

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
FILOSOFÍA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN  
DE AGUA POTABLE PARAÍSO I DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO,  
ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ

ALEXANDER USECHE TORRES

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

2018

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA  
FILOSOFÍA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN  
DE AGUA POTABLE PARAÍSO I DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO,  
ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ

ALEXANDER USECHE TORRES

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de  
especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: FREDY MANFRED PAEZ CHAPARRO

Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica

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

2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS como creador de la gracia de la vida, por permitirme conocer el valor de las cosas simples y por las infinitas bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida, agradezco lo que poseo, con ello he tenido las herramientas necesarias para forjar mi camino en la vida y también agradezco lo que no poseo esto se convierte en una motivación continua de crecer como ser humano, agradezco ser un defensor de la vida y las causas justas.

A mi señora madre, por todo su amor, entrega, sacrificio, por ser la columna vertebral de mí ser y reflejo de su esfuerzo y dedicación, a mis hermanos por su apoyo y motivación constante, por el cariño con que guían mi vida y por ser una luz en la oscuridad cuando la esperanza se atenúa

A todos los maestros de la especialización, por compartir su conocimiento y experiencias por el apoyo en esta nueva etapa de mi vida

Agradezco a todos mis compañeros de estudio, de trabajo, al director de monografía por las acertadas observaciones y las voces de aliento

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1. LA EMPRESA DE AGUA, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ</b>	<b>15</b>
1.1. Generalidades .....	15
1.1.1. Ubicación geográfica.....	17
1.1.2. Misión.....	18
1.1.3. Visión.....	18
1.1.4. Valores Corporativos.....	18
1.1.5. Reseña histórica. ....	20
1.1.6. Organigrama. ....	23
1.2. Acueducto.....	25
1.2.1. Acueducto Integral.....	25
1.2.2. Acueducto Técnico .....	26
1.2.3. Acueducto Social.....	32
1.2.4. Acueducto Ambiental .....	35
1.2.5. Acueducto Financiero.....	36
1.2.6. Acueducto Legal.....	37
1.3. Ruta del agua.....	40
1.3.1. Fuentes de abastecimiento y plantas de tratamiento.....	40
1.3.2. Gerencia corporativa de sistema maestro.....	43
1.3.3. Dirección red matriz.....	44
1.3.4. División centro de control.....	46
1.3.5. Dirección electromecánica.....	49
1.3.6. División ejecución de mantenimiento.....	50
1.3.7. División táctica de mantenimiento.....	51
<b>2. ANÁLISIS TEÓRICO RCM.....</b>	<b>52</b>
2.1. Evolución de mantenimiento.....	52
2.2. Mantenimiento basado en confiabilidad RCM.....	57
2.3. Enfoque del RCM.....	58
2.3.1. Enfoque en riesgo.....	58

2.3.2. Enfoque en producción. ....	59
2.3.3. Enfoque en confiabilidad.....	59
2.3.4. Enfoque en optimización.....	59
2.4. Beneficios. ....	59
<b>3. JUSTIFICACIÓN. ....</b>	<b>61</b>
3.1. Estación de Bombeo Paraíso I, contexto operacional. ....	63
3.2. Principales Fallas.....	67
3.3. Objetivos.....	68
3.3.1. Objetivo general.....	68
3.3.2. Objetivos específicos. ....	68
<b>4. DESARROLLO DE METODOLOGÍA RCM ESTACIÓN DE ESTUDIO. ..</b>	<b>69</b>
4.1. Las siete preguntas del RCM. ....	69
4.2. Paso para implementación RCM.....	69
4.3. Definición de los sistemas. ....	70
4.4. Definición equipos críticos.....	72
4.5. Resultados criticidad por sistemas. ....	77
4.6. Modos de falla equipos, causas de falla.....	79
4.7. Tareas de mantenimiento.....	88
<b>5. PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>91</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Suscriptores Acueducto y Alcantarillado – Año 2017. ....	27
Tabla 2. Consumos por estratos año 2017. ....	28
Tabla 3. Balance Financiero EAB-ESP.....	37
Tabla 4. Tanques y estaciones Cadena Centro Oriente.....	62
Tabla 5. Características unidades de bombeo .....	66
Tabla 6. Matriz de frecuencia de falla.....	74
Tabla 7. Matriz de criticidad. ....	755
Tabla 8. Matriz de consecuencias. ....	766
Tabla 9. Equipos críticos sistema bombeo Paraíso I.....	777
Tabla 10. Equipos críticos sistema eléctrico Paraíso I .....	788
Tabla 11. Equipos críticos sistema monitoreo y control Paraíso I .....	799
Tabla 12. Causas de falla y efectos por sistema bombeo .....	8080
Tabla 13. Causas de falla y efectos sistema eléctrico.....	811
Tabla 14. Causas de falla efectos sistema monitoreo y control.....	844
Tabla 15. Niveles técnicos División ejecución y táctica.....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: EAB-ESP Sede Centro Nariño.....	16
Figura 2: Gestión integral del agua .....	17
Figura 3: Ubicación geográfica sede principal .....	18
Figura 4:Valores corporativos .....	20
Figura 5: Acueducto de Bogotá Año 1961 .....	21
Figura 6: Historia del Acueducto .....	22
Figura 7: Organigrama Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ....	24
Figura 8: Ciclo de la gestión integral del agua.....	26
Figura 9: Esquema distribución a municipios.....	29
Figura 10: Mapa zonas de Bogotá.....	30
Figura 11: Maquinaria y equipos Acueducto .....	31
Figura 12: Ampliación, revestimiento y mantenimiento canales .....	32
Figura 13: Tomas y Jerónimo tomando agua de la llave del EAB .....	33
Figura 14: Pequeñas centrales hidroeléctricas – EAB-ESP .....	36
Figura 15: Ruta del agua.....	40
Figura 16: Fuentes de abastecimiento.....	41
Figura 17: Planta de tratamiento Francisco Wiesner .....	42
Figura 18: Plano general Red Matriz .....	45
Figura 19: Centro de Control Acueducto de Bogotá.....	47
Figura 20: Reductoras de presión Usaquén, Zona baja norte .....	48
Figura 21: RCM y evolución del mantenimiento.....	52
Figura 22: Patrones de falla primeras generaciones de mantenimiento .....	54
Figura 23: Patrón de falla de equipos en línea de tiempo .....	56
Figura 24: Aspectos de incidencia de la confiabilidad.....	58
Figura 25: Esquema cadena de bombeo Centro Oriente .....	61
Figura 26: Estación de bombeo Paraíso I.....	63
Figura 27: Zona de afectación servicio cadena sur oriental .....	64
Figura 28: Esquema de operación Paraíso I.....	65

Figura 29: Unidades de bombeo Paraíso I .....	66
Figura 30: Sistemas estación de bombeo Paraíso I .....	70
Figura 31: Distribución de equipos por sistemas .....	711
Figura 32: Delimitación grafica de los sistemas Paraíso I .....	722
Figura 33: Proceso de evaluación de criticidad .....	733
Figura 34: Distribución equipos críticos y semi críticos estación Paraiso I ....	777
Figura 35: Algoritmo de decisión MCC .....	877
Figura 36: Sistema monitoreo y control .....	899
Figura 37: Sistema eléctrico .....	899
Figura 38: Sistema de bombeo .....	90

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PLAN DE MANTENIMIENTO

ANEXO B. MATRIZ DE CRITICIDAD

ANEXO C. ORDEN DE TRABAJO PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

ANEXO D. ACTAS DE TALLERES RCM PARAISO I

## RESUMEN

**TITULO: OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN DE AGUA POTABLE PARAÍSO I DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ<sup>1</sup>**

**AUTOR: ALEXANDER USECHE TORRES\*\*<sup>2</sup>**

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento centrado en confiabilidad, estación, confiabilidad, disponibilidad, afectación

La EAB-ESP es una de las empresas prestadoras de servicios públicos más grandes del país, está encargada del suministro de agua potable y alcantarillado pluvial y sanitario a la ciudad de Bogotá y once municipios aledaños. Dada la importancia de este servicio considerado “vital para vivir” hace que la empresa acoja una forma consciente, sistemática y ordenada de entender y aplicar el mantenimiento, teniendo como objetivo principal llegar a los estándares de clase mundial, mediante la implementación de la filosofía de mantenimiento RCM.

Esta metodología no solo impactará positivamente el área encargada de mantener los activos sino también todas las áreas de la empresa, optimizando los recursos, disminuyendo los tiempos de intervención, aumentando la disponibilidad de equipos, realizando paradas de planta programadas, ahorrando dinero anticipando fallas funcionales, mejorando tiempos de respuesta, preservando la seguridad y salud en el trabajo, aumentando favorablemente tanto la imagen corporativa como la confianza y satisfacción en los clientes.

La presente monografía\* tiene como objetivo definir las tareas óptimas de mantenimiento, mediante la filosofía RCM y apoyado en la norma SAE J1011/1012 al sistema de bombeo de la estación de agua potable PARAISO I, de la EAB-ESP. Este análisis procurará aumentar los índices de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad del sistema en estudio, para así garantizar la continuidad y calidad del servicio en las condiciones legales estipuladas.

---

<sup>1</sup> Monografía.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica.  
Director Ing. Fredy Páez.

