

DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN  
CONDICIONES DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y  
ELECTROMECAÓNICOS DEL SISTEMA RIO ZULIA DE LA EMPRESA AGUAS  
KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

YESID ALFONSO ALBARRACÍN JAIME  
LUCAS AUGUSTO LIENDO ROMERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2014

DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN  
CONDICIONES DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y  
ELECTROMECAÓNICOS DEL SISTEMA RIO ZULIA DE LA EMPRESA AGUAS  
KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P.

YESID ALFONSO ALBARRACÍN JAIME  
LUCAS AUGUSTO LIENDO ROMERO

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director. PEDRO FELIPE OLIVARES MARTÍNEZ  
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2014

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios quien en su soberana voluntad me permitió esta alcanzar este logro.

A mi esposa por su incondicional respaldo y sacrificio acompañándome desde la distancia y esperándome pacientemente en cada fin de semana. A mi Sarita, mi motor, mi fuerza, mi alegría, mi luz y por quien me embarcaría una y otra vez en nuevos sacrificios buscando su bienestar y ser siempre un buen ejemplo.

A mi familia, a mi mamá quien me cubrió con sus oraciones y a mi tía Carmen quien con su generoso corazón me ha apoyado a largo de toda mi vida. Eternamente les agradeceré.

¡Gracias a Todos! Esta alegría es por cada uno de ustedes.

**Lucas Liendo Romero**

Dedicado en primer lugar, a DIOS TODOPODEROSO y a MARÍA AUXILIADORA, por haberme guiado, protegido, por darme la fuerza, voluntad ante las adversidades, confianza y determinación para seguir adelante y haber alcanzado uno de mis propósitos en la vida.

A mi esposa Blanca, mis hijos, Yesid José y Erika Daniela, por ser mis pilares en este proceso, el sacrificio y el apoyo incondicional, siendo este uno de los motivos para seguir adelante y ser ejemplo para ellos de superación, todo lo que soy se los debo a ellos y este logro en especial. A mi madre incondicional a todos mis proyectos y siempre estando al lado mío con su amor y apoyo que he obtenido de ella.

**Yesid Albarracín Jaime**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi compañero de monografía, Ing. Yesid Albarracín, por su tenacidad, por su apoyo, por su paciencia.

A mis jefes en Aguas Kpital Cúcuta SA ESP por permitirnos el espacio y a mis compañeros en Confipetrol cuyo conocimiento fue clave en la culminación de la especialización.

A quienes de alguna u otra manera aportaron en este logro.

**Lucas Liendo Romero**

A DIOS y María auxiliadora por protegerme en los desplazamientos continuos cada 15 días y darme la oportunidad de haber logrado esta meta.

A mi compañero de Monografía el Ing. LUCAS LIENDO, por su respaldo y acompañamiento en este proceso, a nuestro director el Ing. PEDRO FELIPE, con sus orientaciones.

Al Ing. HUGO VERGEL, Gerente y el Ing. URIEL SOTO, Director, por darme la oportunidad de realizar esta especialización y poder replicar los conocimientos adquiridos en todos los procesos operativos y de mantenimiento en nuestra empresa AGUAS KPITAL CUCUTA S.A E.S.P, a mi personal del CN de Electromecánica por su colaboración y dedicación durante los días de mi ausencia respaldando las actividades propias de Mantenimiento.

MUCHAS GRACIAS A TODOS...

**Yesid Albarracín Jaime**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO CONTEXTUAL .....	17
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	17
1.1.1 Sistema río Pamplonita.	18
1.1.2 Sistema río Zulia.	19
1.1.3 Concesión de Operación.	20
1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN	23
1.2.1 Sistema de aducción.	23
1.2.2 Sistema de producción.	25
1.2.3 Sistema de distribución.	27
1.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD	32
2. MARCO TEÓRICO .....	35
2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	35
2.1.1 Historia.	36
2.1.2 Criticidad	40
2.1.3 Mantenimiento preventivo basado en condiciones	42
2.1.4 Pasos para la estrategia CBM	43
2.2 METROLOGÍA	48
2.2.1 Equipos de control y medición.	49
2.3 EQUIPOS MECÁNICOS	54
2.3.1 Sistema de Transmisión	54
2.3.2 Sistema de Floculación	57
2.4 EQUIPOS ELÉCTRICOS	58
2.4.1 Tableros de Control	58
2.4.2 Subestación eléctrica	59
2.5 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	60
2.5.1 Grupos de Bombeo	60
2.5.2 Sistema de Dosificación	62

<b>2.5.3 Sistema Hidroneumático</b>	63
2.6 INDICADORES DE GESTIÓN	66
<b>2.6.1 Definición y tipos</b>	66
2.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	69
2.8 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF)	70
3. DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS .....	71
3.1 EQUIPOS MECÁNICOS	71
<b>3.1.1 Estado del mantenimiento</b>	71
<b>3.1.2 Indicadores</b>	76
3.2 EQUIPOS ELÉCTRICOS	76
<b>3.2.1 Estado del mantenimiento</b>	76
<b>3.2.2 Indicadores</b>	78
3.3 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	78
<b>3.3.1 Estado del mantenimiento</b>	78
<b>3.3.2 Indicadores</b>	79
4. PROPUESTA Y ESTRATEGIA METODOLOGICA .....	80
4.1 MATRIZ DE CRITICIDAD	80
4.2 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF)	82
4.3 ESTRATEGIAS DE MONITOREO	84
<b>4.3.1 Técnicas a utilizar</b>	84
4.4 PLAN DE MONITOREO	86
<b>4.4.1 Frecuencias de monitoreo</b>	87
4.5 COSTOS	88
<b>4.5.1 Contratación de terceros u Outsourcing</b>	88
<b>4.5.2 Implementación con personal propio – Capacitación</b>	89
<b>4.5.3 Implementación con personal propio – Contratación de experto</b>	90
<b>4.5.4 Comparación a dos años y selección</b>	91
4.6 INDICADORES DE GESTIÓN	94
5. CONCLUSIONES .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	96

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de la primera generación del mantenimiento	37
Tabla 2. Características de la segunda generación del mantenimiento	37
Tabla 3. Características de la tercera generación del mantenimiento	39
Tabla 4. Matriz de Impactos y frecuencias	81
Tabla 5. Matriz de Criticidad	82
Tabla 6. Análisis de modo y efecto de fallas	82
Tabla 7. Equipos más críticos y técnicas de monitoreo	85
Tabla 8. Frecuencias de monitoreo	87
Tabla 9. Costo por outsourcing de monitoreo de equipos	88
Tabla 10. Costo de Adquisición de equipos	89
Tabla 11. Costo Capacitaciones	90
Tabla 12. Costo de implementación del plan a dos años mediante outsourcing	91
Tabla 13. Costo de implementación del plan mediante adquisición de equipos y capacitaciones	92
Tabla 14. Costo de implementación del plan a dos años mediante contratación de experto	93

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema Sistema Río Pamplonita	19
Figura 2. Esquema Sistema Río Zulia	20
Figura 3. Esquema Sistema de Aducción por Gravedad	24
Figura 4. Esquema Sistema de Aducción por Bombeo	25
Figura 5. Esquema Sistema de Producción Planta del Pórtico	26
Figura 6. Esquema Sistema de Producción Planta de Carmen de Tonchalá	27
Figura 7. Distribución de zonas de distribución ciudad de Cúcuta	31
Figura 8. Aspectos de Confiabilidad Operacional	41
Figura 9. Curva PF Mantenimiento	45
Figura 10. Analizador de Vibraciones	50
Figura 11. Analizador de Redes	51
Figura 12. Comparador de Caratula	52
Figura 13. Cámara Termográfica	52
Figura 14. Pinza Voltiamperimetrica	53
Figura 15. Megger	54
Figura 16. Sistema de Transmisión por Poleas	55
Figura 17. Sistema de Transmisión por Correas	55
Figura 18. Sistema de Transmisión por Cadenas	56
Figura 19. Sistema de Transmisión por Engranaje	57
Figura 20. Floculadores o agitación lenta.	57
Figura 21. Tablero de Control en Media Tensión	58
Figura 22. Bomba Tipo Turbina	61
Figura 23. Bomba Centrifuga Carcaza Partida	61
Figura 24. Motores Eléctricos Horizontal y Vertical	62
Figura 25. Dosificadores.	63

Figura 26. Sistema Hidroneumático.	64
Figura 27. MTBF-MTTR-MTTF	69
Figura 28. Esquema Hidráulico Estación Tasajero	72
Figura 29. Esquema Hidráulico Estación Nidia.	74
Figura 30. Esquema Sistema de Floculación.	75
Figura 31. Registro Fotográfico Subestación Eléctrica Nidia.	77

## RESUMEN

TITULO: DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN CONDICIONES DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTROMECÁNICOS DEL SISTEMA RIO ZULIA DE LA EMPRESA AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P. \*

AUTORES: YESID ALFONSO ALBARRACÍN JAIME\*\*  
LUCAS AUGUSTO LIENDO ROMERO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Mantenimiento basado en condiciones, Acueducto, Bombeo, Criticidad, Monitoreo, Indicadores de gestión.

**CONTENIDO:** Al hablar de la prestación del servicio de acueducto a una ciudad capital se nos vienen inmediatamente a la mente palabras como lo son: cobertura, calidad, disponibilidad, continuidad, entre otras.

En la ciudad de Cúcuta, el operador del servicio de acueducto y alcantarillado es Aguas Kpital Cúcuta SA ESP. El 30% del agua suministrada proviene de captación por bombeo desde el Rio Zulia y por ende el concepto de disponibilidad debe extenderse hasta los equipos que allí operan.

En esta monografía se diseñó el programa de mantenimiento preventivo basado en condiciones partiendo de la necesidad de adelantarse a la falla que puedan presentar los activos involucrados buscando siempre una relación costo efectiva acorde con el flujo de caja de la empresa.

Actualmente no se cuenta con un plan de mantenimiento claro que garantice la disponibilidad de los equipos y mucho menos su confiabilidad. Por lo general se trabaja con equipos en backup los cuales en ocasiones no cumplen su función debido a la falta de una política clara de rotación y del desconocimiento de la condición de cada activo, agregándose los altos valores que se presentan año a año en la ejecución del rubro de mantenimiento, por lo general desfasado del presupuesto.

Se plantea entonces la necesidad de empezar a medir los indicadores de mantenimiento tales como disponibilidad, confiabilidad y tiempo medio entre fallas así como una estrategia de anticipación a la falla que permitan elevarlos.

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director: Pedro Felipe Olivares Martínez

## SUMMARY

TITLE: DESIGN FOR CONDITION BASED PREVENTIVE MAINTENANCE PROGRAM FOR MECHANICAL, ELECTRICAL AND ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT FROM RIO ZULIA SYSTEM IN THE ENTERPRISE AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P. \*

AUTHORS: YESID ALFONSO ALBARRACIN JAIME\*\*  
LUCAS AUGUSTO LIENDO ROMERO\*\*

**KEYWORDS:** Condition based maintenance, Aqueduct, Pumping, Critically, Monitoring, Management Indicators

**DESCRIPTION:** Speaking of the provision of water service to a capital city immediately comes to our mind words like: coverage, quality, availability, continuity, among others.

In the city of Cúcuta, the operator of water and sewer service is Aguas Kpital Cúcuta SA ESP. 30% of the water supply comes from uptake by pumping from the Rio Zulia and therefore the concept of availability should extend to equipment operating there.

In this monograph, was designed the preventive maintenance program based on conditions starting from the need to anticipate failure which may present the assets involved always looking for a cost effective line regarding the cash flow of the company.

Currently there is no clear maintenance plan to ensure the availability of equipment and less reliability. Usually working with backup equipment, which sometimes do not function due to lack of a clear policy of rotation and the ignorance of the condition of each asset, adding the high values that are presented year after year in the implementation maintenance costs of the generally outdated budget.

Therefore arises the need to start measuring maintenance indicators such as availability, reliability and mean time between failures and a strategy in advance of the failure to allow raising them.

---

\* Monograph.

\*\* Faculty of Physical Mechanical Engineering. School Of Mechanical Engineering.  
Director: Pedro Felipe Olivares Martínez.

## INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, el ser humano siempre ha procurado facilitarse el día a día mediante la creación de nuevas estrategias, la aplicación de nuevas técnicas y el uso de nuevas herramientas, es decir, siempre se ha salido del pensamiento de la caja y ha buscado romper los paradigmas que le han sido impuestos luego de una crianza y el paso por los centros de estudio a los que asistió.

El mantenimiento preventivo significó en su momento eso, romper el paradigma. Logró que el hombre creyera en que los equipos no debían dejarse llevar a falla y buscó a través de diversas pruebas y ensayos, los tiempos de cambio de múltiples piezas, antes de que estas tengan un comportamiento subestandar que ocasione una falla mayor e incluso catástrofes.

Sin embargo este mantenimiento llevo a los departamentos encargados a una zona de confort debido a que no había mucho análisis si no el apego a un plan definido por los fabricantes. Todo esto a costa del bolsillo de los dueños de empresas y de poner en riesgo la rentabilidad de la compañía.

Precisamente, en buscar de un mantenimiento costo efectivo pero con gran confiabilidad de los activos, se buscaron estrategias de monitoreo que mediante una análisis lograran determinar el momento adecuado para realizar un mantenimiento preventivo. Este tipo de estrategia se conoce como Mantenimiento Basado en Condición o CBM por sus siglas en inglés.

En esta monografía se aplicó en la empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP dicha estrategia para los equipos de bombeo encargados de transportar el agua desde la captación del Río Zulia hasta la distribución final del usuario,

estableciéndose los equipos más críticos, las técnicas de monitoreo a usar y sus frecuencias de empleo, así como también los costos en un horizonte de 2 años.

## 1. MARCO CONTEXTUAL

### 1.1 RESEÑA HISTÓRICA

El acueducto de la ciudad de Cúcuta comenzó con una primera planta de tratamiento por gravedad denominada Planta del Pórtico ubicada en el corregimiento del pórtico al Sur de la centro poblado, comenzando en “1939 con una producción de 350 litros por segundo (lps), posteriormente y debido al incremento de la población en la ciudad se amplió a una producción de 700 lps en 1962, continuando con su mejoramiento se construye y habilita una segunda planta de igual capacidad de 700 lps para un total de 1400 lps para el año de 1976”<sup>1</sup>. Con el incremento de la población en la ciudad, se vio la necesidad de la búsqueda de otro afluente para satisfacer la demanda y en 1984 se realizó el estudio y diseño para captar 2000 lps del río Zulia, pero por captación por sistema de bombeo habilitando el sistema Zulia con la planta de Tratamiento denominada Tonchalá ubicada en el corregimiento de su propio nombre, el cual solo hasta 1996 se pudo entrar en operación pero solo con la mitad de lo proyectado en 1.000 lps.

Desde dicha fecha hasta el 2006 la empresa encargada de operar la prestación del servicio no realizó ninguna inversión para mejorar y/o ampliar la producción del sistema y por ende garantizar una mayor calidad del servicio para la ciudad de Cúcuta, a raíz de ello y por la intervención de la Superintendencia de Servicio, se optó en el 2005, la opción de contratar la prestación del servicio con una empresa privada operadora y por intermedio de un proceso licitatorio la empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, (AKC) tomo la operación del servicio de acueducto y alcantarillado desde el 5 de junio del 2006 hasta la fecha con un contrato de 20

---

<sup>1</sup> Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Versión 2006. Aguas Kpital Cúcuta SA ESP

años de operación bajo unos esquemas de inversión y mejoramiento del servicio para la comunidad.

Para el 2013 la empresa AKC, mejoro la producción del sistema río pamplonita llegando a una producción hasta 1800 lps, mientras que el sistema río Zulia mantiene las mismas condiciones operacionales.

Los sectores que se abastecen en la ciudad de Cúcuta se distribuyen en cinco zonas que son:

1. Zona Sur – Abastecida desde la planta El Pórtico.
2. Zona Oriental – Abastecida desde la planta El Pórtico.
3. Zona norte – Abastecida desde la planta El Pórtico.
4. Zona Loma de Bolívar – Abastecida por el sistema río Pamplonita.
5. Zona occidental - Abastecida por el sistema Río Zulia.

