY ELEVADO	2.60
LSH 121 MR1	NIVEL ELEVADO	2.30
LSL 122 MR1	NIVEL BAJO	1.30
LSLL 123	NIVEL MUY BAJO	0.80
LT 118	SONDA	0.00
TANQUES HIDRONEUMATICOS		
CODIGO	NIVEL	ALTURA m
LSHHH 105	NIVEL MUY MUY ALTO	3.75
LSHH 105	NIVEL MUY ALTO	3.44
LSH 105	NIVEL ALTO	3.15
LSL 105	NIVEL BAJO	2.75
LSLL 105	NIVEL MUY BAJO	1.80
LSLLL 105	NIVEL MUY MUY BAJO	1.55

Anexo 7

TABLERO DE LOS COMPRESORES