## ABSTRACT

**TITLE: OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE PLAN BASED ON THE PHILOSOPHY RCM FOR THE PUMPING UNITS OF THE DRINKING WATER STATION PARAÍSO I, OF EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ<sup>3</sup>**

**AUTHOR: ALEXANDER USECHE TORRES.<sup>4</sup>**

**KEY WORDS:** reliability centered maintenance, chain, station, reliability, availability, affectation

The EAB-ESP is one of the largest public service providers in the country, it's responsible for the supply of drinking water and sewerage and sanitary to the city of Bogotá and eleven surrounding municipalities. Given the importance of this public service considered "vital to live" makes the Company embrace a conscious, systematic and orderly way to understand and apply maintenance with the main objective of reaching world class standards, by implementing the philosophy of RCM maintenance.

This methodology will not only positively impact the area in charge of maintaining assets, but also all areas of the Company, optimizing resources, reducing intervention times, increasing the availability of assets, making stops of scheduled plant, saving money anticipating functional failures, improving response times, preserving the safety and health at work of its employees, improving favorably both the corporate image and the confidence and satisfaction of customers.

The objective of this monograph is to define the optimal maintenance tasks, using the RCM philosophy, based on the SAE J1011 standard for the pumping system of the PARAISO I drinking water station of the EAAB-ESP. The analysis seeks to increase the availability and reliability ratings of the system under study, to guarantee the continuity and quality of the service in the stipulated legal conditions.

---

<sup>3</sup> Monograph.

<sup>4</sup> Faculty of Mechanical-Physics Engineering, School of Mechanical engineering,  
Director: Eng. Fredy Páez.

## INTRODUCCIÓN

La EAB-ESP consciente de la importancia de prestar el servicio de agua potable considerado “vital para vivir” hace que la empresa acoja una forma consciente, sistemática y ordenada de entender y aplicar el mantenimiento, teniendo como objetivo principal llegar a los estándares de clase mundial, mediante la implementación de la filosofía de mantenimiento RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). Esta metodología no solo impactará positivamente el área encargada de mantener los activos sino también todas las áreas de la empresa, optimizando los recursos, disminuyendo los tiempos de intervención, aumentando la disponibilidad de los sistemas, realizando paradas de planta programadas, ahorrando dinero anticipando fallas funcionales, mejorando tiempos de respuesta, preservando la seguridad y salud en el trabajo, aumentando favorablemente tanto la imagen corporativa como la confianza y satisfacción en los clientes.

En la presente monografía se desarrolla la filosofía de mantenimiento RCM, en la estación Paraíso I, del acueducto de Bogotá, con el ánimo de realizar un primer ejercicio como la base para la implementación y su posterior replica a las demás estaciones. Una vez desarrollada la metodología se propondrá un plan de mantenimiento a los equipos críticos y semi críticos, para su seguimiento, control y evaluación, con el propósito fundamental de aumentar los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en pro del aseguramiento de los objetivos de la dirección servicios electromecánica.

# **1. LA EMPRESA DE AGUA, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ**

## **1.1. Generalidades**

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP), figura 1, es una empresa industrial y comercial del distrito, encargada de prestar los servicios públicos domiciliarios de suministro de agua potable, alcantarillado pluvial y sanitario a la ciudad de Bogotá y once municipios aledaños a la sabana de Bogotá; tiene una cobertura del 99% en los tres primeros servicios y cuenta con aproximadamente 2, 143,593 usuarios<sup>5</sup> con cuenta contrato; lo que equivale a una población estimada de 10,2 millones de habitantes.

Como empresa industrial y comercial del Distrito capital, prestadora de servicios públicos domiciliarios, cuenta con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente, con programas de reinversión, ampliación y mantenimiento de redes e infraestructura encaminadas a prestar un servicio óptimo, <sup>6</sup> de acuerdo a los compromisos sociales, legales y ambientales establecidos, realizando un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico y siempre cuidado de las cuencas hidrográficas que suministran el agua cruda a la ciudad de Bogotá y las vertientes en donde se depositan las aguas servidas.

---

<sup>5</sup> EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, Informe Control Social 2016, EAB-ESP, cumplimiento artículo 1.3.4.6

<sup>6</sup> Manual sistema Integrado de gestión EAB-ESP código M4EE0501M01, VERSION 4

Figura 1. EAB-ESP Sede Centro Nariño



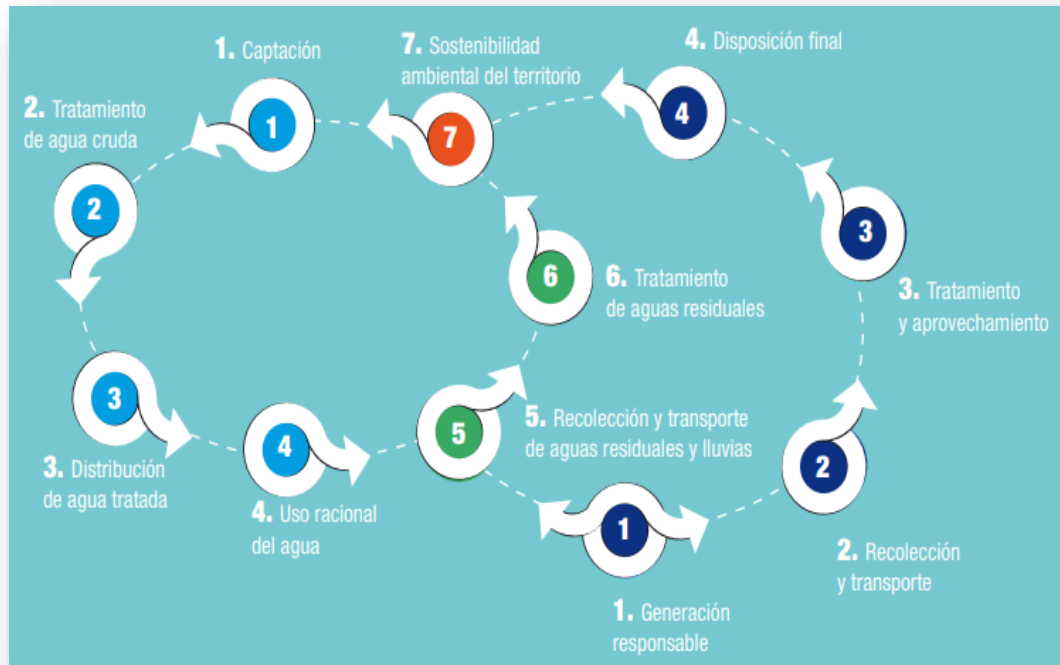
Fuente: El autor

La EAB-ESP realiza gestión integral del agua, ver figura 2, que consta de varios procesos, iniciando de su captación en las fuentes naturales superficiales, pasando por la potabilización del agua cruda en las plantas de tratamiento, la conducción del agua tratada en túneles expresos, y depositada en grandes tanques de almacenamiento para su posterior distribución; esto se logra a través de más de 792 Km de redes matrices y 8,072 km de redes menores o secundarias de distribución hasta el último barrio normalizado de la ciudad.

Una vez el agua potable es utilizada por los usuarios se conduce a través de 10,410 Km de redes troncales de alcantarillado sanitario; así mismo las aguas lluvias también son conducidas por redes de alcantarillado pluvial para su disposición final, este proceso es complementado con estaciones de bombeo y elevadoras de aguas negras ubicadas en la zona más baja de la ciudad para así depositarlas

finalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde se realiza un proceso de tratamiento básico primario.

Figura 2. Gestión integral del agua.

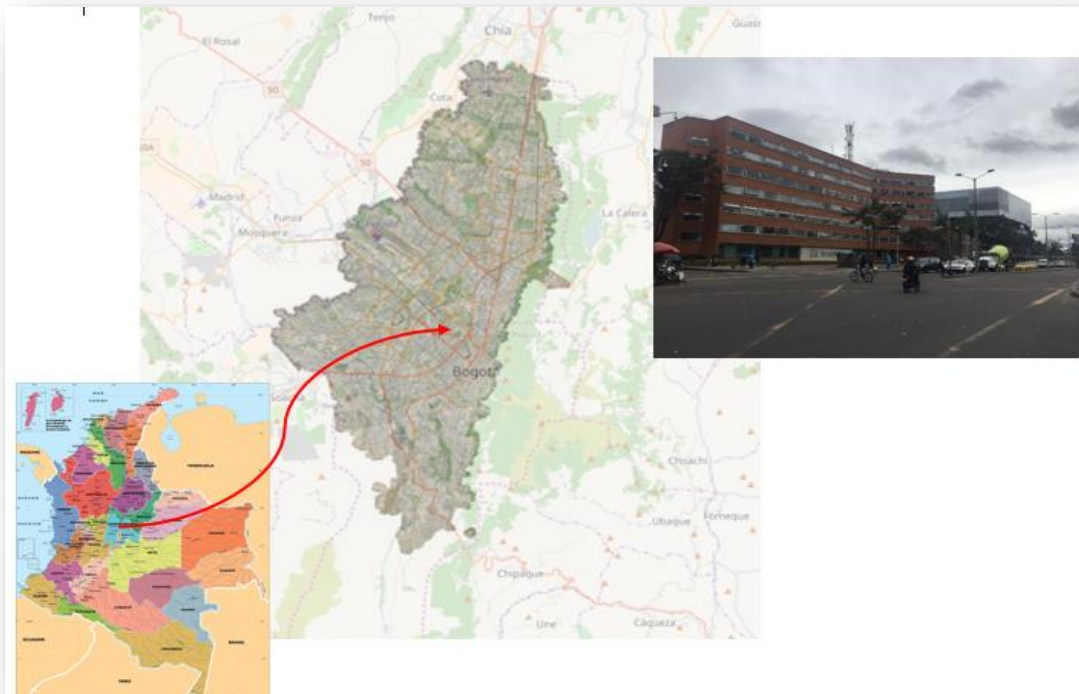


Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

### 1.1.1. Ubicación geográfica.

La sede administrativa de la EAB-ESP, está ubicada Av. calle 24 # 37-15 Bogotá-Colombia, ver figura 3. Sin embargo la empresa cuenta con varias sub-sedes ubicadas en cada una de las cinco zonas de Bogotá (Usaquén, Santa lucia, Chapinero, Fontibón, Palo quemado)

Figura 3. Ubicación geográfica sede principal EAB.