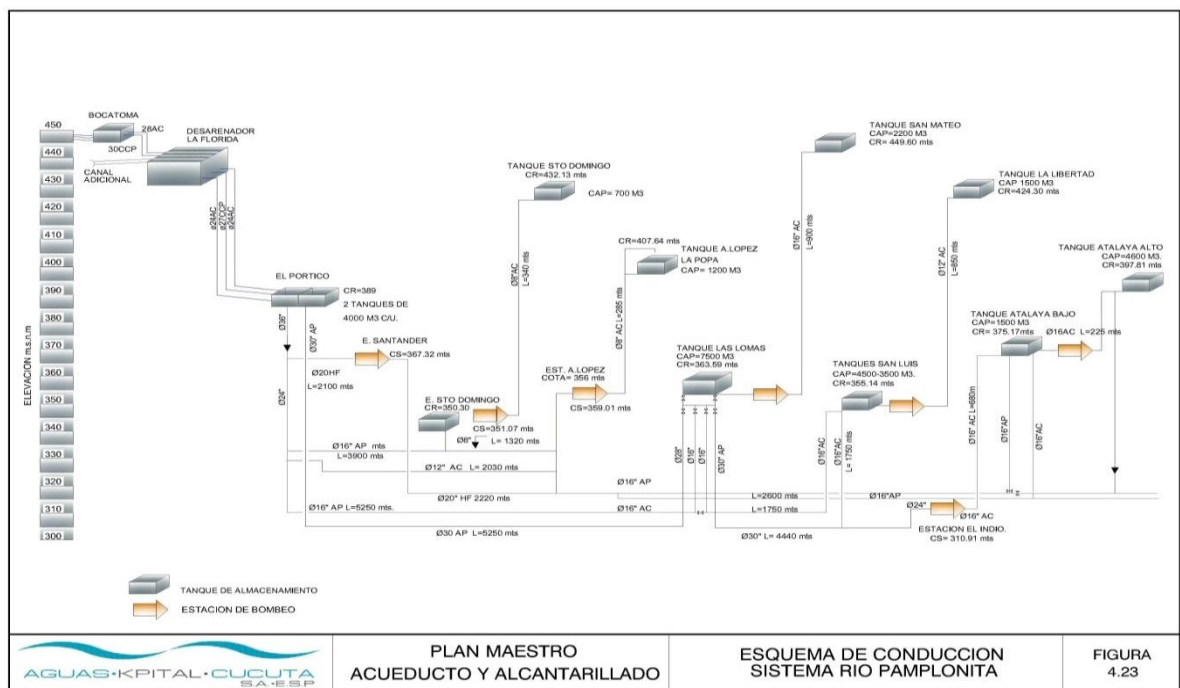
### **1.1.1 Sistema río Pamplonita.**

El sistema río pamplonita se denomina de esta forma debido a que es abastecido por la fuente del río Pamplonita, el agua es procesada en la planta de tratamiento el Pórtico ubicada en la cota de los 387 msnm, (metros sobre el nivel mar) con una producción a 2013 de 1.800 lps.

La captación de agua cruda del sistema río Pamplonita se toma por gravedad mediante una bocatoma lateral localizada en inmediaciones de la cota 450 msnm, posteriormente pasa por un sistema de desarenadores en la cota 435 msnm, para reducir los sedimentos y tratar que dichos materiales no lleguen a la planta de producción, en donde afecta el proceso de potabilización.

Después de los desarenadores por conducción en tres tuberías dos de 24” asbesto cemento (AC) y una tubería de 27” de CCP, el agua cuando llega a la planta de tratamiento llega a una pileta desarenadora para que los materiales de mayor peso se ubiquen en el fondo y por rebose a los canales de conducción en donde se empieza el proceso de potabilización pasando por los sistemas de floculación, lechos filtrantes, filtros de agua clarificada, cloración y almacenamiento para empezar su proceso de distribución a la salida de la planta a las diferentes sectores para llegar por gravedad o bombeo a los usuarios respectivos.

**Figura 1. Esquema Sistema Río Pamplonita**



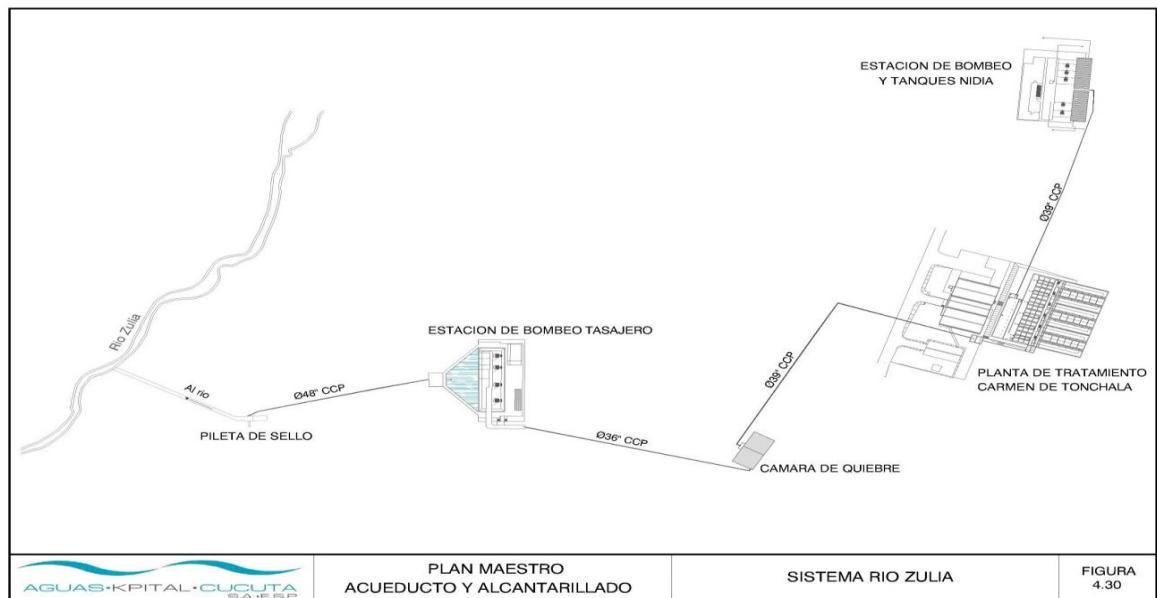
Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Año 2006. AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP

### 1.1.2 Sistema río Zulia.

Este sistema se identifica de igual forma porque es abastecido por la fuente del río Zulia, la cual capta el agua del proceso de desagüe que elimina la planta de Generación Termotasajero, en este desagüe existe una tubería de derivación de

48" la cual encauza el fluido a la cámara de recepción y posteriormente a la cámara de succión desde allí se hace la captación por bombeo de un caudal nominal de 1.000 lps, llevándola a una cabeza hidráulica de 110 mts, a dos tanques de recepción cuyo objeto es romper la energía del fluido por el bombeo y posteriormente mediante una tubería de 39" desciende a la Planta de Tratamiento de Carmen de Tonchalá en donde empieza su proceso de potabilización, pasando por los sistemas de agitación (floculadores), sistema de retención de lodos, lechos filtrantes, cloración y distribución, en donde se suministra el fluido eléctrico en gravedad hasta la estación de Nidia en donde se distribuye a la comunidad por bombeo, esta distribución está orientada a la zona la zona occidental con un caudal promedio de 600 lps.

**Figura 2. Esquema Sistema Río Zulia**



Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Año 2006. AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP

### 1.1.3 Concesión de Operación.

AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P., fue constituida mediante escritura pública No. 1.252, otorgada el 21 de abril de 2006, en la Notaría 3ª del Círculo de Cúcuta,

con matrícula mercantil No. 00150449 de la Cámara de Comercio de Cúcuta y con NIT No. 900080956-2, empresa que, en adelante, actuará como operadora de los servicios de acueducto y alcantarillado de la ciudad, para atender la operación, ampliación, rehabilitación, mantenimiento y gestión comercial de la infraestructura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado de la ciudad de San José de Cúcuta<sup>2</sup>.

La empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, contrata el desarrollo de un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado en el año 2007 con el objeto de dar cumplimiento a los requerimientos del Contrato 030 de 2006 celebrado con la empresa EIS CÚCUTA S.A E.S.P. y de contar con una herramienta flexible de planeación que, adecuadamente implementada, permitirá satisfacer la demanda de agua potable, los cambios en oferta hídrica y la capacidad asociada de disposición de vertimientos hasta el año 2032, bajo estrictos criterios de calidad y continuidad. Los proyectos planteados por el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad de Cúcuta serán el soporte de los proyectos que deberá ejecutar la empresa operadora y deberán revisarse anualmente con el objeto de que estén acordes con el desarrollo de la ciudad.

En el Plan Maestro se realiza el estudio y la evaluación de alternativas de fuentes adicionales de suministro de agua para abastecer la ciudad de Cúcuta hasta el año 2032, junto con la secuencia óptima, y las fechas de entrada, de las alternativas para la expansión de sus componentes. Estos estudios contemplan los prediseños, evaluaciones económicas, financieras y ambientales de proyectos alternativos para el suministro de agua potable mediante incrementos en capacidad, de acuerdo con los crecimientos poblacionales, las demandas proyectadas y el plan de obras e inversiones. De igual forma, en el área de

---

<sup>2</sup> Nuestra Empresa, Reseña Histórica, Internet:, [http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=70](http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=70)

alcantarillado, incluyó las obras de ampliación, reposición y recolección de las aguas residuales para su conducción a puntos de concentración y posterior disposición final, en los sitios previstos para su tratamiento.

La ejecución de un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, en sincronía con los crecimientos y lineamientos urbanísticos proyectados, otorga los beneficios de una ciudad ordenada y preparada para afrontar futuros desarrollos. De igual manera, este Plan Maestro, significa grandes beneficios para los habitantes del Área Metropolitana de la cual forma parte la ciudad. Por esta razón, el Plan Maestro, debe ser un componente del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad, pues contiene todos los lineamientos, políticas y estrategias que debe seguir la empresa operadora AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P. para la ejecución de sus obras en el corto, mediano y largo plazo, en cumplimiento con lo establecido en el Contrato de Operación suscrito con la E.I.S. Cúcuta.

Los componentes estructurales del plan maestro son los siguientes:

- Identificar las demandas de agua a lo largo del horizonte del proyecto, hasta el año 2032.
- Esquema de rehabilitación de componentes existentes, expansiones de capacidad de transporte, tratamiento y almacenamiento.
- Escogencia de las fuentes de abastecimiento aptas para satisfacer las demandas.
- Definición de instalaciones para los sistemas de producción, distribución, almacenamiento y tratamiento.

- Descripción de los sistemas de transporte y disposición final de las aguas residuales.
  
- Plan de obras e inversiones<sup>3</sup>

## **1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN**

### **1.2.1 Sistema de aducción.**

El sistema de Aducción comprende las tuberías así como los accesorios, dispositivos y válvulas que conducen el agua desde la obra de captación o bocatoma hasta el Estanque de Almacenamiento, pasando antes por la Planta de Tratamiento. Se dice que el agua conducida entre la captación y la Planta de Tratamiento es Agua Cruda y luego de pasar por la Planta de Tratamiento es Agua Tratada.

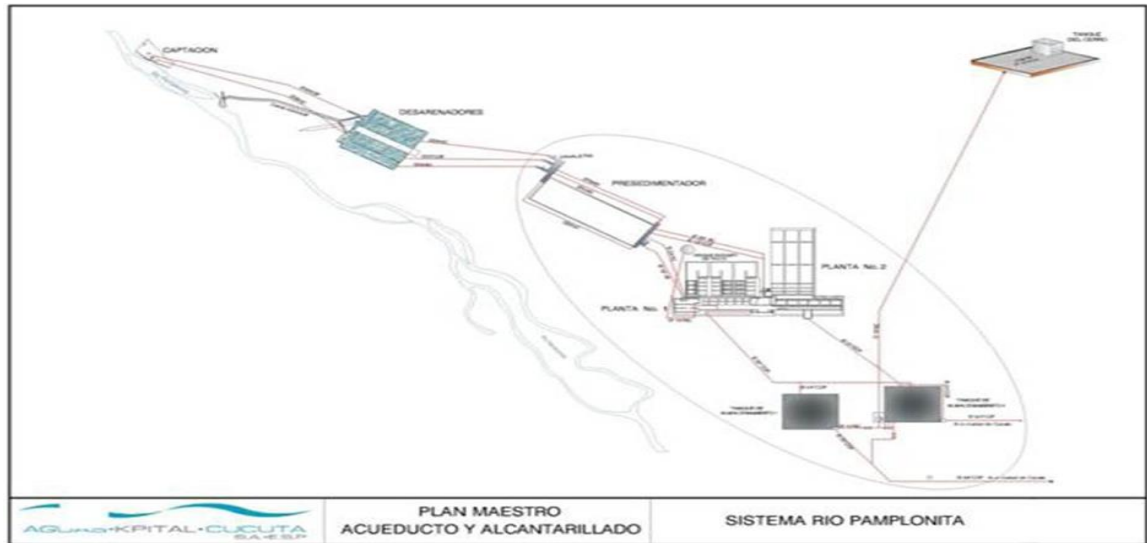
La empresa de acueducto AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, dentro de su proceso de suministro de agua potabilizada contempla los dos sistemas de aducción tanto el esquema de gravedad y bombeo.

El sistema de aducción por gravedad se presenta en el sistema abastecido por el río Pamplonita, el cual comienza desde su captación que se denomina Bocatoma la cual es una captación lateral ubicada en la margen izquierda del río pamplonita ubicado en la cota 450 msnm, como se puede observar en la Figura 3, en donde se identifica todo el proceso desde su captación hasta la planta de tratamiento, como se describió en la sección 1.1.1.

---

<sup>3</sup> Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Versión 2006. Aguas Kpital Cúcuta SA ESP

**Figura 3. Esquema Sistema de Aducción por Gravedad**



Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Año 2006. AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP

El sistema de aducción por bombeo se presenta por la captación del río Zulia, que consiste de una estación de bombeo de agua cruda, que cuenta con una subestación eléctrica de 2,5 MVA y transformación de 34,5 kV a 6,6 kV, que alimenta una batería de cuatro (4) grupos de bomba-motor, en donde las bombas son de tipo turbina de 3 etapas de marca verty-line de 330 litros por segundo (lps) c/u, acopladas a un motor vertical de 700 HP c/u, los cuales operan con un sistema de operación y/o arranque directos, la operación de estos grupos operan tres y uno permanece en standby, quienes elevan el fluido (aguas cruda), a un tanque de quietamiento denominado “Cámara de Quiebre”. Desde allí y por gravedad, alimenta la planta de Tratamiento “Carmen de Tonchalá”, este sistema entra en operación en el año de 1996, que hasta la fecha no se ha realizado ningún cambio radical que cambie su proceso operativo.

Para prevenir los golpes de ariete por el sistema de bombeo la estación cuenta con un sistema hidroneumático sobre la línea de impulsión y válvulas de sobrepresión.

**Figura 4. Esquema Sistema de Aducción por Bombeo**



Fuente: Autores del Proyecto “Captación Estación Tasajero”

### **1.2.2 Sistema de producción.**

Los sistemas de producción de la empresa de AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, está conformado por los dos sistemas los cuales se identifican como Planta del Pórtico y Planta de Tonchala.

#### **1.2.2.1 Planta del Pórtico.**

Está constituida en dos sistemas de potabilización que se encuentran ubicadas en las mismas instalaciones ubicada en el corregimiento del El Pórtico, situadas a 4 kilómetros al sur del casco urbano de la Ciudad de Cúcuta, en inmediaciones de la cota 400 msnm. La Planta el Pórtico tienen una capacidad total de 1800 l/s; que entregan el agua tratada a dos tanques de almacenamiento de concreto reforzado con capacidad total de 8000 m<sup>3</sup> (CR: 387,00 msnm), situados en predios de la planta.

La planta de tratamiento N° 1, la más antigua cuenta con procesos de mezcla rápida mediante un vertedero rectangular que a la vez cumple la función de medición de caudal; floculación mecánica de eje horizontal, sedimentación optimizada con el sistema de placas inclinadas, localizadas al final de la estructura

con sus respectivas canaletas recolectoras que transportan agua sedimentadas hacia las unidades de filtración vertical conformadas por lechos mixtos de arena y antracita, soportados por gravas de río seleccionados. El agua filtrada es clorada y conducida mediante tuberías a dos tanques de almacenamiento con capacidad total de 8000 m<sup>3</sup>. El lavado de filtros de esta planta se hace desde un tanque metálico elevado. Que se llena mediante bombeo.

La planta de tratamiento N° 2 con igual capacidad (900l/s) que la Planta N°1 también es de tipo convencional , muy similar a la planta N°1 con la diferencia que la medición y la mezcla rápida se realiza mediante canaleta parshall y los equipos de floculación mecánica son de eje vertical, el lavado de filtros de esta planta se hace desde un tanque de concreto localizado en la parte alta de la vereda El Pórtico y que a su vez sirve de tanque de abastecimiento al caserío aledaño; el llenado de este tanque se hace por bombeo desde la planta de tratamiento respectiva”<sup>4</sup>.