Fuente: El autor

### 1.1.2. Misión.

Excelencia en la gestión empresarial del agua, compromiso y empresa para todos.

### 1.1.3. Visión.

Agua para la vida, generando bienestar para la gente.

### 1.1.4. Valores Corporativos.

**Orgullo:** Promovemos sentido de pertenencia por la empresa, para ser percibida como empresa insignia de la ciudad.

**Vocación de servicio:** Nos debemos a los usuarios y a la satisfacción de sus necesidades y expectativas.

**Solidez:** Somos una empresa sólida, sostenible y confiable que garantiza vocación de permanencia en el tiempo.

**Conocimiento técnico:** Contamos con la experiencia e idoneidad técnica para cumplir nuestra misión, a través del trabajo en equipo y gestión del conocimiento.

**Eficiencia:** Estamos comprometidos a adoptar las mejores prácticas orientadas al cumplimiento de los resultados.

Los valores corporativos se fundamentan en las directrices determinadas por la alcaldía mayor de Bogotá, con el propósito fundamental de ser una empresa que presta un servicio de alta calidad de una forma transparente, eficiente, responsable, con vocación de servicio y ambientalmente comprometida. <sup>7</sup> Ver figura 4

---

<sup>7</sup> Gerencia corporativa de planeamiento y control \_documento PGE 2016-2020

Figura 4. Valores corporativos



Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

### 1.1.5. Reseña histórica.

En los remotos orígenes de la memoria ciudadana queda una ausencia total servicios públicos donde las condiciones de salubridad eran precarias dada la exposición de las aguas servidas y la combinación de éstas con el agua para el consumo humano, desde la construcción el mono de la pila 1584, el acueducto ha venido transformándose de acuerdo a un crecimiento continuo y acelerado de la ciudad, en los años 1700 se inauguró el acueducto Agua Nueva que constaba de canales abiertos, en donde el agua potable corría por las aceras de la ciudad y las personas recogían el agua en recipientes para su consumo, en 1750 las aguas servidas tuvieron una mejor disposición mediante los canales de sección transversal construidos al lado de las calles y carreteras con la parte más honda en el centro para allí correr hacia una caño que llevaba las aguas servida hacia otro riachuelo.

En los años 1800 el municipio concedió al Ramón B. Jimeno y Antonio Martínez, la exclusividad para usar explotar y construir el acueducto de Bogotá y chapinero por un periodo de 60 años, ver figura 5.

Figura 5. Acueducto de Bogotá año 1961

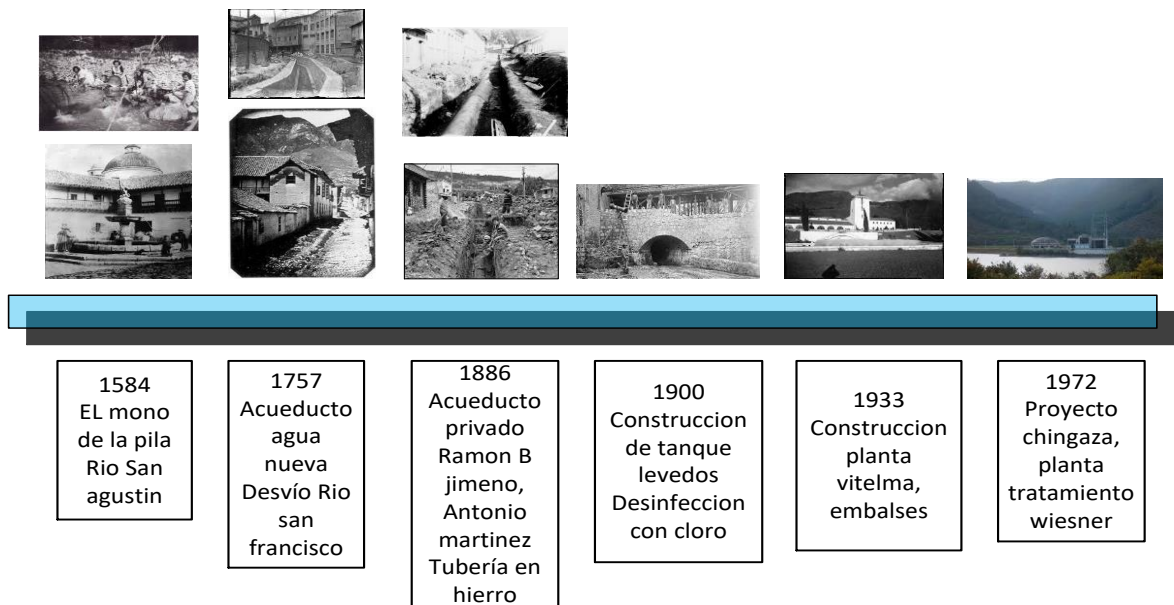


Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

En esta década se incluyó la técnica de tubería cerrada de hierro y la separación total de las aguas servidas del agua potable; aunque fue un avance considerable el rápido crecimiento de la población y la necesidad de encontrar nuevas fuentes de abastecimiento, se comenzaron a construir tanques elevados de abastecimiento a mediados de 1920, se empezó a desinfectar el agua con cloro; a finales de esta década se constituyó una empresa conjunta entre tranvía y el acueducto, las cuales realizaron obras importantes en la infraestructura de la ciudad el concepto de redes primarias fue el inicio de lo que conocemos hoy como redes matrices y en 1955 el

Acueducto se desvincula del tranvía el concejo de estado mediante el acuerdo 105, establece la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Ver figura 6