**Figura 5. Esquema Sistema de Producción Planta del Pórtico**



Fuente: Autores del Proyecto. “Foto satelital [www.google earth](http://www.google.com/earth)”

<sup>4</sup> AGUILLON AVILA, Pedro Antonio. Propuesta para el mejoramiento de la eficiencia energética en la estación de bombeo San Luis, sector 4 vientos perteneciente a la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA SA ESP, Norte de Santander, Trabajo de grado Ingeniero Electromecánico, Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería, Plan de Estudios de Ingeniería Electromecánica, 2013, p 55.

### 1.2.2.2 Planta de Tratamiento “Carmen de Tonchala”.

“La planta es de tipo convencional con procesos de medición y mezcla rápida mediante canaleta Parshall, floculación mecánica de eje horizontal y sedimentación de alta tasa con placas inclinadas, seguida de un proceso de filtración en lechos mixtos de arena y antracita, soportados con falsos fondos de concreto reforzado, posteriormente el agua es clorada previa conducción hacia los tanque de doña nidia. La planta está ubicada en el corregimiento del Carmen de Tonchalá, en la cota 347,70 msnm y diseñada para tratar 1000 l/s”<sup>5</sup>.

**Figura 6. Esquema Sistema de Producción Planta de Carmen de Tonchalá**



Fuente: Autores del Proyecto. “Foto Panorámica Planta de Tratamiento Tonchalá”

### 1.2.3 Sistema de distribución.

Los sistemas de distribución que se desarrollan son mixtos, unos por gravedad y otros por bombeo, en donde se hace la distribución del agua potabilizada a los usuarios, sin embargo la mayor distribución se realiza por bombeo en el sistema abastecido por el río Zulia.

---

<sup>5</sup> Ibid., p. 56.

### **1.2.3.1 Distribución del sistema pamplonita.**

“Este sistema es alimentado desde la Planta El Pórtico y debe suministrar el agua necesaria para abastecer por gravedad las zonas Norte, Sur, Oriental y Loma de Bolívar de la ciudad, comprendidas entre las cotas 290 y 350 msnm”<sup>6</sup>.

Las áreas comprendidas entre las cotas 350 y 450 msnm son abastecidas mediante los bombeos Santo Domingo, Alfonso López, Santander, Las Lomas, San Luís y Toledo Plata

La planta El Pórtico abastece la ciudad de Cúcuta utilizando dos (2) tanques de compensación interconectados entre sí, con capacidad total de 8000 metros cúbicos y cota de rebose 387 msnm.

De los tanques en mención, salen dos tuberías independientes de Ø30” y Ø 36” CCP, cuatrocientos (400) metros aguas abajo de los tanques, de la tubería de Ø36” se deriva una tubería de Ø20” HF hacia la estación Santander e inmediatamente se reduce a Ø24” continuando paralela a la tubería de Ø30” hacia la ciudadela del Niño del barrio San Rafael, sitio donde se interconectan las tuberías Ø24” y Ø30”. La tubería de Ø30” sigue hacia el tanque de las Lomas (CR: 360 msnm) y llega en Ø28” junto a la tubería de Ø16” de asbesto cemento, que se deriva de la tubería de Ø24” en la ciudadela del Niño, la tubería de Ø16” en su recorrido hacia el tanque Las Lomas abastece los barrios La Rinconada, Santa Clara, Bellavista, Juana Paula, La Floresta, Fontana, con servicio continuo. Estos cinco últimos pertenecientes al municipio Los Patios.

---

<sup>6</sup> Manual de Procedimientos de Distribución y Bombeo, Aguas Kpital Cúcuta SA ESP 2013

La tubería Ø24" continua hacia la válvula Máster ubicada en el Parque San Rafael, donde se derivan las tuberías de Ø16", Ø 12" que abastecen los Barrios Santo Domingo, Alfonso López, Gaitán y Cuberos Niño y prosigue en Ø16", para servir la zona Sur de la ciudad.

La zona sur se encuentra dividida en tres pisos o divisorias de servicio a saber: La parte Sur Baja que se abastece por gravedad directamente desde el Pórtico y está comprendida entre las cotas 300 a la 325; la parte sur intermedia, abastecida también por gravedad directamente desde el Pórtico y está comprendida entre las cotas 325 a la 350 msnm. y la Parte Sur Alta que se abastece de las estaciones de bombeo Santo Domingo y Alfonso López y comprende los predios ubicados por encima de la cota 350.

La zona oriental como la zona sur ha sido dividida en tres grandes de sectores para el suministro del servicio, a saber: Sector Bajo (San Luis), sector medio (La Libertad) y sector alto (Bellavista), el primero recibe el servicio de manera continua por gravedad directamente del tanque Las Lomas y tanque San Luís; el segundo abastecido del sistema Estación de Bombeo San Luís - Tanque La Libertad; y el tercero abastecido del sistema Estación de bombeo Las Lomas - Tanque de Bellavista (San Mateo). Adicionalmente existen dos pequeños sectores aledaños al tanque Bellavista, los cuales son abastecidos uno mediante bombeo directo desde la Estación Las Lomas y otro mediante rebombeo desde el tanque Bellavista.

La zona norte se abastece por gravedad desde los tanques el pórtico, con compensación en los Tanques de las Lomas y San Luis, se abastece de la línea de D = 30" CCP, que se deriva del tanque de las Lomas, por medio de las estaciones reductoras de presión de la Avenida 8 con Calle 7 Centro, Avenida 1 con Calle 7 Barrio Latino y avenida Gran Colombia con diagonal Santander frente al club Cazadores. Actualmente las estaciones reductoras de presión se

encuentran fueran de servicio y requieren mantenimiento y la calibración respectiva.

La zona de Loma de Bolívar comprende los barrios situados por encima de la cota 350 y se abastecen actualmente del Tanque de López y del bombeo de la Estación Santander ubicada en la cota 366 msnm, la componen los barrios: Belén, los Cerros de Gaitán, San Miguel, Cundinamarca, Loma de Bolívar, los Alpes y un sector del cerro del Mirador de Atalaya, como Cerro Norte, Cerro de la Cruz, parte alta de Sevilla, Chapinero y el Rosal. Por la alta magnitud de la demanda y por las limitaciones del bombeo de Santander, el servicio se presta uno o dos veces por semana en condiciones normales.

En un futuro inmediato esta zona será servida por el tanque Loma de Bolívar bajo y por el tanque Atalaya bajo, con agua proveniente del sistema río Zulia, bombeada desde la estación de bombeo Doña Nidia.

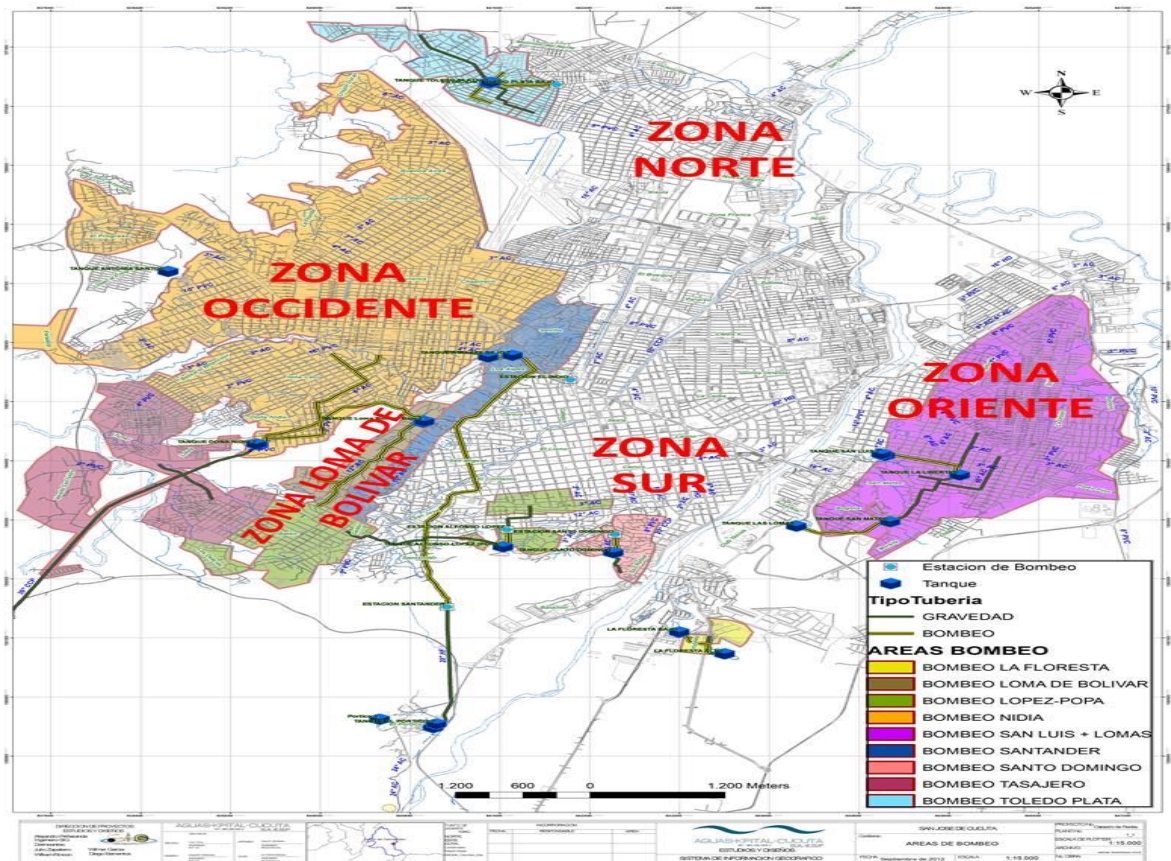
### **1.2.3.2 Distribución del sistema Zulia.**

Abastece la zona Occidental es suministrada a través de Bombeo Tanque Doña Nidia - tanques Atalaya alto y Antonia Santos con capacidad de 540 lps, por medio de una tubería de impulsión de Ø24" CCP que consta de cinco (5) grupos de bomba-motor tipo carcaza partida de un impulsor de 275 lps y 450 HP con tensión de servicio de 6,6 kV; finalmente distribuyéndose a los usuarios a través de dos sectores de bombeo, tres grupos para Atalaya y dos para loma de Bolívar, quedando un equipo en standby, por sector y distribuye en su recorrido el servicio a los tres sectores en que componen la zona occidental, denominada ciudadela de Atalaya; clasificados como sector bajo, sector intermedio y sector alto.

Un tramo de la tubería de impulsión de Ø24” CCP al tanque Antonia Santos, (pocos metros antes de él) se encuentra actualmente fuera de servicio por deslizamiento del terreno<sup>7</sup>.

El agua que abastece la ciudadela el agua El Rodeo es suministrada por gravedad desde los tanques Doña Nidia en turnos de 24 horas, dos veces por semana, simultáneamente con el sector alto de la zona occidental.

**Figura 7. Distribución de zonas de distribución ciudad de Cúcuta**



Fuente; Autores del Proyecto.

<sup>7</sup> Manual de Procedimientos de Distribución y Bombeo, Aguas Kpital Cúcuta SA ESP 2013

### **1.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD**

La empresa AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, con la visión de lograr empoderar la empresa en la región a nivel local, departamental y proyectarla a nivel nacional contempla la implementación de la Norma ISO 9001:2008, y es allí en el año 2008, empieza a desarrollar y fortalecer dentro de los diferentes dependencias la implementación de esta norma, empoderando a los líderes como base fundamental del desarrollo de la misma.

Las etapas que se desarrollaron para formalizar dichos procesos se centran en:

Análisis estratégico de la organización.

Identificación de las necesidades y expectativas de nuestros usuarios clientes y otras partes interesadas,

Establecimiento de la Política y Objetivos de calidad para la organización.

Identificación de los procesos, recursos y responsabilidades necesarias para el logro de los objetivos de calidad.

Comparación de los procesos identificados con la norma NTC ISO 9001:2008.

Establecimiento de los métodos para medir la eficacia del Sistema de Gestión de Calidad.

Aplicación de métodos para determinar la eficacia de cada proceso así como para tomar las decisiones necesarias para lograr el mejoramiento continuo, en general del Sistema de Gestión de la Calidad.

El seguimiento de las etapas anteriores permitió lograr la implementación del Sistema de Gestión de Calidad.

Con el esfuerzo de todos los integrantes de los diferentes centros de negocios y en cabeza de la gerencia en el año de 2011 AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, asume el reto de certificación en la norma NTC ISO 9001:2008 y demostrar la capacidad del AGUAS KPITAL CÚCUTA S.A. E.S.P. para prestar servicios que cumplen con requisitos legales y reglamentarios, que satisfacen las necesidades y expectativas de nuestros clientes y usuarios, obteniendo una certificación plena y reafirmada en los años 2012, 2013 y próxima de certificación completa para el 2014.

Los beneficios que trae la certificación son:

Para los Usuarios. Mayor confianza y satisfacción por parte de los usuarios en la empresa AKC S.A. E.S.P. al prestar y ofrecer un mejor servicio con calidad (Oportunidad en la atención de sus requerimientos, mayor cobertura y aumento de la continuidad en la búsqueda de la ciudad ideal compromiso de AKC S.A. E.S.P.), aumento y sostenimiento de la calidad del servicio y de los productos entregados a los usuarios. Mejor servicio al cliente y acompañamiento del usuario por parte de la AKC S.A. E.S.P.

Para la empresa: Aumento de la eficiencia de sus procesos, reducción de gastos y desperdicios en la operación, mejor aprovechamiento de los recursos. La mejora continua del desempeño global de la organización como resultado de las decisiones eficaces basadas en el análisis de los datos y la información recolectada en su operación, la participación y liderazgo de su capital humano. Establecimiento de relaciones mutuamente beneficiosas con sus proveedores en

pro de aumentar la capacidad de ambos para crear valor y mejorar la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> AGUAS KPITAL CÚCUTA, SE CERTIFICA EN LA NTC ISO 9001:2008, Internet: [http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com\\_content&view=article&id=206:aguas-kpital-cucuta-se-certifica-en-la-ntc-iso-90012008&catid=1:latest-news](http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com_content&view=article&id=206:aguas-kpital-cucuta-se-certifica-en-la-ntc-iso-90012008&catid=1:latest-news)

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento es el conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico que le permita asegurar un servicio determinado, es realizar las operaciones de limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permitan conservar el potencial de un equipo para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la operación y por ende la producción<sup>9</sup>.

La filosofía del mantenimiento preventivo propende por la identificación de fallas que indiquen un comportamiento anormal en un equipo que puedan finalizar en un daño mayor o catastrófico, permitiendo reestablecerlo a su estado de mayor productividad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM en sus siglas de inglés “es un método organizado y lógico para construir o modificar un plan de mantenimiento conservando un óptimo costo. Es un medio para documentar las bases de un plan de mantenimiento para futuras referencias. Es una filosofía para conservar un balance óptimo entre el costo del mantenimiento de rutina y la confiabilidad del servicio. El producto del RCM proveerá en reducir gastos de mantenimiento, se obtendrán ahorros típicos del 5 al 15% si se parte de cero. Con el RCM, se mejorará la confiabilidad y disponibilidad, menos tiempo fuera de servicio asociado con las fallas y mantenimiento preventivo, número de fallas menores. Establecer

---

<sup>9</sup> GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón, Mantenimiento Preventivo, Gerencia de Mantenimiento, 2013. p. 1.

una “recopilación de experiencia” para referencias futuras, documentar las justificaciones técnicas para cada decisión”<sup>10</sup>

### **2.1.1 Historia.**

El mantenimiento ha pasado por varias generaciones desde sus comienzos de forma planificada, estas generaciones están comprendidas a causa de grandes eventos en el mundo así como la aplicación de tendencias o buenas prácticas que revolucionan los procesos en la búsqueda de mejorar las aplicaciones de los conocimientos y metodologías.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban del cuidado y las reparaciones de los equipos. Se trataba de máquinas robustas, lentas, relativamente sencillas, y los tiempos de parada de éstas no eran una cuestión preocupante. El mantenimiento era básicamente correctivo y el operario era el responsable de solucionarlo porque era quien más conocía los equipos, el que más familiarizado con ellos estaba, ver Tabla 1. No cabe duda de que fueron los precursores del TPM o mantenimiento productivo total que mucho más tarde se desarrollaría en Japón y se exportaría al resto del mundo, y en el que el operador de la máquina juega un papel fundamental en su mantenimiento<sup>11</sup>.

A partir de la Primera Guerra Mundial, y con la introducción de la producción en serie (iniciada por Ford) cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y

---

<sup>10</sup> Estrategia de Mantenimiento para la nueva planta de gas de Ecopetrol s.a. CPF de cupiagua, Rodriguez M. Orlando. Universidad Industrial de Santander, 2012 pág 46.