Figura 6. Historia del acueducto



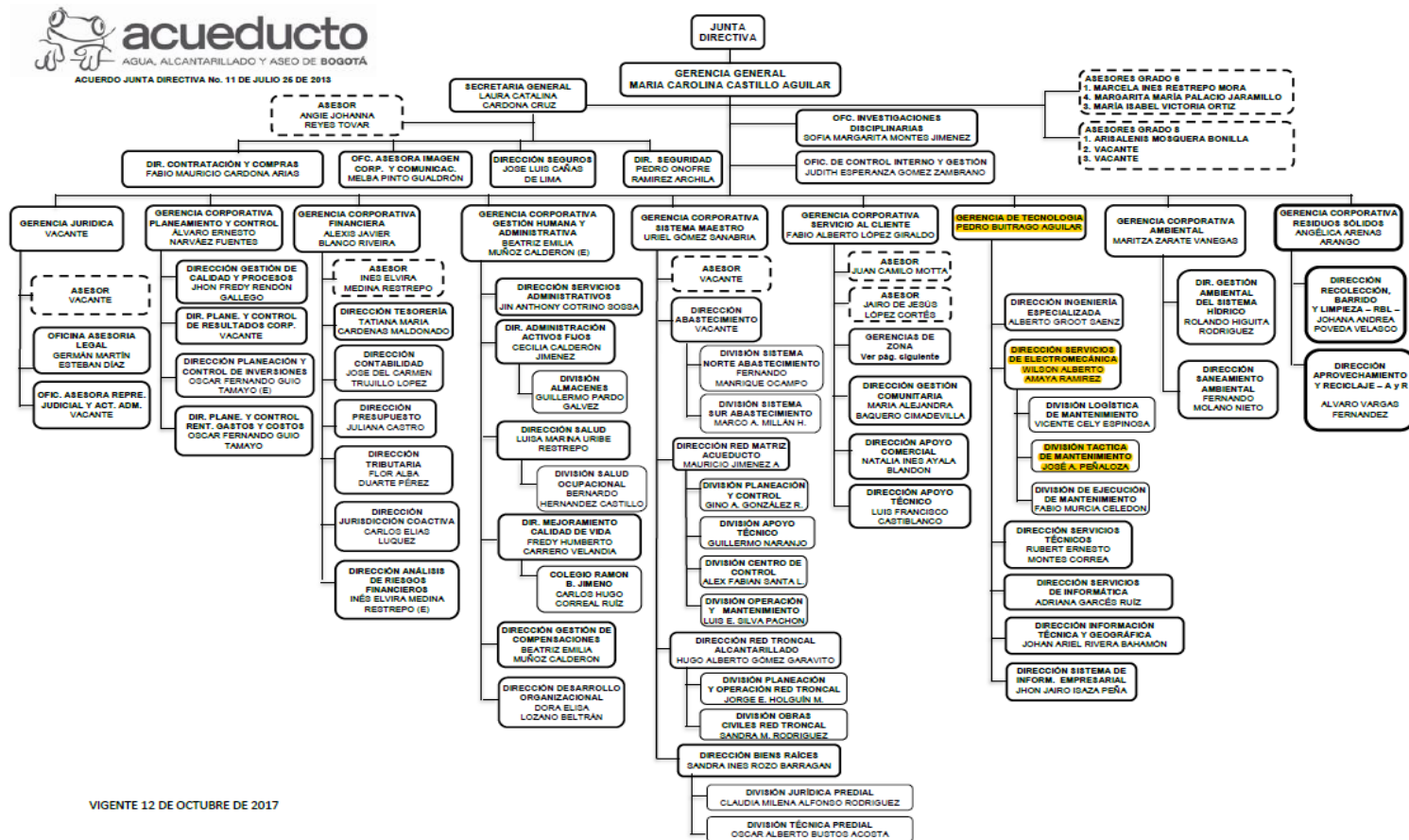
Fuente: El autor

La EAB, en 1972 empezó las obras de la primera etapa del embalse de Chuza, para trasportar agua cruda mediante túneles a la planta Francisco Wiesner antes planta El sapo (río Teusaca) estas obras fueron complementadas con la construcción del embalse san Rafael, después de los años 1990 se construyó la planta el Dorado como obra complementaria para abastecer el sur de la ciudad, finalmente y como inicio de las obras más representativas mediados del año 2001, la empresa incursiono en la generación limpia de energía y empezó la construcción de la primera pequeña central hidroeléctrica, PCH santa Ana.

### **1.1.6. Organigrama.**

La Dirección y administración de la EAB-ESP, está a cargo de la junta directiva, el gerente general, de acuerdo al artículo 27 de la ley 142 de 1994 la junta directiva de la empresa estará conformada por el Alcalde Mayor de Bogotá o su delegado, cuatro (4) miembros designados por el alcalde, dos (2) miembros elegidos por el alcalde que serán vocales, ver figura 7.

Figura 7. Organigrama Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá



Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

## **1.2. Acueducto.**

### **1.2.1. Acueducto Integral.**

La EAB-ESP es la una de las empresas prestadoras de servicios públicos más grande del país, dada la importancia del servicio prestado y su naturaleza publica los componentes sociales, legales, técnicos y económicos deben estar ajustados y alineados con los ejes fundamentales del gobierno distrital con el propósito fundamental de prestar servicio de óptima calidad, a todos los barrios normalizados de la ciudad de forma transparente, eficiente, con vocación de servicio y con un compromiso determinante en las nuevas políticas ambientales encaminadas hacia la sostenibilidad del recurso hídrico y los ecosistemas asociados, haciendo grandes y numerosos esfuerzos para la creación de una cultura para la conservación de los cuerpos de agua, preservación y cuidado de la infraestructura de acueducto y alcantarillado, así como la correcta disposición de los residuos sólidos<sup>8</sup> y líquidos<sup>9</sup> en pro del mejoramiento de la calidad de vida de las actuales y futuras generaciones, la EAB realiza la gestión integral del agua, ver figura 8, “cultura del agua”<sup>10</sup>.

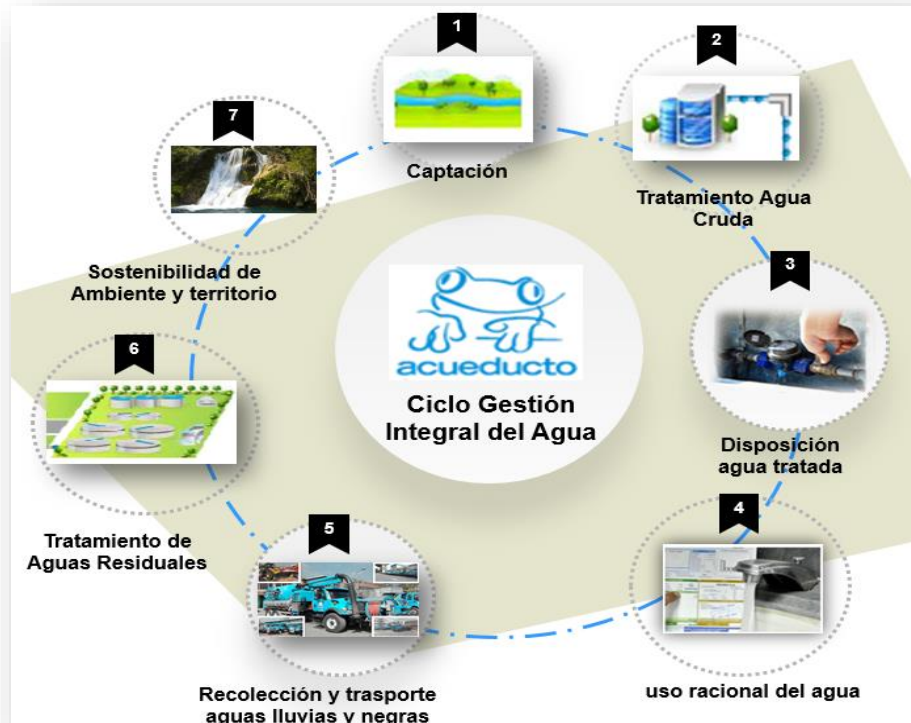
---

<sup>8</sup> Residuos sólidos: basuras, escombros

<sup>9</sup> Residuos líquidos: grasas, detergentes, aguas servidas producto de procesos industriales etc.

<sup>10</sup> Cultura del agua: todas las políticas y estrategias encaminadas a la preservación del recurso vital para vivir

Figura 8. Ciclo de la Gestión Integral del Agua



Fuente: El autor

### 1.2.2. Acueducto Técnico

La empresa es responsable de prestar el servicio de agua potable y alcantarillado pluvial y sanitario a todos los usuarios normalizados de la ciudad de Bogotá y once municipios aledaños, lo que equivale a una población estimada de 10,2 millones de habitantes. La distribución de los suscriptores de acueducto y alcantarillado de acuerdo al informe de gestión del año 2017<sup>11</sup> se presenta en la tabla 1; en la tabla 2 se presenta el consumo en millones de m<sup>3</sup> según es estrato y tipo de usuario.

<sup>11</sup> EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, Informe de gestión, año 2017

Tabla 1. Suscriptores Acueducto y Alcantarillado Año 2017

SUSCRIPTORES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (En miles de usuarios)								
Clase de uso	Total		Bogotá		Soacha		Gachancipa	
	Acueducto	Alcantarillado	Acueducto	Alcantarillado	Acueducto	Alcantarillado	Acueducto	Alcantarillado
Estrato 1	139570	116613	120114	107807	19441	8806	15	0
Estrato 2	636573	608783	594442	583415	40492	25368	1635	0
Estrato 3	716487	714736	632541	631799	83942	82937	4	0
Estrato 4	276834	276649	276834	276649	0	0	0	0
Estrato 5	91591	90372	91591	90372	0	0	0	0
Estrato 6	74988	74402	74988	74402	0	0	0	0
Residencial	1936043	1881555	1790510	1764444	143875	117111	1654	0
Multiusuario	64656	63304	62387	61640	2133	1664	136	0
Industrial	7553	7436	7374	7311	177	151	1	1
Comercial	130612	129452	128043	127307	2477	2145	89	0
Oficial	3649	3583	3545	3494	104	89	0	0
Especial	1080	1066	1068	1054	12	12	0	0
No Residencial	207550	204841	202417	200806	4903	4061	226	1
<b>Total</b>	<b>2'143.593</b>	<b>2'086.396</b>	<b>1'99.2927</b>	<b>1'965.250</b>	<b>148.778</b>	<b>121.172</b>	<b>1880</b>	<b>1</b>

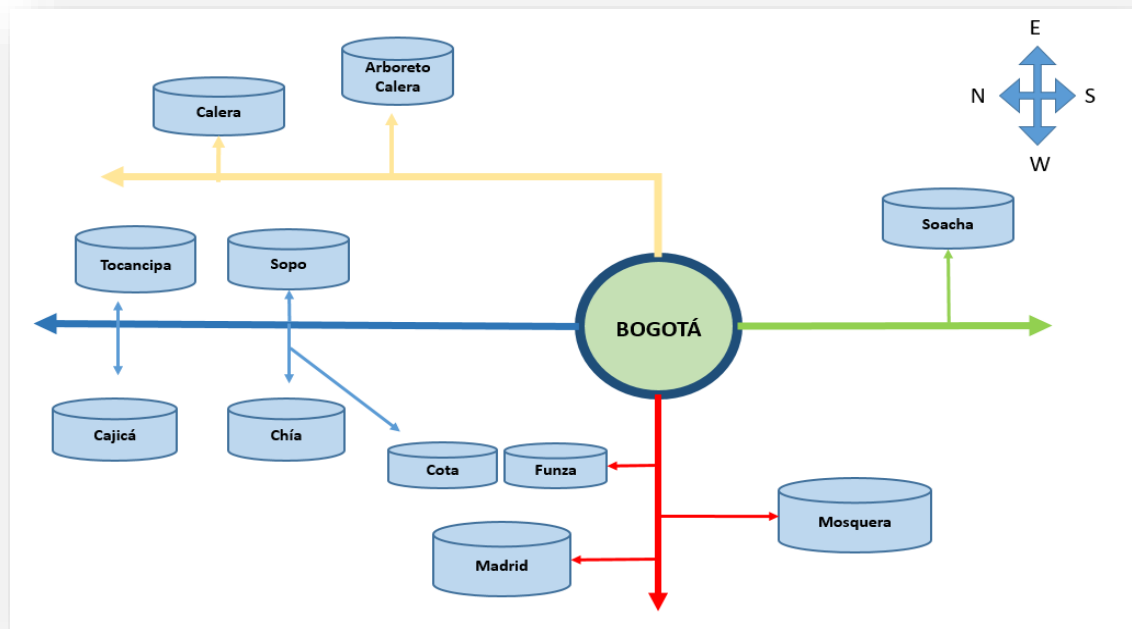
Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

Tabla 2. Consumos por estratos año 2017.

Consumo en millones de m <sup>3</sup> para 2017				
Clase de Uso	Total	Bogotá	Soacha	Gachancipa
Estrato 1	16,79	14,38	2,41	0
Estrato 2	74,31	69,89	4,27	0,15
Estrato 3	69,74	64,83	4,91	0
Estrato 4	28,45	28,45	0	0
Estrato 5	10,17	10,17	0	0
Estrato 6	9,54	9,54	0	0
<b>Residencial</b>	<b>209</b>	<b>197,26</b>	<b>11,59</b>	<b>0,15</b>
Multiusuario	11,69	11,3	0,37	0,02
Industrial	12,73	12,52	0,21	0
Comercial	27,11	26,66	0,44	0,01
Oficial	10,82	10,73	0,09	0
Especial	3,16	3,12	0,01	0,03
No residencial	65,51	64,33	1,12	0,06
Total Res+NRD	274,51	261,59	12,71	0,21
Municipios	30,4			
Carro tanques	0,41			
<b>TOTAL</b>	<b>305,32</b>	<b>261,59</b>	<b>12,71</b>	<b>0,21</b>

Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

Figura 9. Esquema distribución a municipios.



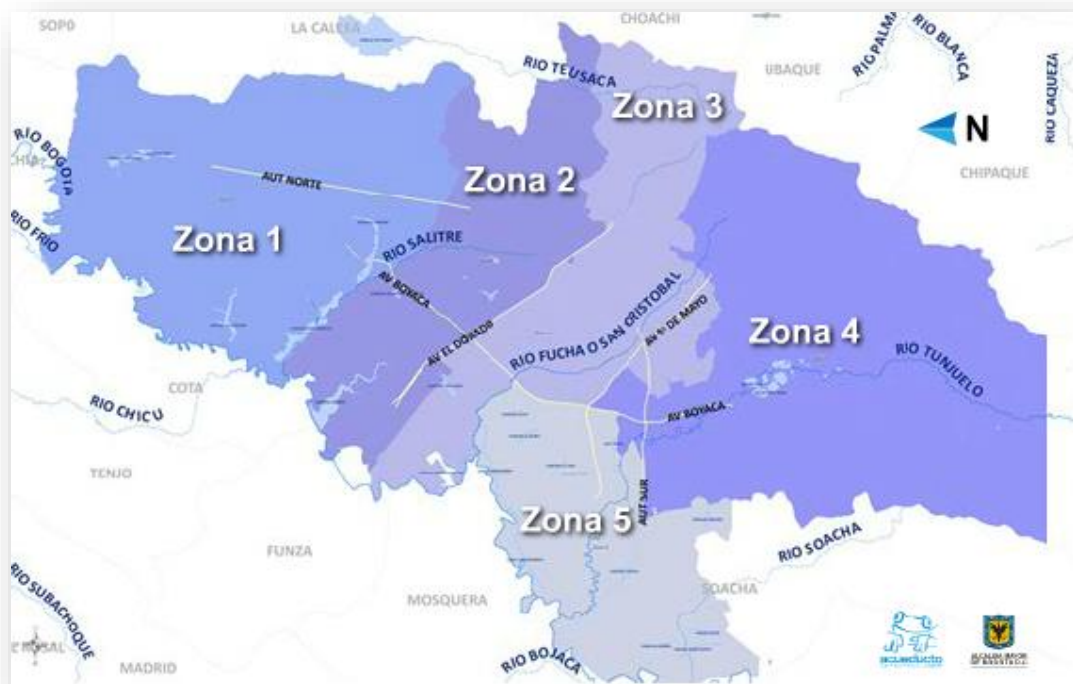
Fuente: El autor

La EAB-ESP debe mantener todas las condiciones técnicas y operativas del sistema macro de Bogotá, esto incluye la reparación y el mantenimiento de las redes matrices y redes de agua potable y de alcantarillado, las estructuras de control, las estaciones de bombeo de aguas blancas y aguas negras, los tanques de almacenamiento y toda la infraestructura necesaria para el cumplimiento en la prestación del servicio de agua potable.

La empresa definió cinco zonas de operación, ver figura 10. cada una de ellas con su respectivas gerencias, las cuales direccionan y aprueban las políticas sobre los procesos comerciales, técnicos y operativos para el cumplimiento de los objetivos de la empresa, así mismo determinan, controlan y ejecutan los programas de gestión social a través de inversión para renovaciones de redes de acueducto y alcantarillado y ampliaciones de las mismas, las zonas también se encargan del proceso de atención y seguimiento a las respuestas de quejas, reclamos y

solicitudes. Adicionalmente gestiona las acciones pertinentes para el control y reducción de pérdidas comerciales y técnicas del fluido, implementando las políticas necesarias para el cumplimiento de las metas corporativas propuestas.

Figura 10. Mapa zonas de Bogotá



Fuente: Alcaldía mayor de Bogotá

Para la prestación del servicio y actividades de mantenimiento el Acueducto de Bogotá cuenta con personal técnico y calificado con la infraestructura necesaria (equipos presión succión, retroexcavadoras, buldóceres, cama baja, motoniveladoras etc.), ver figura 11.

Figura 11. Maquinaria y equipos acueducto.



Fuente: El autor

Dentro de las actividades de mantenimiento que desarrolla la Empresa de Acueducto se tiene el mantenimiento de redes de acueducto y alcantarillado, renovación de redes matrices y secundarias, reparación de daños en tuberías, limpieza de canales y sumideros, restauración de los canales de aguas lluvias, ver figura 12, mantenimientos locativos en las rondas de los ríos, la reconstrucción de vías y andenes, mantenimiento a humedales, campañas de recolecciones escombros y basuras en las rondas de riachuelos y canales entre otros.

Figura 12. Ampliación, revestimiento y mantenimiento canales.



Fuente: El autor

### 1.2.3. Acueducto Social.

El compromiso social en la EAB-ESP es misional y se rige bajo dos pilares fundamentales: la confianza de nuestros usuarios y el sentido de identidad, busca integrar a la comunidad en todas las actividades institucionales que los impacten directa e indirectamente y a través de la dirección gestión comunitaria se trabaja coordinadamente para el diseño, evaluación y ejecución de los programas que mitiguen el impacto social, haciendo parte activa a las personas en la construcción de los planes y siempre aprovechando estos espacios para realizar talleres de sensibilización para el cuidado de las fuentes hídricas y disposición responsable de las aguas servidas.

La empresa desarrolla diferentes actividades encaminadas a crear la cultura del agua y cuidado de las fuentes hídricas, a través de programas como la “red de escuelas y territorio del agua”, con el propósito fundamental de crear conciencia ambiental en las presentes y futuras generaciones. El aprovechamiento

responsable del recurso hídrico se afianza con la presencia de la EAB-ESP en diferentes centro educativos, comunidades y sectores empresariales, realizando talleres, jornadas pedagógicas y recorridos ambientales en sus diferentes predios, (planta de tratamiento PTAR, parque Cantarrana, el Delirio, plantas de potabilización entre otras), en donde el conocimiento se brinda a través de la interacción directa de las personas y se dan a conocer todos los esfuerzos que se realizan para obtener una de las mejores aguas de Colombia.

Figura 13. Tomas y Jerónimo tomado agua de la llave del EAB.



Fuente: El autor

A través del programa “sello azul” promueve las buenas prácticas en algunas industrias (Casa Luker, Corral Gourmet, Colcafe, Gran Estación Centro comercial, Equimak, entre otras) en temas relacionados con el consumo y manejo del agua en sus faces productivas, así como una disposición responsable de las aguas servidas en los vertimientos e incorporación de conciencia ambiental mediante las buenas prácticas en la operación y jornadas ambientales.

La EAB-ESP realiza acuerdos comunitarios con las veredas al sur de la ciudad con el propósito de proveer de agua potable a esos lugares apartados en donde la empresa no tiene cobertura por normatividad, pero en donde está identificado que existen fuentes naturales de agua potable, a pesar que estas comunidades cuentan con fuentes limpias de agua, tienen que realizar el proceso de tratamiento para potabilizarla por esto la empresa desarrolla proyectos de acueductos veredales comunitarios (9 en Ciudad Bolívar), (10 en Usme), y (1 en Sumapaz), con una afectación estimada de 24150 personas, adicionalmente, se trabaja en la capacitación y desarrollo de habilidades de fontanería, del uso eficiente del recurso hídrico y los servicios públicos incentivando la transferencia de saberes y buenas prácticas para así replicar el conocimiento.