<sup>11</sup> GARCIA GARRIDO, Santiago, “Ingeniería del Mantenimiento: Las cinco generaciones del mantenimiento” Internet: (<http://www.xing.com/net/ingenieriamantenimiento/general-145085/las-cinco-generaciones-de-mantenimiento-11178318>)

la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros talleres de mantenimiento, cuyo personal tenía una dedicación exclusiva a la reparación de averías y tenía pues una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas también en esta época eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

**Tabla 1. Características de la primera generación del mantenimiento**

<b>Expectativas</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Personal</b>
Reparar cuando se rompe	Mantenimiento correctivo	Pocas habilidades

*Fuente: GOMEZ LUBO, Néstor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kv / 7,2 kv de la empresa carbones del cerrejón, Ltda. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander: Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en gerencia de mantenimiento*

Durante la Segunda Guerra Mundial aparece lo que se conoce como la Segunda Generación de mantenimiento. La exigencia de una mayor continuidad en la producción obliga a desarrollar formas de aumentar la disponibilidad de las máquinas, y se fragua entonces el concepto de mantenimiento preventivo sistemático. Los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan, mediante actuaciones preventivas de carácter periódico que se planifican con antelación.

**Tabla 2. Características de la segunda generación del mantenimiento**

<b>Expectativas</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Personal</b>
Mayor disponibilidad de la planta. Mayor vida útil de los equipos. Menor costo	Reparaciones programadas. Sistemas de planeamiento y control del trabajo. Computadoras grandes y lentas	Planeador

*Fuente: GOMEZ LUBO, Néstor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kv / 7,2 kv de la empresa carbones del cerrejón, Ltda. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander: Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en gerencia de mantenimiento*

La tercera generación de mantenimiento da comienzo en los años 80 y tras atravesar una grave crisis energética en el 73, empieza a concebirse el concepto de fiabilidad. La aviación y la industria automovilística lideran esta nueva corriente. Se desarrollan nuevos métodos de trabajo que hacen avanzar las técnicas de mantenimiento en varias vertientes:

En la robustez del diseño, a prueba de fallos y que minimice las actuaciones de mantenimiento.

En el mantenimiento por condición, como alternativa al mantenimiento sistemático. Aparece el mantenimiento predictivo

En el análisis de fallos, tanto los que han ocurrido como los que tienen una probabilidad tangible de ocurrir (fallos potenciales). Se desarrolla en Mantenimiento basado en Fiabilidad o RCM. El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección, es la filosofía del mantenimiento básicamente tecnológica.

En el uso de la informática para el manejo de todos los datos que se manejan ahora en mantenimiento: órdenes de trabajo, gestión de las actividades preventivas, gestión de materiales, control de costes, etc. Se busca tratar todos estos datos y convertirlos en información útil para la toma de decisiones. Aparece el concepto de GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador), también denominado GMAC (Gestión del Mantenimiento Asistido por Computadora) o CMMS (Computerised Management Maintenance System).

En la implicación de toda la organización en el mantenimiento de las instalaciones. Aparece el concepto de TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas ‘transferidas’ son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir Cero Averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM, como filosofías de gestión que empiezan a implantarse entonces en un número creciente de empresas, se desarrollan de forma simultánea, ya que no se trata de sistemas opuestos, sino complementarios. En algunas empresas, RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. RCM es el eje central y se apoya en TPM para su desarrollo. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

**Tabla 3. Características de la tercera generación del mantenimiento**

Expectativas	Técnicas	Personal
Mayor disponibilidad y confiabilidad de la planta. Mayor seguridad. Mejor calidad del producto. Ningún daño al medio ambiente. Mayor vida de los equipos. Mayor costo-eficacia	Monitoreo de condición. Diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento. Estudio de riesgos. Computadoras pequeñas y rápidas. Análisis de modos de falla y sus efectos. Sistemas expertos. Trabajo multifacético y en grupos	Especializado.

*Fuente: GOMEZ LUBO, Néstor Rafael. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kv / 7,2 kv de la empresa carbones del cerrejón, Ltda. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander: Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en gerencia de mantenimiento*

La denominada cuarta generación del mantenimiento nace en los años '90, de la mano del Eureka World Class Management. El objetivo es la competitividad, y busca el desarrollo de métodos de trabajo eficaces y eficientes

La quinta generación del mantenimiento está centrada en la terotecnología<sup>12</sup>. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar, etc.). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costes de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida. Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas.

### **2.1.2 Criticidad**

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componente, está

---

<sup>12</sup> Ibid.

asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento<sup>13</sup>.

El análisis de criticidad genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas, se diseña una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad

**Figura 8. Aspectos de Confiabilidad Operacional**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/62065577/CRITICIDAD-CA>.

<sup>13</sup> HUERTA MENDOZA, Rosendo, "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional" Internet: (<http://es.scribd.com/doc/44645225/ANALISIS-DE-CRITICIDAD>)

### **2.1.3 Mantenimiento preventivo basado en condiciones**

Los mantenimiento preventivos en sus comienzos se desarrollaron para realizar actividades periódicas y aplicar actividades de corrección en las paradas de los equipos en especial en los Over-Haul, esta metodología del mantenimiento a evolucionado bajo diferentes programas en especial en el “monitoreo de la condición de los equipos, estos programas se basan en que todas las fallas esta precedidas de signos o síntomas llamadas “fallas potenciales” que constituyen la esencia del Mantenimiento Basado en Condición (CBM)<sup>14</sup>,

Es una metodología o técnica de mantenimiento, que se realiza con base en las condiciones o parámetros de los equipos, en los que se establecen algunos límites o ventanas operacionales y se verifica el comportamiento de dichos parámetros o límites establecidos

El CBM es establecido mediante la evaluación y validación de los análisis de criticidad de equipos, matrices CBM y rutas de inspección, mediante la recolección, análisis de información operacional y de mantenimiento de los diversos equipos. Luego se realiza un mapeo y posterior control de las variables escogidas mediante la aplicación de técnicas predictivas.

La aplicación de esta metodología proyecta a lograr algunos beneficios como:

- Ajuste de inspecciones periódicas de preventivo.
- Eliminación casi total de las fallas inesperadas.
- Ahorro y disminución del inventario de repuestos.
- Reducción del número de equipos en Stand-by.

---

<sup>14</sup> GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón, Mantenimiento Preventivo, Gerencia de Mantenimiento, 2013. p. 27.

- Ahorro apreciable en los consumos de energía de los equipos.
- Garantía del cumplimiento de las características de diseño.
- Aumento general de la seguridad de equipos e instalaciones.

#### **2.1.4 Pasos para la estrategia CBM**

Para la implementación de una estrategia de CBM, se deben realizar los siguientes pasos:

Recopilar las especificaciones técnicas de los activos. Es un paso crítico en la cadena del CBM, el proceso de análisis de los datos y diagnóstico de las fallas depende en gran medida de la información técnica de los activos a monitorear, se deben conocer las características mecánicas, eléctricas y operacionales de estos activos. ¿Qué tipo y modelo de rodamientos usa?, ¿se trata de una bomba centrífuga o de pistón?, ¿cuál es el producto manejado?, ¿velocidad, presión y temperatura de trabajo?<sup>15</sup>.

Identificar los activos a incluir en el programa. Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos. ¿Qué tan sensibles son los activos para el proceso productivo?, ¿Cuál es su impacto a la seguridad y al ambiente en caso de fallas?, ¿Cuál es el costo o complejidad de su mantenimiento?, ¿Cuáles equipos tienen fallas recurrentes o con mayor frecuencia? Las respuestas a estas preguntas nos indican el estatus de criticidad de estos equipos y son la primera referencia para seleccionar los activos que integrarán el CBM. Comenzar con los más críticos es una buena práctica y

---

<sup>15</sup> MUNDARAIN CASTAÑEDA, Christian H, Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos, Puerto la Cruz: Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería y ciencias aplicadas, Departamento de Mecánica, 2009, p 36.

luego progresivamente incluir los de menor criticidad. Este paso se apoya en el denominado Análisis de Criticidad<sup>16</sup>.

Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados. Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos de inspección. Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional. Saber cómo la máquina está conformada y como trabaja nos indica los modos en que puede fallar, así se definirá la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. Este proceso se conoce como Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)<sup>17</sup>.

Seleccionar la tecnología predictiva. Existe un arsenal de tecnologías que permiten captar el lenguaje de la maquinaria. El como la máquina expresa su salud a través de diversos parámetros, es la clave para seleccionar la tecnología adecuada, aquella capaz de captar condiciones anormales en estado prematuro, antes de que las fallas se hagan incontrolables. Estas tecnologías especializadas miden y registran variables representativas del estado funcional de la maquinaria a un nivel tal que permita hacer seguimiento a la evolución de los diversos problemas detectados y activen el potencial de la planificación y programación oportuna y específica del mantenimiento<sup>18</sup>.

Técnicas de Mantenimiento Basada en Condiciones<sup>19</sup>. Cuando se habla de la ejecución del mantenimiento por condición en las empresas, se debe tomar en

---

<sup>16</sup> Ibid, p. 37

<sup>17</sup> Ibid. p. 37

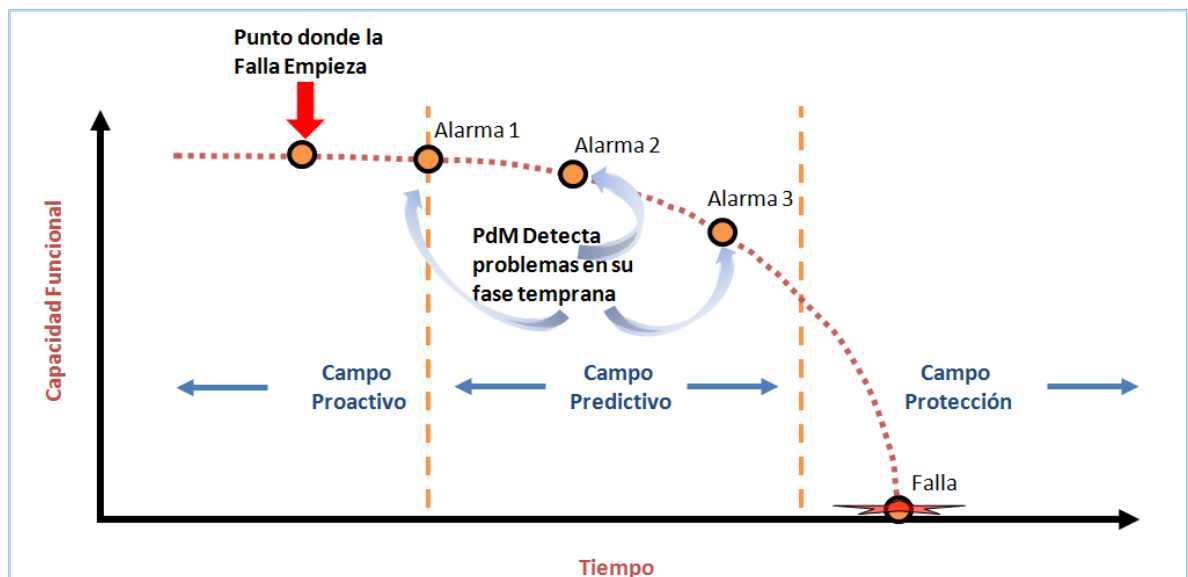
<sup>18</sup> Ibid. p. 37

<sup>19</sup> GUTIERREZ SANCHEZ, Alfredo, LEON QUIROGA Guillermo Alexander y MORENO RODRIGUEZ, Iván, Implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo enfocado al análisis y diagnóstico de fallas en equipos

cuenta una serie de análisis que permiten la verdadera aplicación del mismo. Estos análisis se realizan a través de técnicas, que dependiendo de los componentes que conforman el equipo, son seleccionadas para su implementación, lo cual permite conocer la condición del equipo en un momento dado.

La aplicación de estas técnicas predictivas le permite establecer la condición de los componentes de un equipo con un tiempo prudente a la falla logrando de esta manera estar preparado mediante una planeación de cambio del componente reduciendo daños colaterales reflejados en costos de mantenimiento y/o producción.

**Figura 9. Curva PF Mantenimiento**



Fuente: GUTIERREZ SANCHEZ, Alfredo, LEON QUIROGA Guillermo Alexander y MORENO RODRIGUEZ, Iván, Implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo enfocado al

mecánicos y eléctricos del campo moriche perteneciente a mansarovar energy colombia ltd, Trabajo de Grado título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos, Bucaramanga. universidad autónoma de Bucaramanga facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012 p 37-39

Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:

Uso de los sentidos en la detección de fallas: La vista es utilizada para detectar fugas, humo o cambio de superficies por recalentamiento, el olfato para detectar fugas y recalentamiento, el tacto para detectar vibraciones o temperaturas anormales y el oído para detectar ruidos anormales indicativos de algún problema, pueden utilizarse como detectores de la condición del equipo bajo determinadas condiciones, pero su uso tiene sus propios límites y puede conducir a errores.

El análisis vibratorio: La vibración mecánica es el parámetro más utilizado universalmente para monitorear la condición de la máquina, debido que a través de ellas se pueden detectar la mayoría de los problemas que ellas presentan. La base del diagnóstico de la condición mecánica de una máquina mediante el análisis de sus vibraciones se basa en que las fallas que en ella se originan, generan fuerzas dinámicas que alteran su comportamiento vibratorio. La vibración medida en diferentes puntos del equipo se analizan utilizando indicadores vibratorios como: el espectro, la medición de fase componentes vibratorias, los promedios sincrónicos y modulaciones.

En la práctica, se requiere del uso de diferentes indicadores como los presentados anteriormente y técnicas de análisis, debido a que problemas diferentes presentan síntomas similares y a través de estos indicadores se pueden distinguir uno del otro.

El análisis del lubricante: Consiste en una serie de pruebas de laboratorio que se usan para evaluar la condición de los lubricantes usados o los residuos presentes.

Al estudiar los resultados del análisis de residuos se logra elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste del equipo y sus componentes. Los objetivos principales por lo que se realiza un análisis de lubricante son el control de la degradación del lubricante, el monitoreo de daño mecánico de componentes, el control de contaminantes por sólidos, fluidos o gases y la verificación que se esté usando el lubricante adecuado.

Medición de temperaturas: Mediante un control periódico de la temperatura en distintos puntos seleccionados como representativos del equipo, del ambiente y en algunos casos del producto en proceso, pueden detectarse anomalías y/o disfunciones, variación de condiciones de servicio o condicionantes de vida remanente.

Análisis de la corriente eléctrica: Se considera el análisis de corriente como una herramienta de apoyo al análisis vibratorio, en la evaluación de la condición de motores de inducción. El análisis de corriente consiste en medir la corriente, mediante un amperímetro de tenazas alrededor de cada una de las fases del motor. La corriente medida se introduce entonces al analizador de vibraciones para el análisis de su espectro. Se debe tener presente, que existen problemas mecánicos como el desbalanceo, des-alineación o flexión del eje, que hacen que el entrehierro varíe entre el rotor y estator, produciendo fuerzas y vibraciones electromagnéticas, siendo en verdad, un problema de origen mecánico. Por este motivo, cuando se analice un motor eléctrico con un análisis de corriente, primero se debe conocer los orígenes de los problemas mecánicos.

Medición de ruidos: Es el análisis del ruido de fondo para poder evaluar las frecuencias dominantes del espectro, con el objetivo de determinar cuáles son las excitatrices que generan el evento.

Termografía infrarroja: Es una herramienta de alto potencial, que permite identificar, sin contacto alguno, componentes eléctricos y mecánicos más calientes, de lo que deberían estar (a menudo una indicación de área de falla inminente). En otras palabras la Termografía permite una visualización de los estados térmicos de los distintos elementos, permitiendo por ejemplo la detección de borneras flojas, temperaturas anormales en acoplamientos a causa de la desalineación, conductores sobrecargados, cojinetes con problemas, fallas de aislamiento y cualquier otro problema cuya manifestación sea un efecto térmico.

## **2.2 METROLOGÍA**

La metrología es la ciencia que trata de las mediciones, de los sistemas de unidades adoptados y los instrumentos usados para efectuarlas e interpretarlas. La metrología abarca todos los campos de las ciencias: metrología térmica, metrología eléctrica, metrología acústica, metrología dimensional, etc.<sup>20</sup>.

En su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, temperaturas, intensidades de corriente, etc. Por esta enumeración, limitada voluntariamente, es fácil ver que la metrología entra en todos los dominios de la ciencia.