Finalmente, la EAB-ESP abre los canales de comunicación y ofrece los espacios adecuados donde se da a conocer a la comunidad como son los procesos internos de la empresa adicionalmente ofrece servicios de capacitación como son:

- a) Participación y control social.
- b) Gestión socio ambiental.
- c) Pedagogía del agua.
- d) Gestión social para apoyo a procesos comerciales y operativos.
- e) Gestión social e intervenciones de la empresa de acueducto.

Estos son algunos de los programas, talleres y actividades que ofrecemos y a los cuales puedes acceder fácilmente:

El agua antes de llegar a casa.

- a) Historia EAB.
- b) Sistema de abastecimiento.
- c) Ruta del agua.
- d) Tanques de almacenamiento.
- e) El agua en casa.
- f) Factura.

- g) Derechos y deberes.
- h) Consumo diario por persona (Cuánta agua necesito para TODAS mis actividades diarias/ Cuánto Vale un vaso con agua de la llave)
- i) Medidores
- j) Lavado de tanques
- k) El agua al salir de casa.
- l) Alcantarillado pluvial y sanitario
- m) Conexiones erradas
- n) PTAR.
- o) Río Bogotá.
- p) Residuos sólidos.
- q) Sistema hídrico en Bogotá y sus alrededores.
- r) Humedales.
- s) Conocimiento Sistema hídrico de Bogotá.<sup>12</sup>

#### **1.2.4. Acueducto Ambiental**

El acueducto de Bogotá “con un alto compromiso ambiental cuida más de 40 mil hectáreas en la reserva natural Chingaza y 5 mil en los cerros de la capital. Protege, conserva y recupera el recurso hídrico de la región. Trabaja para el saneamiento de 4 grandes ríos, la recuperación de más de 100 quebradas, 13 humedales y el mantenimiento de los canales de la ciudad”<sup>13</sup>

La EAB-ESP es pionera en Colombia en la generación de energía limpia a través de tres PCH, figura 14 (pequeñas generadoras hidroeléctricas) las cuales se construyeron aprovechando la energía potencial disponible en su sistema matriz así:

---

<sup>12</sup> EMPRESA DE ACUEDCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA, Informe de gestión, año 2017

<sup>13</sup> EMPRESA DE ACUEDCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA, Informe de gestión, año portal web acueducto de Bogotá.

- a) (PCH Santa Ana, santa Ana-tanque Santa Ana capacidad 13 MW)
- b) (PCH Usaquén, línea santa Ana-Reductoras Usaquén, capacidad 1.8MW)
- c) (PCH Suba, línea Usaquén-Tanque nuevo suba, capacidad 2.6MW)

Figura 14. Pequeñas centrales hidroeléctricas EAB-ESP.



Fuente: El autor

### 1.2.5. Acueducto Financiero.

La empresa de acueducto cuenta con autonomía financiera y patrimonio independiente es decir su operación comercial abastece los gastos operacionales, tiene una operación fiable y presenta índices de cobertura del 99% en la prestación de servicio de acueducto, alcantarillado pluvial y sanitario y tiene una clasificación AAA, otorgada por la firma Fitch Ratings en perspectiva estable en el año 2016 los ingresos operacionales COP fueron de 1,7 billones para un crecimiento del 6,4% gracias a la indexación de tarifas por inflación y un crecimiento marcado en la ciudad por re densificación.

La cartera comercial presenta comportamiento sano y estable según balance financiero presentado Tabla 3

Tabla 3. Balance financiero EAB-ESP.

<b>ACTIVO (Billones de pesos)</b>	
<b>\$ 9.072.374</b>	
\$ 2.264.744	\$ 6.807.629
Corriente	No corriente
<b>PASIVO (Billones de pesos)</b>	
<b>\$ 5.742.649</b>	
\$ 899.902	\$ 4.842.747
Corriente	No corriente
<b>PATRIMONIO (Billones de pesos)</b>	
<b>\$ 3.329.725</b>	

Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

### 1.2.6. Acueducto Legal.

La EAB-ESP, es una empresa industrial y comercial del distrito, prestadora de servicios públicos domiciliarios, se encuentra dotada con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente. Está regida por leyes y normas de índole nacional y distrital de obligatorio cumplimiento y dada la naturaleza del servicio prestado considerado vital para vivir, todas las políticas establecidas al interior de la empresa deben estar alineadas con las políticas

distritales enmarcadas en la constitución nacional siempre velando por el bienestar, desarrollo e igualdad social de los habitantes de la ciudad de Bogotá.

“Colombia actualmente transita por un camino de esperanza hacia la construcción de la paz; escenario en el que el estado se está preparando, desde la institucionalidad, para garantizar los derechos de los ciudadanos en materia de equidad, educación y calidad de vida. Para hablar de este concepto es primordial reducir las brechas territoriales y poblacionales en materia de ingresos y en la provisión de la calidad de la salud, educación, servicios públicos, infraestructura y conectividad en los sectores urbano y rural”<sup>14</sup>.

Es por esto que la presidencia de la Republica a través del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio da cumplimiento a lo estipulado en la constitución nacional artículos 334, 365 y 365 a 370 y designa a la Superintendencia de Servicios Públicos como entidad responsable y bajo el amparo de ley 142 de 1994, ley 143 de 1994, decreto 990 de 2002 se encargue del control, vigilancia, auditoria e inspección a las entidades prestadoras de servicios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía, gas; así como la reglamentación y las disposiciones normativas a nivel municipal, departamental y nacional.

En términos generales la ley dispone los siguientes puntos:

- a) “Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios
- b) Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de pago de los usuarios
- c) Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico
- d) Prestación continua e ininterrumpida sin excepción alguna salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito o de orden técnico o económico que así lo exijan
- e) Prestación eficiente

---

<sup>14</sup> Ley 142 de 1994, superintendencia de servicios públicos domiciliarios, presentación ley p. 13

- f) Libertad de competencia y no abusiva de la posición dominante
- g) Obtención de economías de escala comprobables
- h) Mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso a los servicios y su participación en la gestión y fiscalización de su prestación
- i) Establecer un régimen proporcional para los sectores de bajo ingresos de acuerdo con los preceptos de equidad y solidaridad”<sup>15</sup>

La Superintendencia de Servicios Públicos designa a la CRA (Comisión de Regulación de Agua potable y Saneamiento Básico) como entidad reguladora de los sectores de agua potable y saneamiento básico, cuyo propósito primordial es incentivar la competencia en la prestación eficiente del servicio, evitar los abusos de la posición dominante, garantizar un servicio de calidad, con tarifas razonables y con la cobertura pertinente; esto con el amparo en las resoluciones (735 y 688 CRA), en donde se establecen los parámetros técnicos, de la forma de prestación del servicio, así como las obligaciones de la entidad prestadora del servicio con los usuarios y el cálculo de los diferentes indicadores relacionados con empresas de esta naturaleza; cálculos de coberturas, cálculos de índices en continuidad, cálculo de índice de calidad, periodos de facturación etc.

Adicionalmente y como profundización de la parte técnica en empresas prestadoras de servicio de agua potable, alcantarillado y aseo; el ministerio de desarrollo económico mediante resolución 1096/ 200 estableció el REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 cuyo objeto primordial es “señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector del agua potable y saneamiento básico y sus actividades complementarias”<sup>16</sup> estos requerimientos están señalados en el artículo 14 de la ley 142 / 1994” y aplica para los procesos de estudio, conceptualización, diseño, construcción, puesta en marcha y operación

---

<sup>15</sup> Ley 142 de 1994, superintendencia de servicios públicos domiciliarios, presentación ley p. 13.

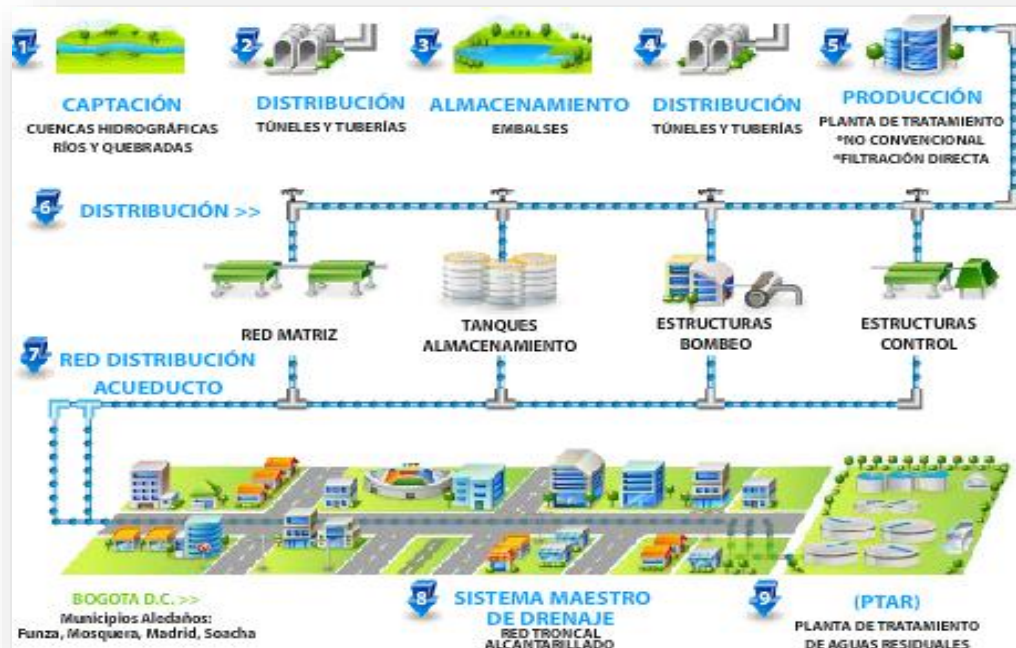
<sup>16</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, Dirección general de Agua potable y saneamiento básico, artículo 2, p. A.1

de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo que se desarrollen en el territorio nacional, garantizando su seguridad, durabilidad, funcionamiento, calidad eficiencia, sostenibilidad y redundancia de acuerdo a los niveles de complejidad.

### 1.3. Ruta del agua.

Es importante realizar una descripción del sistema y la interacción de los procesos antes que el agua potable llegue a los hogares, empresas, hospitales, entidades gubernamentales etc. Ver figura 15

Figura 15. Ruta del agua



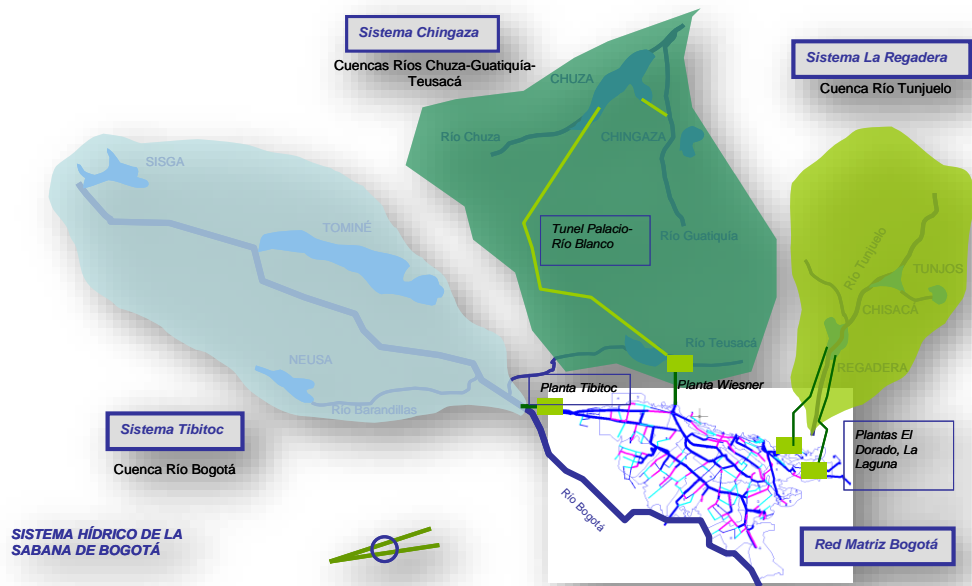
Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

#### 1.3.1. Fuentes de abastecimiento y plantas de tratamiento.

El sistema de captación de agua cruda y tratamiento se abastece de diferentes fuentes de agua dependiendo de su ubicación geográfica. Actualmente, la EAB,

cuenta con tres sistemas: sistema Tibitoc, sistema Chingaza, sistema la Regadera<sup>17</sup>. Ver figura 16.

Figura 16. Fuentes abastecimiento



Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

a) Sistema Tibitoc.

Se encuentra ubicado en el norte de la sabana, cerca de los municipios de Gachancipa, Choconta y Suesca con un grupo de embalses denominado agregado norte que permite la captación y regulación de caudal del río Bogotá, está constituido por tres embalses principales:

Embalse de Tominé	690 millones de m <sup>3</sup>
Embalse del Sisga	102 millones de m <sup>3</sup>
Embalse del Neusa	102 millones de m <sup>3</sup>

<sup>17</sup> Manual de operación y control red matriz Bogotá, M4MA0401M01

Estos embalses alimentan de agua cruda a la planta Tibitoc la cual tiene una capacidad instalada de tratamiento de 10.5 m<sup>3</sup>/s, lo que significa que es la segunda planta en importancia después de Francisco Wiesner.

b) Sistema Chingaza.

Localizado en la parte Nororiente de la ciudad en la parte alta de la cordillera oriental el sistema de captación se realiza a través del embalse de Chuza con una capacidad de 257 millones de m<sup>3</sup>, este a su vez regula el caudal del río Guaitiquia, por túneles expresos que llevan el agua cruda para el tratamiento en la planta Francisco Wiesner, ver figura 16, la cual tiene una capacidad instalada de 14,5 m<sup>3</sup>/s. Ver figura 17.

Figura 17. Planta de tratamiento Francisco Wiesner



Fuente: El autor

c) Sistema La Regadera.

Constituido por un sistema de embalses que regulan y almacenan el caudal del río Tunjuelito y sus afluentes (Curubital, Mugroso) los embalses y sus capacidades son:

Embalse de La Regadera	4,13 millones de m <sup>3</sup>
Embalse Chisacá	6,68 millones de m <sup>3</sup>
Laguna Los Tunjos	2,40 millones de m <sup>3</sup>

Localizado en la parte Suroriental es abastecida por una línea de 39" entre regadera y Vitelma, es una planta convencional y fue puesta en marcha en el año 2001, tiene una capacidad instalada de 1,6 m<sup>3</sup>/s.

**1.3.2. Gerencia corporativa de sistema maestro.**

La gerencia del sistema maestro tendrá las siguientes funciones<sup>18</sup>

- a) Responder por las acciones y gestiones pertinentes con las áreas a su cargo para planificar y ejecutar el Plan estratégico Corporativo asociado a los proyectos de inversión y funcionamiento, con el fin de asegurar los objetivos corporativos.
- b) Determinar las políticas sobre los proyectos y planes para el cumplimiento de los objetivos corporativos de las direcciones a su cargo.
- c) Definir los lineamientos para garantizar la elaboración de los términos de referencia de los proyectos de inversión o funcionamiento, para asegurar que se cumplan con los objetivos corporativos.
- d) Coordinar la planeación, el diseño, la construcción y la operación de la infraestructura del sistema maestro de acueducto y alcantarillado de la ciudad
- e) Coordinar y definir las herramientas de priorización de proyectos con base en

---

<sup>18</sup> Empresa de Acueducto Y Alcantarillado de Bogotá-ESP Acuerdo No 11 de 2007 "Por el cual se modifica la estructura organizacional de la y se determinan las dependencias, pag.36,37

elementos técnicos.

- f) Coordinar y controlar los procesos de captación, almacenamiento, aducción, tratamiento de agua cruda, distribución de agua potable a través de la red matriz de acueducto y recolección y manejo de aguas servidas hasta su disposición final, a través de la red troncal de alcantarillado, orientadas a prestar el servicio integral de acueducto y alcantarillado a la ciudad.
- g) Determinar las políticas de la negociación, adquisición y gestión de los predios necesarios para ejecutar obras de infraestructura o conservación.
- h) Coordinar la adopción de las políticas definidas en la Empresa, para planificar, ejecutar y controlar las actividades referentes a la gestión ambiental de la Gerencia Corporativa del Sistema Maestro.
- i) Coordinar las etapas de planeación, análisis, desarrollo y evaluación de proyectos estratégicos orientados al mejoramiento del sistema de acueducto y alcantarillado.

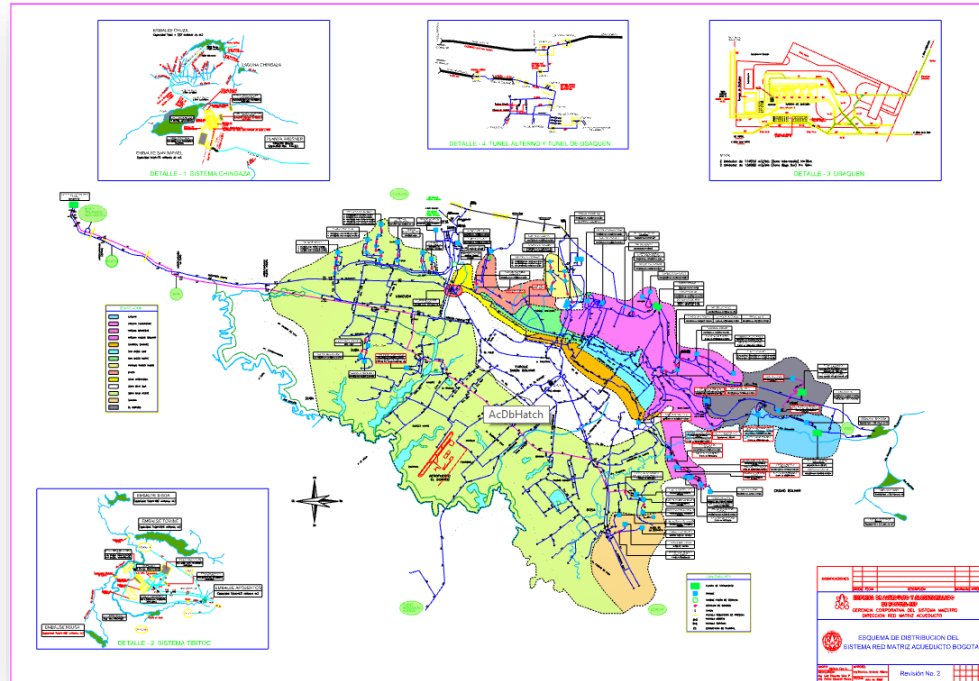
### **1.3.3. Dirección red matriz.**

La Dirección Red Matriz Acueducto es la ARS (Área Receptora de Servicio) principal de la Dirección Servicios Electromecánica, y tiene las siguientes funciones<sup>19</sup>, ver figura 18.