Es una ciencia en constante evolución y desarrollo; muchos de los progresos tecnológicos de la actualidad sedan gracias al avance de la metrología. La metrología puede dividirse en las siguientes Clases:

---

<sup>20</sup> ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. metrología y mecánica de banco, protocolo curso de procesos de manufactura, Facultad de Ingeniería Industrial 2007. p. 7

Metrología Científica<sup>21</sup>: Es el conjunto de acciones que persiguen el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades de base y derivadas del Sistema Internacional de Unidades, SI.

Metrología Legal: Según la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), este término hace referencia a la totalidad de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas y puestas en vigor por su cuenta con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente.<sup>22</sup>

Metrología Industrial: La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas, con la finalidad de que pueda garantizar que los productos están de conformidad con normas, El equipo se controla con frecuencias establecidas y de forma que se conoce la incertidumbre de las mediciones. La calibración debe hacerse contra equipos certificados, con relación válida conocida como patrones, por ejemplo los patrones nacionales de referencia<sup>23</sup>.

### **2.2.1 Equipos de control y medición.**

Analizador de Vibraciones. El analizador de vibraciones es un equipo de verificación y control para identificar los problemas que las maquinas industriales

---

<sup>21</sup> BELTRAN MARIN, Sergio Andrés Plan de negocios para la creación del central de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander, bajo los lineamientos de la norma NTC-IEC 17035, Universidad Industrial, 2010. p. 18.

<sup>22</sup> Ibid. p.18.

<sup>23</sup> Ibid. p. 18.

presentan cuando los niveles de estas vibraciones son anormales y de esta forma poder identificar si presenta un desgaste normal, un síntoma u origen de problema y se pueda determinar la evaluación de las causas subyacentes o las tareas de mantenimiento inmediatas.

Conocer y analizar porque se producen las vibraciones y como se manifiestan es el primer paso para evitar que provoquen problemas en el entorno operativo de los equipos<sup>24</sup>.

**Figura 10. Analizador de Vibraciones**



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/coes/products/analizadores-vibraciones.htm>

**Analizador de Red:** Es un equipo de inspección de los sistemas de redes eléctricas, diseñados para que su instalación sea sencilla y su medición sea adaptable a los requerimientos y variables que se quieren controlar, estos instrumentos se emplean para analizar el comportamiento eléctrico de los equipos de carga y verificar los parámetros de voltaje, amperaje, potencia eléctrica, etc.

---

<sup>24</sup> Fluke redefine la solución de problemas mecánicos mediante un análisis de vibraciones, Internet: : <http://www.fluke.com/fluke/coes/products/analizadores-vibraciones.htm>

La utilización de estos equipos facilita las auditorías eléctricas de las máquinas industriales desde el arranque hasta su operación normal.

**Figura 11. Analizador de Redes**



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/coes/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Electrica/Logging-Power-Meters/Fluke-437-Series-II.htm?PID=73946>

**Comparador de Caratula:** Los comparadores son aparatos de medición indirecta (medición diferencial), que permiten efectuar la medida de una longitud por comparación después de calibrarse con un patrón que sirva de referencia (galgas patrón).

Este instrumento no entrega valores de mediciones, sino que entrega variaciones de mediciones (de ahí su nombre). Su exactitud está relacionada con el tipo de medidas que se desea comparar, existiendo con resoluciones de 0.01 y .001 mm.

Estos aparatos, bajo diversas formas son muy utilizados en los talleres y en las salas de metrología, dada la robustez y simplicidad de empleo en la mayor parte de ellos<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ, Felipe, Metrología Dimensional, Facultad de estudios superiores Cuautitlan, Departamento de Ingeniería, Laboratorio de Tecnología de Materiales, Cuautitlan Izcalli, 2010. p. 28.

**Figura 12. Comparador de Caratula**



Fuente: Autores

Cámara Termográfica. La cámara termográfica detecta los puntos calientes de los equipos de maniobra o control, este equipo de monitoreo permite identificar posibles anomalías antes de que se agraven y puedan generar daños irreparables en las maquinas industriales, en sus equipos de control y carga, con ellas se puede supervisar un proceso térmico marco por marco.

**Figura 13. Cámara Termográfica**



Fuente: Autores

Pinzas Voltiamperimetricas. La pinza es un tipo especial de voltímetro o amperímetro, se basa en la medida indirecta de la corriente circulante por un conductor a partir del campo magnético o de los campos que dicha circulación de corriente que genera o de la medida de voltaje o tensión entre dos puntos. Recibe el nombre de pinza porque consta de un sensor, en forma de pinza, que se abre y abraza el cable cuya corriente queremos medir.

Este método evita abrir el circuito para efectuar la medida, así como las caídas de tensión que podría producir un instrumento clásico. Por otra parte, es sumamente seguro para el operario que realiza la medición, por cuanto no es necesario un contacto eléctrico con el circuito bajo medida ya que, en el caso de cables aislados, ni siquiera es necesario levantar el aislante.

**Figura 14. Pinza Voltiamperimetrica**



Fuente: Autor

Megger. Un megger es un tipo de megóhmetro utilizado para probar el aislamiento eléctrico de los equipos eléctricos, desde una acometida hasta el embobinado de un motor, transformador u otro mecanismo de potencia eléctrica. Los meggers pueden proveer el alto voltaje necesario para probar los conductores largos que se necesitan en los circuitos de alta tensión. Mientras que utilizar un megger para probar un circuito es muy fácil, debes tener en cuenta las normas de seguridad necesarias, ya que cualquier error podría resultar en una electrocución.

**Figura 15. Megger**



Fuente. Autores

## **2.3 EQUIPOS MECÁNICOS**

### **2.3.1 Sistema de Transmisión**

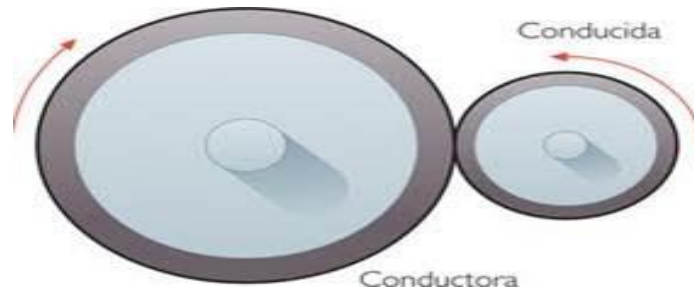
Se denomina transmisión al mecanismo encargado de enviar o transmitir la potencia de un motor a alguna otra parte, con el objetivo de mover el vehículo o mover piezas internas necesarias para su correcto funcionamiento. Las formas más habituales de transmisión son:

- 1.- Polea
- 2.- Con correa
- 3.- Con Cadena
- 4.- Por engrane
- 5.- Por husillo
- 6.- Por cardan

Transmisión por polea. El sistema más simple para la transmisión del movimiento es la polea. Ésta es básicamente un disco de material con un comportamiento

plástico importante, y un acabado que le proporciona un elevado índice de rozamiento<sup>26</sup>.

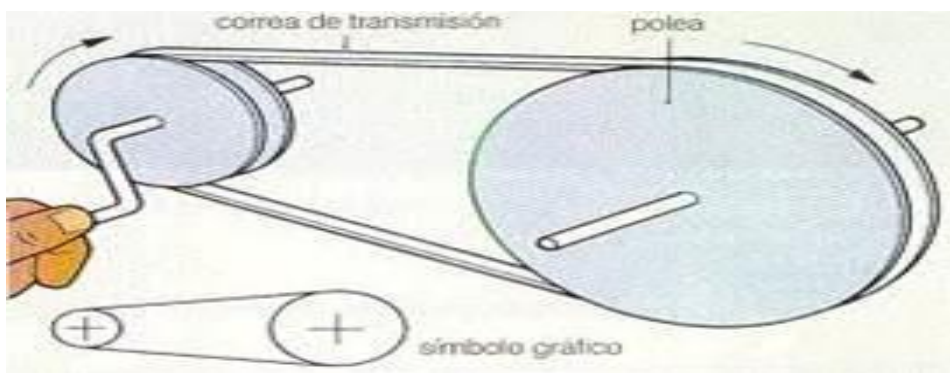
**Figura 16. Sistema de Transmisión por Poleas**



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=transmision+por+poleas&source>

Transmisión con correa. Las transmisiones por correa, en su forma más sencilla, consta de una cinta colocada con tensión en dos poleas: una motriz y otra movida. Al moverse la cinta (correa) trasmite energía desde la polea motriz a la polea movida por medio del rozamiento que surge entre la correa y la polea<sup>27</sup>.

**Figura 17. Sistema de Transmisión por Correas**



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=transmision+por+poleas&source>

<sup>26</sup>

<sup>27</sup> Ibid

Transmisión por cadena. Este tipo de transmisiones trabajan de acuerdo con el principio de engranaje. En las transmisiones por cadena que tienen el esquema de transmisión flexible abierta, el lugar de las poleas lo ocupan ruedas dentadas, a las que se llama ruedas de estrella o simplemente estrella y en vez de la cinta flexible tenemos una cadena. Recibe el nombre de tren de engranes el conjunto de éstos que se encuentran endentados entre sí, ya sea directamente o por medio de cadenas<sup>28</sup>.

**Figura 18. Sistema de Transmisión por Cadenas**



Fuente Autores

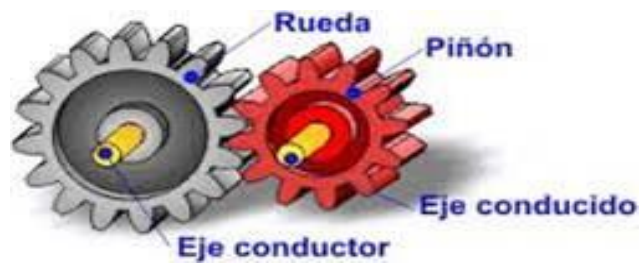
Transmisión por engrane. La fricción no es suficiente para garantizar la ausencia de deslizamiento entre las partes. Dotando a cada polea de un número de muescas determinado la relación de vueltas queda controlada de forma absoluta porque solo habría lugar a deslizamiento en caso de rotura de algún diente. Nos encontramos con el principio del engranaje, que básicamente consta de dos engranes: La rueda motora y el piñón receptor<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> Ibid.

<sup>29</sup> Ibid.

**Figura 19. Sistema de Transmisión por Engranaje**



Fuente. [https://www.google.com.co/search?q=transmision+por+engranajes&tbm=isch&imgdii=\\_](https://www.google.com.co/search?q=transmision+por+engranajes&tbm=isch&imgdii=_)

### **2.3.2 Sistema de Floculación**

El sistema de Floculadores o mecanismo de agitación lenta: Consiste en un esquema de aspas que son movidos por mecanismos de transmisión de cadenas a través de ejes acoplados a un motor eléctrico, que se regula a unas velocidades establecidas para que en el proceso de mecánico de la agitación se generen pequeñas aglomeraciones neutras formadas por floculación de los coloides pueden reunirse en flóculos de mayor tamaño por simple contacto (coalescencia). Los choques se favorecen mediante la creación de una turbulencia moderada; sin embargo la agitación no debe ser muy fuerte debido a la cohesión débil entro las diferentes partes de los flóculos formados<sup>30</sup>.

**Figura 20. Floculadores o agitación lenta.**



Fuente. Autores

---

<sup>30</sup> Tratamiento de Aguas Para Abastecimiento Público, By Cyril Gomella, Henri Guerrée, Barcelona 1977, pág 70

## 2.4 EQUIPOS ELÉCTRICOS

### 2.4.1 Tableros de Control

Son los equipos de maniobra que accionan los elementos eléctricos, dependiendo de su aplicación y voltaje consisten accesorios de control y protección y elementos de fuerza, como contactores, arrancadores suaves.

Para la aplicación de AKC, los tableros de control mecánico remoto el cual su aplicación es para corriente alterna con las barras colectoras y conexiones alejadas de los tableros y con montajes independientes separados de la carga eléctrica. Los interruptores de circuito en aceite funcionan por medio de palancas y varillas<sup>31</sup>, este se aplica por la condición de alto voltaje que se emplea 6,6 kV.

**Figura 21. Tablero de Control en Media Tensión**



Fuente. Autores

---

<sup>31</sup>Marks Manual del Ingeniero Mecánico, Theodore Baumeister, Edición 8, 1993, Volumen III. p. 15-54

## 2.4.2 Subestación eléctrica

Es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general 3 principales, y las demás son derivadas.

Las secciones principales son las siguientes:

1. Sección de medición.
2. Sección para las cuchillas de paso.
3. Sección para el interruptor.

Las secciones derivadas normalmente llevan interruptores, depende de qué tipo, hacia los transformadores.

Como norma general, se puede hablar de subestaciones eléctricas elevadoras, situadas en las inmediaciones de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar el nivel de tensión, hasta 132, 220 o incluso 400 kV, antes de entregar la energía a la red de transporte. Las subestaciones eléctricas reductoras, reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente entre 13,2, 15, 20, 45 o 66 kV y entregan la energía a la red de distribución.

Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 400 V.

## 2.5 EQUIPOS ELECTROMECA'NICOS

### 2.5.1 Grupos de Bombeo

Bomba Centrifuga: El prop6sito b6sico de una bomba es agregar energa' al fluido, desde un estado de baja presi6n est6tica a otro de mayor presi6n. Est6n compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energa' es transmitida como energa' mec6nica a trav6s de un eje, para posteriormente convertirse en energa' hidr6ulica, dependiendo del tipo de bomba por la posici6n de la captaci6n o la entrada del fluido se determinan en horizontales o verticales, el fluido entra axialmente a trav6s del ojo del impulsor, pasando por los canales de 6ste y suministr6ndosele energa' cin6tica mediante los 6labes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energa' cin6tica adquirida para convertirse en presi6n est6tica"<sup>32</sup>.

Para el caso de las bombas de AKC, en la captaci6n su configuraci6n son bombas tipo turbina de 3 etapas la cual su instalaci6n es en posici6n vertical pero sumergidas, lo que genera que la captaci6n se hace de forma directa con el fluido el cual es agua cruda para el proceso de potabilizaci6n, cuya operaci6n de caudal total es de aproximadamente 900 a 950 lps. La operaci6n de estos equipos es continua operando casi en su totalidad las 24 horas de los 365 d'as del a'no, con las paradas respectivas por cortes de fluido el6ctrico, bajas de nivel de producci6n por condiciones operacionales y altos niveles de turbiedad que superen las 5.000 Unidades de Netas de Turbiedad (UNT), que generan problemas de proceso de potabilizaci6n y obligan a la suspensi6n 6 reducci6n de la producci6n, y da'os de los mismos por desgaste operacional o fallas.

---

<sup>32</sup> Marks Manual del Ingeniero Mec6nico, Theodore Baumeister, Edici6n 8, 1993, Volumen III

**Figura 22. Bomba Tipo Turbina**



Fuente: Autores

En la distribución se emplean bombas horizontales de un impulsor cuya configuración es de carcasa partida, estas conducen ya agua tratada para el suministro a los usuarios, de los cuales se bombea a la red de forma directa,

**Figura 23. Bomba Centrifuga Carcaza Partida**



Fuente: Autores

Motores: El motor es un equipo que se encarga de la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, dependiendo de la capacidad o aplicación se

determina el caballaje de operación que se denomina Horse Power (HP), estos equipos trabajan dependiendo del suministro de la energía monofásica o trifásica.

**Figura 24. Motores Eléctricos Horizontal y Vertical**



Fuente. Autores

## **2.5.2 Sistema de Dosificación**

En el proceso de dosificación se controla la cantidad de elementos químico necesario para realizar el proceso de potabilización del sistema de acueducto, esta dosificación es prioritaria para poder controlar la creación de los elementos de dureza que se concentra en el agua cruda, que se homogeniza en los sistemas de floculación, para que siga el proceso de filtración y clarificación.

Una dosificación controlada favorece la calidad del proceso del agua, para este tipo de dosificación y dependiendo del tipo de producto que se emplea ya sea con una mezcla previa y/o la concentración correcta aplicada.

Los mecanismos de aplicación de estos productos se pueden realizar por medio de sistemas de bombas que controlan la cantidad de producto a suministrar

**Figura 25. Dosificadores.**



Fuente: Autores

### **2.5.3 Sistema Hidroneumático**

Los Equipos Hidroneumáticos es una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otros sistemas; la aplicación de estos sistemas son variados, para sostener presiones en sistemas de bombeos y como aliviadores de golpe de ariete para la retención de sobre presiones en paradas imprevistas en los sistemas de bombeo.

Los Sistemas Hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión, funcionando de la siguiente manera: El agua que es captada de la línea de impulsión del sistema de bombas, a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), y que posee volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel de agua, se comprime el aire y aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados ( $P_{m\acute{a}x.}$ ), se produce la señal de parada de los compresores de aire y el tanque queda en la capacidad de controlar la presión de la línea de impulsión en una parada intempestiva, cuando

los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos ( $P_{\text{mín.}}$ ) se acciona el mando de encendido de los compresores nuevamente. Como se observa la presión varía entre  $P_{\text{máx}}$  y  $P_{\text{mín}}$ , y los compresores encienden y apagan continuamente<sup>33</sup>.

El diseño del sistema debe considerar un tiempo mínimo entre los encendidos de los compresores conforme a sus especificaciones, un nivel de presión ( $P_{\text{mín}}$ ) conforme al requerimiento de presión de instalación y un  $P_{\text{máx}}$ , que sea tolerable por la instalación y proporcione una buena calidad de servicio.

**Figura 26. Sistema Hidroneumático.**



Fuente: Autores

Un sistema hidroneumático debe estar constituido por los siguientes componentes:

---

<sup>33</sup> OSSA DUQUE, Juliana. Sistemas Hidroneumáticos, Escuela de Ingeniería de Antioquía, 2010, internet, <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/hidroneumaticos/paginas/hidroneumaticos.htm>

- Un tanque de presión: Consta de un orificio de entrada y uno de salida para el agua (en este se debe mantener un sello de agua para evitar la entrada de aire en la red de distribución), y otro para la inyección de aire en caso de que este falte.
- Un número de bombas acorde con las exigencias de la red.
- Llaves de purga en las tuberías de drenaje.
- Válvula de retención en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al estanque hidroneumático.
- Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- Llaves de paso entre la bomba y el equipo hidroneumático; entre este y el sistema de distribución.
- Manómetro.
- Válvulas de seguridad.
- Dispositivo para control automático de la relación aire/agua. (Puede suprimirse en caso de viviendas unifamiliares)
- Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de turno y control del compresor.
- Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión.

- Tablero de potencia y control de motores.(Puede suprimirse en caso de viviendas unifamiliares)
- Dispositivo de drenaje del tanque hidroneumático y su correspondiente llave de paso.
- Compresor u otro mecanismo que reponga el aire perdido en el tanque hidroneumático.

## **2.6 INDICADORES DE GESTIÓN**

### **2.6.1 Definición y tipos<sup>34</sup>**

Disponibilidad. Se define como la “Probabilidad de que un sistema o equipo se encuentre operable u operando, sobre una base de tiempo previamente establecida”.

Una definición integral de disponibilidad es “la probabilidad de que un sistema o componente desempeñe su función en un lapso de tiempo previamente establecido cuando es operado y mantenido de una manera previamente establecida”.

---

<sup>34</sup> GUTIERREZ SANCHEZ, Alfredo, LEON QUIROGA Guillermo Alexander y MORENO RODRIGUEZ, Iván, Implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo enfocado al análisis y diagnóstico de fallas en equipos mecánicos y eléctricos del campo moriche perteneciente a mansarovar energy colombia ltd, Trabajo de Grado título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos, Bucaramanga. universidad autónoma de Bucaramanga facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012 p 37-39

Calculo de disponibilidad. En este punto se enuncian los criterios de cálculo y de análisis de la disponibilidad de los sistemas definidos, haciendo énfasis en el cálculo de la disponibilidad de diseño (disponibilidad en serie, paralela o redundante) y en el procedimiento de captura y análisis de los datos para obtener los índices de disponibilidad de dichos sistemas.

El cálculo se realiza a partir de la disponibilidad de los equipos críticos que compone cada proceso y cuya parada genere una pérdida directa de disponibilidad o producción asociada al proceso. La metodología para el cálculo de la disponibilidad ponderada de cada uno de los campos es la siguiente:

La fórmula para el cálculo de la disponibilidad de equipos es:

$$D = [THIP - (SMH + UMH)] / THIP \times 100$$

Donde,

- Total Horas en el periodo (THIP): Cantidad de horas calendario durante el periodo analizado (mensual), normalmente 720 horas para un equipo.
- Total Horas de parada planeadas (SMH): Tiempo de recibo de la información del evento, hasta su puesta en marcha, entrega de la custodia.
- Total horas de parada no planeadas (UMH): Tiempo de recibo de la información del evento, hasta su puesta en marcha, entrega de la custodia.

Confiabilidad. La duración o probabilidad de funcionamiento libre de falla para un período determinado, bajo condiciones establecidas. Medida directa de tiempo de parada no planeado.

La fórmula para el cálculo de la Confiabilidad de equipos es:

$$D = [THIP - UMH] / THIP \times 100$$

Donde,

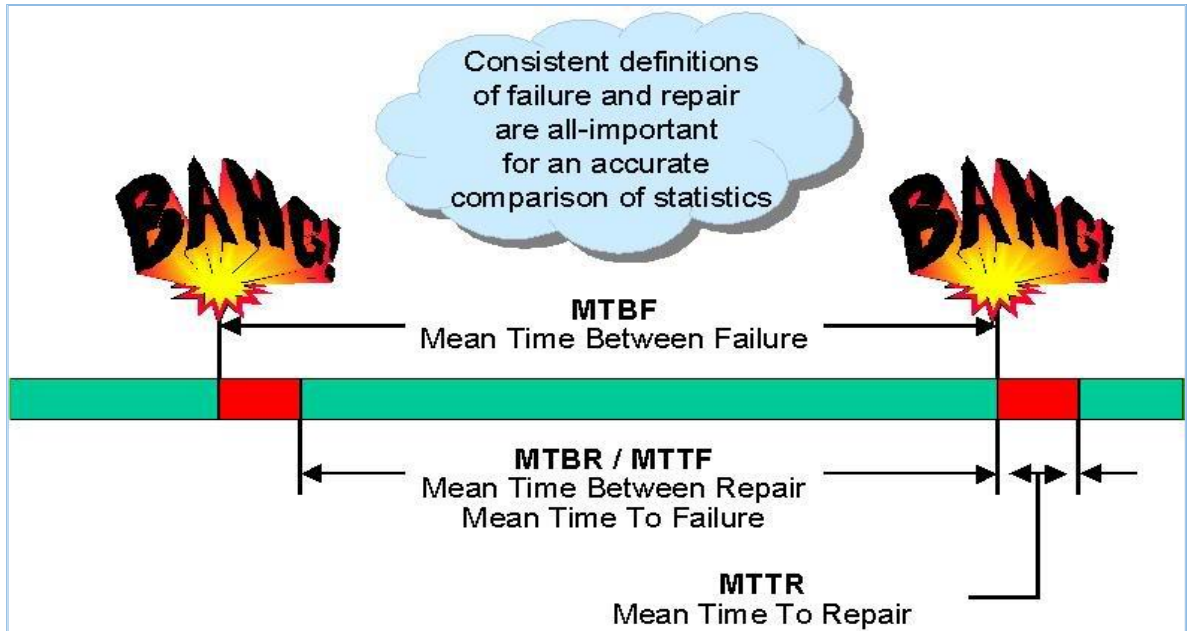
- Total Horas en el periodo (THIP): Cantidad de horas calendario durante el periodo analizado (mensual), normalmente 720 horas para un equipo.
- Total horas de parada no planeadas (UMH): Tiempo de recibo de la información del evento, hasta su puesta en marcha, entrega de la custodia.

MTTF – Tiempo medio hasta falla. Es el promedio de tiempo esperado para que ocurra la primera falla en un equipo. Para sistemas de rata de falla ( $\lambda$ ) constante, el MTTF es el inverso de la rata de falla.

MTBF – Tiempo medio entre fallas. Es el promedio de tiempo entre ocurrencia de fallas. Equivale a la suma del tiempo operativo de la máquina dividido entre el número total de fallas.

MTTR – Tiempo medio para reparar. Es el tiempo promedio para restaurar un equipo a una condición específica. Equivale al tiempo total gastado desarrollando todas las reparaciones de mantenimiento correctivo, dividido por el número total de esas reparaciones.

Figura 27. MTBF-MTTR-MTTF



Fuente; GUTIERREZ SÁNCHEZ, Alfredo, LEÓN QUIROGA Guillermo Alexander y MORENO RODRIGUEZ, Iván, Implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo enfocado al análisis y diagnóstico de fallas en equipos mecánicos y eléctricos del campo moriche perteneciente a mansarovar energy colombia ltd, Trabajo de Grado título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos, Bucaramanga. Universidad autónoma de Bucaramanga, Facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012 p 37-39

## 2.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La criticidad es un indicador que permite jerarquizar procesos, sistemas y equipos con el fin de tomar decisiones acertadas así como direccionar esfuerzos con mayores impactos en la mejora de la confiabilidad y administración del riesgo. Para este caso, nos permitirá definir a cuales equipos se les asignarán tareas proactivas.

La criticidad parte de la frecuencia de la falla multiplicada por los costos asociados a esta.

$$\textit{Críticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencias}$$

## **2.8 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF)**

El AMEF es una técnica que permite resolver los problemas que puedan surgir en un producto (o en un proceso de producción) antes incluso de que estos lleguen a aparecer.

En esencia, consiste en enumerar cada uno de los posibles fallos que se pueden producir y, a través de la valoración de la gravedad de los efectos producidos y la frecuencia de aparición de las causas que los producen, establecer un <<ranking>> de acciones a desarrollar para la mejora del diseño.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> Técnicas para la gestión de la calidad. Pedro Grima Cintas, Javier Tort-Martorell Llabres. Ediciones Díaz de Santos, 1995 - 232 páginas. Pag. 49.

### **3. DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS**

#### **3.1 EQUIPOS MECÁNICOS**

##### **3.1.1 Estado del mantenimiento**

Los equipos mecánicos que se encuentran en el sistema del río Zulia para el proceso de captación hasta la distribución del servicio de acueducto se encuentran son los equipos de bombeo, con sus complementos como válvulas de control de flujo, estos equipos se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

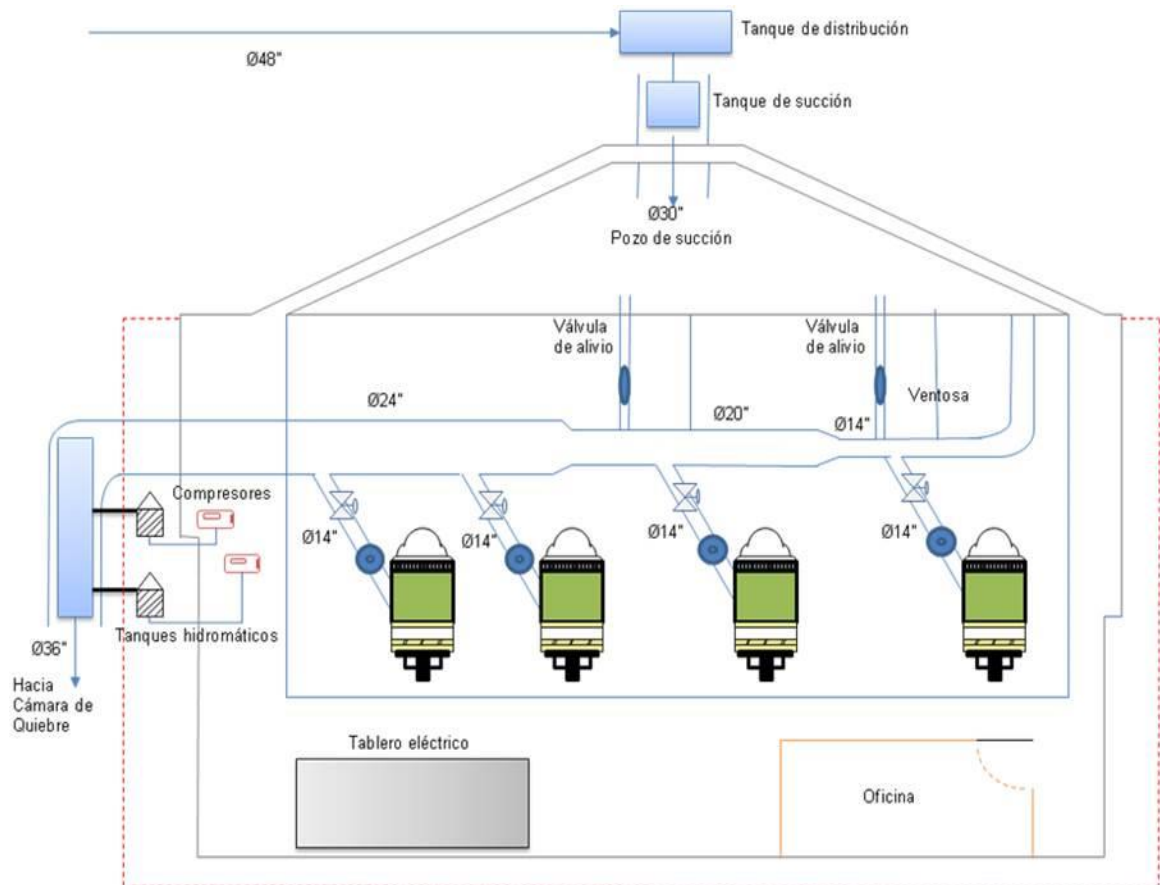
Bombas Tipo Turbina (ver Figura 22). En la estación de Tasajero se cuenta con una batería de siete (7) bombas tipo turbina de tres etapas de la marca Verti-Lyne con una capacidad de caudal de 330 lps para una cabeza hidráulica de 110 mca, c/u, estas bombas captan el agua cruda del río Zulia en una pileta de succión, estas unidades operan de forma continua en paralelo con un grupo máximo de 3 unidades y una en stand-by, por la condición del agua cruda, y la complejidad de la instalación de las bombas estos grupos de bombeo trabajan de forma continua (24 horas x 7 días), durante todo el año, y su reparación y/o cambio se realiza cuando las condiciones operacionales de estas varían dentro de los parámetros de operación como presión, caudal, amperaje y/o vibración, adicionalmente a este proceso se dejan tres grupos de bombeo en piso como stand-by para evitar paradas en el servicio cuando se presentan daños en más de una unidad al tiempo. Situaciones que se han presentado cuando se tienen altas turbiedades en el río.

Estos equipos operan hasta niveles de turbiedad de 5.000 UNT (Unidades Netas de Turbiedad), siendo estas variantes por la condición del río, situación que no permite una identificación de vida útil de los equipos, presentándose desgastes

abrasivos excesivos y altos costos de reparaciones en los mantenimientos y tiempos de paradas por daños.

En la figura 28 se muestra la configuración de las unidades de bombeo, así como los accesorios hidráulicos que en ella intervienen como son las válvulas mariposas, alivio y tanque hidroneumático que son los complementos mecánicos del sistema para evitar daños en la tubería de impulsión.

**Figura 28. Esquema Hidráulico Estación Tasajero**



Fuente: Manual de Procedimientos de Distribución y Bombeo, Aguas Kpital Cúcuta SA ESP 2013

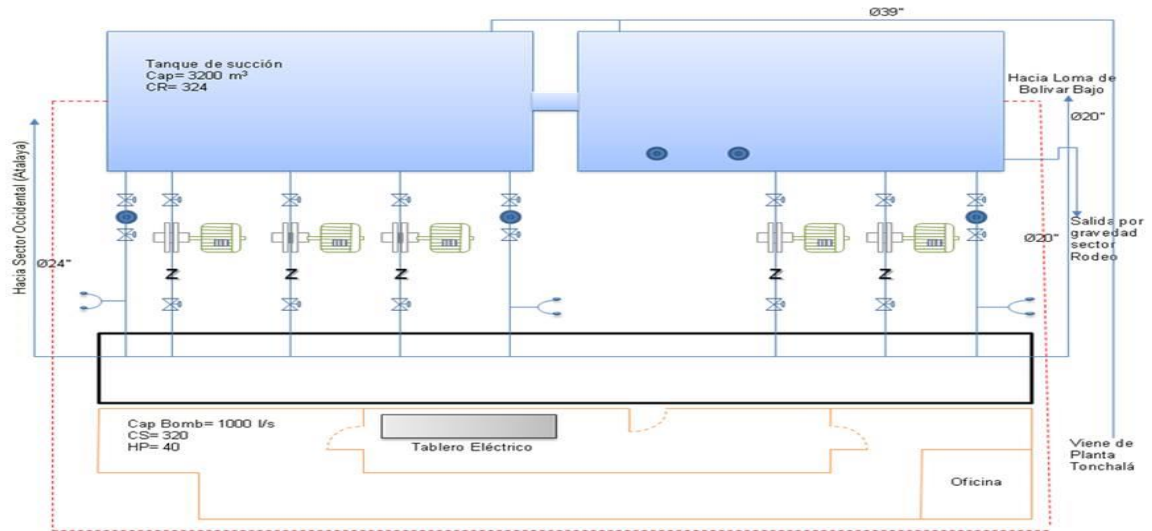
Bombas horizontales carcasa partida. Se encuentran instaladas en la estación de Nidia, estos grupos de bombeo son marca KSB, de las cuales se encuentran cinco (5) grupos de bombeo instalados y con succión positiva desde tanque de

almacenamiento, estas unidades tienen una capacidad instalada de 297 lps, las cuales están divididas en dos zonas de bombeo, La primera zona es el bombeo para el sector de Atalaya se bombea contra la red y su operación está diseñada para operar dos unidades y la tercera en stand-by por el manejo de agua potabilizada la durabilidad de los elementos internos es de mayor tiempo, sin embargo por las incrustaciones del flujo es necesaria el desmonte para su limpieza y verificación, La segunda zona es el bombeo para tanque el tanque de almacenamiento de Loma de Bolívar que se encuentra a una cabeza hidráulica estática, con dos grupos de bombeo trabajando uno de forma periódica y la otra unidad en stand-by, esta configuración se realiza de esta forma dependiendo del flujo de caudal que ingresa al tanque de almacenamiento que tiene una capacidad total en la estación de Nidia 5.800 m<sup>3</sup>.

Por las condiciones del terreno las unidades de bombeo presentan problemas constantemente de desalineación las cuales generan vibraciones, fugas por prensaestopos y daños en los rodamientos, los grupos de bombeo de la zona de atalaya son los que más se ven afectados por las condiciones de variación en las presiones de la línea de impulsión por la distribución directa a la red, de igual forma estas unidades cuentan con sistemas de volantes de inercia para evitar los golpes de ariete por la suspensión del servicio de energía en forma instantánea, en estos elementos se verifican la alineación y el estado de las chumaceras de asiento del eje.

En la Figura 29, se observa la configuración de las dos zonas de bombeo, en la estación solo se pueden operar 3 grupos de bombeo al mismo tiempo distribuidos en .dos para la zona de Atalaya y uno para la Zona de Loma de Bolívar.

**Figura 29. Esquema Hidráulico Estación Nidia.**



Fuente: Manual de Procedimientos de Distribución y Bombeo, Aguas Kpital Cúcuta SA ESP 2013

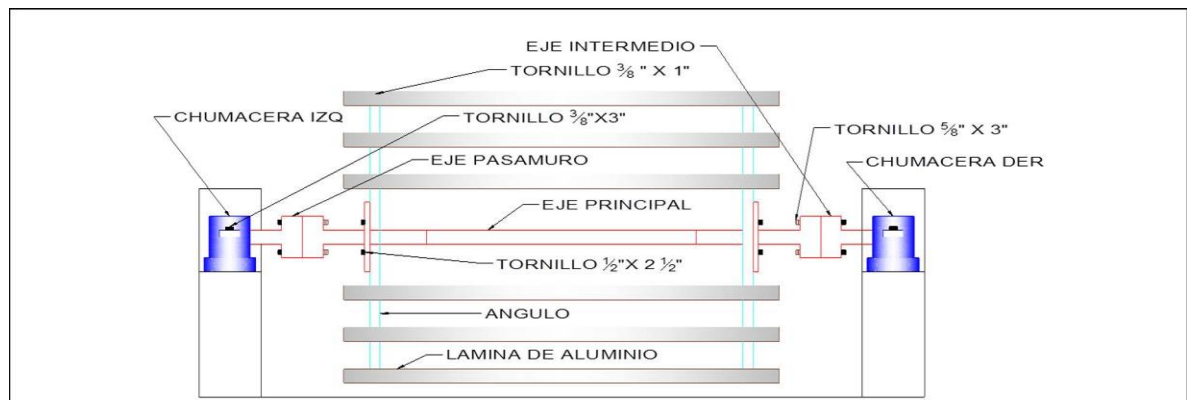
Las unidades de floculación que son parte fundamental, en el tratamiento de agua potable, es un sistema que consta de ejes interconectados a través de ejes bridados acoplados con tornillos que permiten la trasmisión de movimiento y agitación constante del fluido, permitiendo que los procesos de floculación acelerados por los químicos empleados se mezcle de forma efectiva con el agua, generando los procesos de sedimentación, estas unidades de floculación que se encuentran en la planta de tratamiento de Carmen de Tonchalá, cuenta con tres unidades de floculación que cada una consta de seis secciones con los sistemas de aspas de láminas de acero inoxidable, las cuales se encuentran sumergidas en los tanques de floculación, estas seis (6) secciones tienen juegos de aspas en forma de pareja, es decir que las dos primeras unidades cuentan con 2 juegos de aspas de cuatro pares de lámina cada una, las dos siguientes con tres pares y las dos últimas con dos, configuración de diseño de los floculadores.

Por la condición de sumergencia la verificación visual de estos mecanismos es difícil y se verifica la condición operativa en base al estado de consumo de corriente del motoreductor y del estado y/o comportamiento de proceso de

agitación del agua, condición que define el operador de la planta, los momentos de intervención se realizan en base a las condiciones operacionales en la planta cuando se desarrollan actividades de lavado de las unidades en donde se aprecia el estado de los elementos y sus componentes como chumaceras, ejes pasamuros, bujes de prolon de las chumaceras entre otros.

En la Figura 30, se observa el esquema de las unidades de floculación en una de las secciones, allí se identifican los componentes mecánicos que comprende dicho mecanismo.

**Figura 30. Esquema Sistema de Floculación.**



Fuente: Autores

Otros equipos mecánicos que intervienen en el proceso son:

Las válvulas mariposa con reductoras manuales. Las válvulas mariposas con transmisión se encuentra en el manejo de filtros de las planta Carmen de Tonchalá tienen un sistema de reducción con un piñón principal que permite disminuir la fuerza necesaria para la manipulación, la diferencia que radica en estos dos tipos de válvula es que el mando de la válvula en el caso de las que tiene transmisión esta se realiza a través de un eje de alargue con conexión aun volante que permite operarlo a distancia.

El mantenimiento de este tipo de válvulas se realiza según el programa de mantenimiento cada dos meses, entre las actividades que se realiza esta la lubricación de su mecanismo de operación, y la verificación del recorrido (cierre y apertura).

### **3.1.2 Indicadores**

Los indicadores de servicio de estos equipos actualmente se basa en la disponibilidad de ellos, y por los reportes de fallas de los operadores de las estaciones de bombeo y los de la Planta de Tratamiento, estos indicadores se calculan en:

$$\text{Calidad del Servicio} = \frac{\text{Horas Total Mes} - \text{Horas de No Disponibilidad}}{\text{Horas Total del Mes}}$$

Las Horas de No Disponibilidad: Es el tiempo que dura un equipo sin operar cuando se está haciendo inspección o se encuentra en reparación.

## **3.2 EQUIPOS ELÉCTRICOS**

### **3.2.1 Estado del mantenimiento**

Los equipos eléctricos de este sistema en especial para los casos de las estaciones de bombeo de Tasajero y Nidia son de media tensión debido a que su operación se realiza en 6,6 KV, y las subestaciones son de 34,5 KV, por la carga operativa de los equipos para el caso de la Estación de Tasajero se cuenta con un transformador de 2,5 MVA de 34,5 KV / 6,6 KV, y el de la estación de Nidia con la misma relación de tensión es de 1,6 MVA, generando una situación delicada debido a que estos transformadores son especiales y no se encuentran a rápida

disposición en la eventualidad de alguna falla de ellos, sin embargo los equipos por su complejidad y por no contar con personal idóneo en dichas tareas, se contrata con la empresa comercializadora de energía las atenciones puntuales en caso de necesidad, ver Figura 31.

Los tableros de operación de dichas estaciones por su nivel de tensión son tableros de celdas y su sistema de arranque es arranque directo situación que por su condición de nivel de tensión genera grandes esfuerzos en los equipos mecánicos y eléctricos al recibir dichas descargas, situaciones que han generado problemas de disparo de corrientes por sobre carga, los cuales repercuten en los elementos de protección, debilitando aún más su vida útil, la cual se encuentra para cambio después de 18 años de operación, Ver Figura 31.

Por otro lado los equipos de maniobra o tableros de la planta de tratamiento son equipos de operación en 440V y en 220V, equipos que por su baja nivel de carga son más comerciales y sus procesos de mantenimiento más prácticos,

**Figura 31. Registro Fotográfico Subestación Eléctrica Nidia.**



Fuente: Autores

### 3.2.2 Indicadores

Los indicadores de servicio de estos equipos actualmente se basa en la disponibilidad de ellos, y por los reportes de fallas de los operadores de las estaciones de bombeo y los de la Planta de Tratamiento, estos indicadores se calculan en:

$$\text{Calidad del Servicio} = \frac{\text{Horas Total Mes} - \text{Horas de No Disponibilidad}}{\text{Horas Total del Mes}}$$

La calidad del servicio de los equipos es alta, debido a que la operación es continua y no existen paradas para inspección sino que estas se realizan en base a la operación del bombeo revisando los equipos que se encuentran en stand-by.

### 3.3 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS

#### 3.3.1 Estado del mantenimiento

Los motores eléctricos que se encuentran en las estaciones de Bombeo de Tasajero y Nidia, son motores de 700 y 450 HP, respectivamente, estos motores son de la marca US Motors, tipo jaula de ardilla, los primeros son de posición vertical y los otros horizontal, como la operación de estos equipos son con tableros eléctricos de arranque directo en media tensión, las cargas de sobre corriente a las cuales están expuestas son altas, generando desgastes en los rodamientos, por la configuración de operación del sistema la intervención de estos equipos es limitada aun contando con un equipo de reserva para el caso de la estación de Tasajero, en la estación de Nidia es diferente porque el intercambio de los motores se puede realizar libremente entre las dos zonas de bombeo, es por ellos que los motores de Tasajero y por la alta potencia son de mayor cuidado y control, para su inspección se realiza cambio de rodamientos cada 8 a 12 meses de operación sin

embargo en oportunidades se deja más tiempo, debido a que los rodamientos aunque están sumergidos en aceite hidráulico 68, su comportamiento operacional esta en lo normal, sin embargo se han presentado eventos de cambio de estos elementos antes del tiempo previsto, pero por la condición de operación y no de un parámetro de control.

Para el caso de los motores de Nidia los rodamientos son lubricados por grasa por intermedio de graseras, esta maniobra se realiza en la medida que se hace la inspección por el calendario y dependiendo del estado de la grasa que no se encuentre contaminada.

### **3.3.2 Indicadores**

Así como la medición en los sistemas eléctricos se determina es la calidad del Servicio.

## **4. PROPUESTA Y ESTRATEGIA METODOLOGICA**

Se propone la realización de un Análisis del modo y efectos de fallo que permita establecer la criticidad de cada equipo y con base en los resultados, se definen las tareas proactivas para los equipos más críticos.

Se obtendrán los costos respectivos de cada tarea y la frecuencia de su ejecución, tanto para si se realizan externamente o a través de personal de la empresa.

Se definirá la mejor estrategia costo efectiva según las opciones establecidas y analizadas.

Finalmente se definirán los indicadores de gestión para garantizar un seguimiento efectivo al proceso.

### **4.1 MATRIZ DE CRITICIDAD**

Aguas Kpital Cúcuta SA ESP no cuenta con una matriz de Criticidad que permita realizar un AMEF, por lo tanto se realizaron talleres a nivel estratégico con el fin de definirla.

Teniendo en cuenta los objetivos organizacionales y el core del negocio se establecieron las siguientes consecuencias:

- Pérdida Producción = Impacto en m3 ocasionado por la falla.
  
- Impacto al personal = Incidencia de la falla en la afectación al colaborador.

- Impacto ambiental = Daños o efectos sobre el medio ambiente ocasionados por el evento.
- Impacto a la población = Impacto en la integridad de las personas.
- Costos = Costo de reparar la falla, las afectaciones locativas y/o la reposición de equipos. Se cuantifica en millones de pesos colombianos.

Finalmente, del ejercicio se definió la siguiente tabla:

**Tabla 4. Matriz de Impactos y frecuencias**

Categoría	Pérdida Producción (m3)	Impacto al personal	Impacto Ambiental	Impacto a la población	Costos (Daño+afectaciones físicas+reposición) (Millones COP)
5	622,080.00	Una o más fatalidades	Contaminación Irreparable	Una o más fatalidades	\$ 837.03
4	228,096.00	Incapacidad permanente (parcial o total)	Contaminación Mayor	Incapacidad permanente (parcial o total)	\$ 324.92
3	114,048.00	Incapacidad temporal (>1 día)	Contaminación Localizada	Incapacidad temporal (>1 día)	\$ 205.43
2	14,256.00	Lesión menor (sin incapacidad)	Efecto Menor	Lesión menor (sin incapacidad)	\$ 46.86
1	9,504.00	Lesión leve (primeros auxilios)	Efecto Leve	Lesión leve (primeros auxilios)	\$ 40.68
0	Sin impacto	Ninguna lesión	Sin impacto	Ninguna lesión	Sin impacto

*Fuente: Autores*

Y la matriz de criticidad es la siguiente:

**Tabla 5. Matriz de Criticidad**

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Fuente: Autores

#### 4.2 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF)

Una vez obtenida la matriz de criticidad se agruparon los equipos de acuerdo a su función, sin tener en cuenta la ubicación geográfica. Posteriormente, con ayuda del personal de mantenimiento, se definieron los 2 o 3 tres modos de falla que más impactan la producción y se evaluó su criticidad, resultando:

**Tabla 6. Análisis de modo y efecto de fallas**

SISTEMA	SUBSISTEMA	MODO DE FALLA	CRITICIDAD	OCURRENCIA	Pérdida Producción (m3)	Impacto al personal	Impacto Ambiental	Impacto a la población	Costos (Daño+afectaciones físicas+reposición) (Millones COP)
SISTEMA DE BOMBEO	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	36	2	1	5	3	5	4
		Bloqueo por mala operación del equipo	21	3	2	0	0	0	5
		Daño de equipo de	12	3	3	0	0	0	1

		maniobra							
	MOTOR	Quemado de bobina	20	2	2	2	1	1	4
		Rotura de eje	12	2	3	0	0	0	3
		Frenado por daño de rodamientos	36	3	2	2	3	2	3
	BOMBA	rotura de impulsores	36	4	2	0	2	1	4
		rotura de eje	20	4	1	0	1	0	3
	VÁLVULAS	Bloqueo de válvula	24	3	1	3	1	1	2
		Frenado de mecanismo de maniobra	28	4	2	3	0	0	2
<b>SISTEMA HIDRONEUMÁTICO</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	30	2	1	4	3	5	2
		Bloqueo del circuito de maniobra	9	3	2	0	0	0	1
		Daño de equipo de maniobra	12	3	3	0	0	0	1
	MOTOR	Quemado de bobina	20	2	2	2	1	1	4
		Rotura de eje	16	2	3	1	0	0	4
		Frenado por daño de rodamientos}	21	3	2	0	0	0	5
	COMPRESOR	Rotura de cámara de presión	26	2	2	2	3	1	5
		Frenado de biela de compresión	30	3	2	1	2	0	5
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Fuga por tubería y sistema de contención	6	1	2	0	0	0	4	
<b>SISTEMA DE FLOCULACIÓN</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	22	2	1	2	3	1	4
		Bloqueo del circuito de maniobra	18	3	2	0	0	0	4
		Daño de equipo de maniobra	18	3	3	0	0	0	3

	MOTOR	Quemado de bobina	30	3	2	2	1	1	4
		Rotura de eje	16	2	3	1	0	0	4
		Frenado por daño de rodamientos}	28	4	2	0	0	0	5
	MOTO REDUCTOR	Rotura de engranajes de transmisión	24	3	2	0	3	0	3
		Falla de rodamientos o sistema de alineación	24	3	3	0	2	0	3
	AGITACIÓN	Rotura de eje	32	4	3	0	2	0	3
		Atascamiento de agitación por mecanismo de aspas	28	4	2	0	2	0	3

Fuente:Autores

En la tabla anterior se resaltaron los equipos con más alto índice de criticidad.

### 4.3 ESTRATEGIAS DE MONITOREO

#### 4.3.1 Técnicas a utilizar

Para atacar las causas de falla buscando prevenir una consecuencia mayor o una parada o baja considerable en la producción, se definen para los equipos más críticos las siguientes técnicas de monitoreo:

**Tabla 7. Equipos más críticos y técnicas de monitoreo**

<b>SISTEMA</b>	<b>SUBSISTEMA</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>CRITICIDAD</b>	<b>TÉCNICA A UTILIZAR</b>
<b>SISTEMA DE BOMBEO</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	36	Termografía
	MOTOR	Frenado por daño de rodamientos	36	Vibraciones FFT y Termografía
	BOMBA	rotura de impulsores	36	Vibraciones FFT
	VÁLVULAS	Bloqueo de válvula	24	Prueba funcional
		Frenado de mecanismo de maniobra	28	Prueba funcional
<b>SISTEMA HIDRONEUMÁTICO</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	30	Termografía
	COMPRESOR	Rotura de cámara de presión	26	Desempeño recíprocante
		Frenado de biela de compresión	30	Desempeño recíprocante
<b>SISTEMA DE FLOCULACIÓN</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	22	Termografía
	MOTOR	Quemado de bobina	30	Prueba de aislamiento
		Frenado por daño de rodamientos}	28	vibraciones FFT y termografía
	MOTO REDUCTOR	Rotura de engranajes de transmisión	24	lubricación y vibraciones FFT
		Falla de rodamientos o sistema de alineación	24	vibraciones FFT
	AGITACIÓN	Rotura de eje	32	vibraciones FFT
		Atascamiento de mecanismo de aspas	28	vibraciones FFT

*Fuente: Autores*

Se observa que dentro de los resultados, existen dos modos de falla que se pueden prevenir simplemente con la realización de pruebas funcionales.

Volviendo a la tabla anterior, agrupando por técnica tenemos lo siguiente:

- a. Vibraciones FFT: Frenado por daño de rodamientos, rotura de impulsores, Rotura de engranajes de transmisión, rotura de eje, falla en el sistema de alineación y atascamiento de mecanismo de aspas.
- b. Lubricación: Rotura de engranajes de transmisión
- c. Termografía: Corto Circuito y frenado por daño de rodamientos.
- d. Desempeño recíproco: Rotura cámara de presión, frenado de biela de compresión.
- e. Prueba de aislamiento: Quemado de bobina.

#### **4.4 PLAN DE MONITOREO**

Debido a que no se cuenta con suficiente información que permita definir un tiempo medio entre fallas y por ende establecer unas frecuencias de monitoreo que se ajusten al contexto operacional, se toman las recomendaciones más conservadoras encontradas en la literatura resaltando que una vez obtengan suficientes elementos de juicio, Aguas Kpital Cúcuta SA ESP deberá evaluar las frecuencias de análisis.

Este plan no incluye capacitaciones ni tiempos de adquisición de equipos.

#### 4.4.1 Frecuencias de monitoreo

**Tabla 8. Frecuencias de monitoreo**

SISTEMA	SUBSISTEMA	MODO DE FALLA	TÉCNICA A UTILIZAR	FRECUENCIA
<b>SISTEMA DE BOMBEO</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	Termografía	3 meses
	MOTOR	Frenado por daño de rodamientos	Vibraciones FFT y Termografía	2 meses / 3 meses
	BOMBA	rotura de impulsores	Vibraciones FFT	2 meses
	VÁLVULAS	Bloqueo de válvula	Prueba funcional	6 meses
Frenado de mecanismo de maniobra		Prueba funcional	6 meses	
<b>SISTEMA HIDRONEUMÁTICO</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	Termografía	3 meses
	COMPRESOR	Rotura de cámara de presión	Desempeño recíprocante	3 meses
		Frenado de biela de compresión	Desempeño recíprocante	3 meses
<b>SISTEMA DE FLOCULACIÓN</b>	TABLERO DE CONTROL	Corto circuito	Termografía	3 meses
	MOTOR	Quemado de bobina	Prueba de aislamiento	12 meses
		Frenado por daño de rodamientos}	vibraciones FFT y termografía	2 meses / 3 meses
	MOTO REDUCTOR	Rotura de engranajes de transmisión	lubricación y vibraciones FFT	0.5 meses / 2 meses
		Falla de rodamientos o sistema de alineación	vibraciones FFT	2 meses
	AGITACIÓN	Rotura de eje	vibraciones FFT	2 meses
Atascamiento de mecanismo de aspas		vibraciones FFT	2 meses	

Fuente: Autores

## 4.5 COSTOS

Se presentan tres alternativas para cumplir con las frecuencias establecidas en el punto anterior.

La primera consiste en la delegación de la actividad a un tercero, siendo esta la actividad de más rápida ejecución ya que solo requiere el perfeccionamiento del proceso de licitación y el trámite de contratación.

Para el caso de adquirir tecnologías tanto duras como blandas para la empresa tenemos dos opciones: capacitar al personal o contratar el experto en el tema.

### 4.5.1 Contratación de terceros u Outsourcing

En la actualidad, gran parte de las tareas que requieren alguna clase experticia se están ejecutando a través de outsourcing; la razón fundamental es que las empresas deben enfocarse en los objetivos de su negocio que para este caso es la potabilización y distribución del servicio de acueducto, por lo tanto es más cómoda la tercerización para el mantenimiento de los activos y más aún en la implementación de nuevas tecnologías que se desconocen.

A continuación se presentan los valores del costo por equipo analizado:

**Tabla 9. Costo por outsourcing de monitoreo de equipos**

<b>TÉCNICA</b>	<b>COSTO POR EQUIPO</b>
Vibraciones	\$700.000
Termografía	\$800.000
Análisis de Aceites	\$150.000
Aislamiento	\$300.000
Desempeño recíprocante	\$15.000.000

*Fuente:Autores*

Es importante establecer que estos valores no incluyen viáticos y son basados en el análisis de 1 solo activo o muestra e incluyen el alquiler de los equipos de medición.

Como se observa, el valor de un análisis de desempeño recíprocante es supremamente costoso con respecto a las otras técnicas; esto debido a la escasez de personal en Colombia especialista en el tema.

#### **4.5.2 Implementación con personal propio – Capacitación**

Para este análisis se debe tener en cuenta la previa adquisición de los equipos de medición. La siguiente tabla muestra los valores de mercado:

**Tabla 10. Costo de Adquisición de equipos**

<b>TÉCNICA</b>	<b>COSTO</b>
Vibraciones	\$80.000.000
Termografía	\$35.000.000
Análisis de Aceites	\$150.000
Aislamiento	\$10.000.000
Desempeño recíprocante	\$300.000.000

*Fuente:Autores*

Para el caso de los aceites es inviable establecer todo un laboratorio de análisis y por ende se mantienen los mismos costos.

Al igual que en la sección 4.5.14.5.1, la técnica de desempeño recíprocante sobresale en valor con respecto a las demás

Paralelamente a las órdenes de compra de los equipos de medición se deben iniciar las capacitaciones del personal que se encargará de manejarlos. A continuación los precios promedio de dichas capacitaciones los cuales incluyen viáticos:

**Tabla 11. Costo Capacitaciones**

<b>TÉCNICA</b>	<b>COSTO</b>
Vibraciones	\$5.000.000
Termografía	\$4.500.000
Aislamiento	\$1.000.000
Desempeño recíprocante	\$10.000.000

*Fuente: Autores*

#### **4.5.3 Implementación con personal propio – Contratación de experto**

Finalmente como última opción se encuentra la integración al personal de un experto en técnicas de monitoreo que conozca el manejo de los equipos y posteriormente logré analizar efectivamente los resultados obtenidos.

Conseguir un profesional certificado en las múltiples técnicas puede ser una tarea de alto desgaste y que requerirá una oferta atractiva para movilizarlo a la ciudad de Cúcuta.

En sondeos con diferentes profesionales, se observó un promedio en la tarifa de \$300.000 por día, es decir un valor de \$9.000.000 por mes, que al sumar todos los aportes obligatorios y parafiscales la cifra rondaría los \$13.500.000 para la empresa.

Es importante aclarar que tal y como se especificó en la sección 4.5.1 no es viable la contratación de un experto que maneje la técnica de desempeño recíprocante, debido a la escasez de personal cualificado, por lo tanto esta actividad se deberá subcontratar.

#### 4.5.4 Comparación a dos años y selección

##### a. Outsourcing

A continuación se muestran los costos de implementación

**Tabla 12. Costo de implementación del plan a dos años mediante outsourcing**

<b>SISTEMA</b>	<b>SUBSISTEMA</b>	<b>TOTAL EQUIPOS</b>	<b>TÉCNICA A UTILIZAR</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>MEDICIONES EN 2 AÑOS</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>SISTEMA DE BOMBEO</b>	TABLERO DE CONTROL	9	Termografía	3 meses	72	\$57,600,000
	MOTOR	9	Vibraciones FFT	2 meses	108	\$ 75,600,000
		9	Termografía	3 meses	72	\$ 57,600,000
	BOMBA	12	Vibraciones FFT	2 meses	144	\$ 100,800,000
	VÁLVULAS	23	Prueba funcional	6 meses	92	\$ 0
		23	Prueba funcional	6 meses	92	\$ 0
<b>SISTEMA HIDRONEUMÁTICO</b>	TABLERO DE CONTROL	1	Termografía	3 meses	8	\$ 6,400,000
	COMPRESOR	2	Desempeño Recíprocante	3 meses	16	\$ 30,000,000
<b>SISTEMA DE</b>	TABLERO DE CONTROL	10	Termografía	3 meses	80	\$ 64,000,000
	MOTOR	3	Prueba de	12 meses	6	\$ 1,800,000

<b>FLOCULACIÓN</b>			aislamiento			
		3	Vibraciones FFT	2 meses	36	\$ 25,200,000
		3	Termografía	3 meses	24	\$ 19,200,000
	MOTO REDUCTOR	3	lubricación	0.5 meses	312	\$ 46,800,000
		3	Vibraciones FFT	2 meses	36	\$ 25,200,000
	AGITACIÓN	18	Vibraciones FFT	2 meses	216	\$ 151,200,000
						<b>TOTAL</b>

Fuente:Autores

#### b. Capacitación

A continuación se muestran los costos de adquisición de equipos y los valores de capacitación del personal

**Tabla 13. Costo de implementación del plan mediante adquisición de equipos y capacitaciones**

<b>TÉCNICA</b>	<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>CAPACITACIÓN</b>
Vibraciones	\$ 80,000,000	\$ 5,000,000.00
Termografía	\$ 35,000,000	\$ 4,500,000.00
Análisis de Aceites	\$ 46,800,000	\$ 0.00
Aislamiento	\$10.000.000	\$ 1,000,000.00
Desempeño recíprocante	\$ 350,000,000	\$ 10,000,000.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 511,800,000</b>	<b>\$ 20,500,000.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 532,300,000</b>	

Fuente:Autores

c. Contratación de experto

**Tabla 14. Costo de implementación del plan a dos años mediante contratación de experto**

<b>TÉCNICA</b>	<b>COSTO</b>
Vibraciones	\$ 80,000,000
Termografía	\$ 35,000,000
Análisis de Aceites	\$ 46,800,000
Aislamiento	\$10.000.000
Desempeño recíprocante	\$ 350,000,000
Experto	\$ 324,000,000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 835,800,000</b>

*Fuente: Autores*

d. Selección

Tomando en cuenta los costos totales, se observa que la mejor elección costo efectiva a primera vista es la capacitación, sin embargo existen riesgos no cuantificables como lo son:

- Tiempo y curva de aprendizaje del personal
- Resultados a mediano plazo
- Posible fuga de experiencia a otras empresas.

Estas consideraciones deben llevarse a nivel gerencial, a fin de definir claramente las metas del proceso.

#### **4.6 INDICADORES DE GESTIÓN**

Para establecer mecanismos que permitan evaluar los éxitos de la implementación del programa de mantenimiento basado en condición, se utilizarán los indicadores de gestión previamente definidos en la sección 2.6, es decir:

- Disponibilidad
  
- Confiabilidad
  
- Tiempo medio entre fallas

## 5. CONCLUSIONES

Se logró asociar la técnica de monitoreo acorde a los equipos objeto del análisis.

No se cuenta con un CMMS que permita consolidar la información de cada equipo y de esta manera conocer cómo ha sido el comportamiento de cada activo a lo largo de su ciclo de vida

Se generó la matriz de criticidad y de esta manera se logró establecer dicho indicador para los diferentes modos de falla, derivados del análisis de modo y efecto de falla o AMEF. Denotándose que incluso algunos modos de falla se pueden prevenir simplemente con pruebas funcionales que no se habían contemplado.

Una vez se establecieron los equipos críticos, sus modos de falla y las técnicas de monitoreo óptimas para atacar dichas causas, se establecieron las frecuencias de monitoreo adecuadas a la información encontrada en terreno y en digital. Como no se cuenta con suficiente información, inicialmente se toman frecuencias conservadoras, que tendrán que ser revaluadas por el personal asignado.

Debido a la falta de madurez de un sistema de información para el área de mantenimiento, se definieron los indicadores más comunes, esto es: disponibilidad, confiabilidad y tiempo medio entre fallas

Se evaluó la alternativa de contrato por outsourcing o mediante capacitación del personal que labora actualmente así como la posibilidad de la contratación de un experto en el tema, decisión que debe realizarse a nivel gerencial teniendo en cuenta los costos y elementos de juicio establecidos en esta monografía.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILLON AVILA, Pedro Antonio. Propuesta para el mejoramiento de la eficiencia energética en la estación de bombeo San Luis, sector 4 vientos perteneciente a la empresa AGUAS KPITAL CUCUTA SA ESP, Norte de Santander, Trabajo de grado Ingeniero Electromecánico, Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería, Plan de Estudios de Ingeniería Electromecánica, 2013, p 55.

AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP. Aguas Kpital Cúcuta, se certifica en la NTC ISO 9001:2008, Internet: [http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com\\_content&view=article&id=206:aguas-kpital-cucuta-se-certifica-en-la-ntc-iso-90012008&catid=1:latest-news](http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com_content&view=article&id=206:aguas-kpital-cucuta-se-certifica-en-la-ntc-iso-90012008&catid=1:latest-news)  
Fluke redefine la solución de problemas mecánicos mediante un análisis de vibraciones, Internet: : <http://www.fluke.com/fluke/coes/products/analizadores-vibraciones.htm>

AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP. Manual de Procedimientos de Distribución y Bombeo. 2013

AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, Nuestra Empresa, Reseña Histórica, Internet:, [http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=70](http://www.akc.com.co/page/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=70)

AGUAS KPITAL CÚCUTA SA ESP, Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Versión 2006.

BAUMEISTER, Theodore. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. Edición 8. 1993. Volumen III. p. 15-54

BELTRAN MARIN, Sergio Andrés Plan de negocios para la creación del central de metrología industrial de la Universidad Industrial de Santander, bajo los lineamientos de la norma NTC-IEC 17035, Universidad Industrial, 2010. p. 18.

DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ, Felipe, Metrología Dimensional, Facultad de estudios superiores Cuautitlan, Departamento de Ingeniería, Laboratorio de Tecnología de Materiales, Cuautitlan Izcalli, 2010. p. 28.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. metrología y mecánica de banco, protocolo curso de procesos de manufactura, Facultad de Ingeniería Industrial 2007. p. 7

GARCIA GARRIDO, Santiago, Ingeniería del Mantenimiento: Las cinco generaciones del mantenimiento. Internet: (<http://www.xing.com/net/ingenieriamantenimiento/general-145085/las-cinco-generaciones-de-mantenimiento-11178318>)

GOMELLA, Cyril y GUERRÉE, Henri. Tratamiento de Aguas Para Abastecimiento Público, Barcelona 1977, pág 70

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón, Mantenimiento Preventivo, Gerencia de Mantenimiento, 2013. p. 1.

GRIMAS CINTAS, Pedro, y TORT-MARTORELL LLABRES, Javier. Técnicas para la gestión de la calidad. Ediciones Díaz de Santos, 1995 - 232 páginas. Pag. 49.

GUTIERREZ SANCHEZ, Alfredo, LEON QUIROGA Guillermo Alexander y MORENO RODRIGUEZ, Iván, Implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo enfocado al análisis y diagnóstico de fallas en equipos

mecánicos y eléctricos del campo moriche perteneciente a mansarovar energy colombia ltd, Trabajo de Grado título de Especialista en Gerencia de Recursos Energéticos, Bucaramanga. universidad autónoma de Bucaramanga facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2012 p 37-39

HUERTA MENDOZA, Rosendo, El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional Internet: (<http://es.scribd.com/doc/44645225/ANALISIS-DE-CRITICIDAD>)

MUNDARAIN CASTAÑEDA, Christian H, Diseño de un programa de mantenimiento basado en condición, enfocado a la mejora de la efectividad de los activos rotativos, Puerto la Cruz: Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería y ciencias aplicadas, Departamento de Mecánica, 2009, p 36.

OSSA DUQUE, Juliana. Sistemas Hidroneumáticos, Escuela de Ingeniería de Antioquía, 2010. Internet: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/hidroneumaticos/paginas/hidroneumaticos.htm>

RODRIGUEZ M., Orlando. Estrategia de Mantenimiento para la nueva planta de gas de Ecopetrol s.a. CPF de cupiagua. Universidad Industrial de Santander, 2012 pág 46.

TRANSMISION MECANICA. Internet. <http://es.scribd.com/doc/25882475/TRANSMISION-MECANICA>