---

<sup>19</sup> Empresa de Acueducto Y Alcantarillado de Bogotá-ESP Acuerdo No 11 de 2007 "Por el cual se modifica la estructura organizacional de la y se determinan las dependencias, pag.42,43

Figura 18: Plano general red matriz.



Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

- a) Coordinar los proyectos de expansión, diseño, construcción, optimización y operación de la infraestructura (tanques de almacenamiento, redes matrices, estaciones de bombeo, estaciones reductoras de presión, estructuras de control) para el funcionamiento y mejoramiento en la prestación del servicio.
- b) Coordinar las actividades de mantenimiento operación y rehabilitación de la infraestructura existente, con el objetivo de asegurar la continuidad del servicio y mantener los activos de la empresa.
- c) Determinar las pautas para la realización del mantenimiento preventivo y correctivo a la infraestructura del sistema matriz de acueducto y controlar su ejecución.
- d) Establecer los lineamientos técnicos para la ejecución y control de la

operación óptima de la red matriz de Acueducto con el fin de satisfacer la demanda de la red de distribución en condiciones satisfactorias de continuidad, presión, calidad y cantidad.

e) Coordinar y controlar la operación red matriz de acueducto a través del centro de control, estableciendo las pautas de operación del sistema, los modos de operación, niveles de automatismo y set de alarmas.

f) Coordinar el monitoreo para la correcta ejecución de la operación del sistema, estableciendo niveles de autonomía en la toma de decisiones informando la ocurrencia de situaciones especiales, de acuerdo a lo establecido en los protocolos de comunicaciones.

g) Formular y controlar los planes de contingencia en la ejecución de alternativas de suministro para la entrega del agua potable en la ciudad en condiciones de emergencia.

h) Planear y controlar el programa de mitigación de las vulnerabilidades identificadas en el sistema Matriz para su ejecución.

i) Coordinar y controlar con entidades públicas y privadas las obras que afecten la infraestructura matriz de acueducto de la ciudad, realizando el seguimiento y suministro de información técnica requerida.

j) Dirigir y controlar la macro medición y la sectorización de las redes de acueducto de la ciudad para su mantenimiento y mejoramiento continuo.

k) Dirigir y controlar el sistema de gestión de calidad para la conducción y distribución de agua potable en redes matrices.

#### **1.3.4. División centro de control.**

a) Coordinar y controlar la operación y control del sistema matriz de acueducto a través del centro de control, ver figura 19.

Figura 19. Centro de control Acueducto de Bogotá.



Fuente: El autor

- b) Planear y ejecutar la operación del sistema matriz de acueducto, asegurando la adecuada entrega de caudales y presiones de demanda a los sectores de consumo
- c) Monitorear y controlar las variables hidráulicas (presión, caudal, niveles de agua en tanques de almacenamiento y calidad de agua) para asegurar la oportunidad, la calidad, la cantidad y la continuidad del servicio.
- d) Identificar las situaciones futuras con relación a la operación del sistema matriz acueducto, basándose en el comportamiento actual del centro de control, a través del análisis de la información generada por estadística, gráficas y demás datos técnicos.
- e) Controlar los niveles de presión en tanques, planos de presión del sistema, las velocidades de transporte y velar por preservar los parámetros de calidad de agua en el sistema matriz acueducto.

f) Gestionar las necesidades de mantenimiento electromecánico para las estaciones de bombeo, estructuras de control, los tanques de almacenamiento y las estructuras elevadoras, ver figura 20.

Figura 20. Reductoras de presión USAQUEN zona baja norte.



Fuente: El autor

g) Planear y ejecutar las actividades de control de calidad para todos los procesos, del agua en los tanques y de los materiales, obras y servicios que así lo requieran, para garantizar la calidad del producto y servicio prestado.

h) Realizar el monitoreo de las estaciones elevadoras de aguas servidas y aguas lluvias, actualmente operadas por las gerencias de la zona a través de las direcciones de servicio de acueducto y alcantarillado.

i) Administrar el funcionamiento del centro de control, planeando, ejecutando y controlando las actividades relacionadas con el mantenimiento locativo de tipo correctivo y preventivo, administrando el personal de servicios generales y asignando y coordinando el manejo de la documentación.

### **1.3.5. Dirección electromecánica.**

Esta dirección tendrá las siguientes funciones<sup>20</sup>:

- a) Coordinar y aprobar las actividades de planeación, ejecución y control del mantenimiento de los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y de comunicaciones para garantizar el cumplimiento de los cronogramas definidos para el desarrollo efectivo de las actividades asignadas y la operación óptima de los sistemas de acueducto y alcantarillado.
- b) Analizar y formular los requerimientos de necesidades, análisis de mercados en compras y contratación, formulación del plan de compras y contratación de servicio.
- c) Coordinar los estudios necesarios para mejorar los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y de comunicaciones de la empresa, incluyendo la adopción de nuevas tecnologías
- d) Coordinar los servicios de asesorías a las demás dependencias de la empresa sobre la elaboración de especificaciones técnicas, selección, montaje, puesta en marcha y recepción de equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos.
- e) Coordinar con otras áreas las acciones necesarias para garantizar la correcta operación de los equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos.
- f) Coordinar la información de la dirección para asegurar el levantamiento, almacenamiento, actualización, identificación, retención, protección y disposición de los documentos y registros.
- g) Formular el programa de ejecución de los servicios con base a los requerimientos de las áreas.
- h) Coordinar las actividades relacionadas con el servicio de alquiler de equipos de comunicaciones y maquinaria especializada
- i) Realizar pruebas de laboratorio que se requieren de los equipos y sistemas de manejo para su buen funcionamiento.

---

<sup>20</sup> Acuerdo No 11 de 2007 "Por el cual se modifica la estructura organizacional de la Empresa de Acueducto Y Alcantarillado de Bogotá-ESP y se determinan las dependencias, pag.62,63

j) Formular y diseñar los proyectos de inversión o gasto requeridos para la operación y atención integral de los servicios a prestar.

### **1.3.6. División ejecución de mantenimiento.**

Esta dirección tendrá las siguientes funciones<sup>21</sup>

- a) Coordinar y controlar la ejecución de mantenimiento de los activos electromecánicos a cargo de la dirección servicios electromecánica.
- b) Coordinar y controlar la operación presencial de emergencia cuando se requiera para suplir las fallas de automatismo.
- c) Coordinar la oportuna ejecución de los trabajos de mantenimiento requeridos en los activos electromecánicos a cargo de la dirección de acuerdo con las solicitudes de las diferentes dependencias de la empresa para asegurar con la continuidad de los servicios.
- d) Gestionar y coordinar ante el Ministerio de Tecnologías de la Información y las comunicaciones los trámites correspondientes para el análisis y detección de interferencias en las redes de comunicaciones de la empresa, para la renovación, ampliación o creación de nuevos sistemas de acuerdo con los planes y proyectos de ensanche.
- e) Coordinar y efectuar las reparaciones o fabricaciones que, por sus características o grado de especialización, requiera del concurso del taller de mecánica industrial.
- f) Gestiona y actualizar la información técnica de los activos electromecánicos de la empresa cuyo mantenimiento esté a cargo de la dirección.
- g) Coordinar el procesamiento de todas las actividades susceptibles de los procesos sistematizados a través del computador y controlar que la información se mantenga debidamente actualizada y ordenada.

---

<sup>21</sup> Acuerdo No 11 de 2007 "Por el cual se modifica la estructura organizacional de la Empresa de Acueducto Y Alcantarillado de Bogotá-ESP y se determinan las dependencias, pag.62,63

### **1.3.7. División táctica de mantenimiento.**

Esta División tendrá las siguientes funciones<sup>22</sup>.

- a) Establecer y controlar los parámetros de confiabilidad operacional requeridos para la administración del ciclo de vida de los equipos electromecánicos.
- b) Realizar el diagnóstico por condición de los activos electromecánicos críticos, mediante la utilización de técnicas predictivas.
- c) Realizar el estudio correspondiente a la rata de fallas de los equipos críticos, aplicando herramientas de confiabilidad de primer y segundo orden.
- d) Establecer la frecuencia costo efectiva de mantenimiento preventivo a ejecutar por parte de la división ejecución de mantenimiento sobre los activos electromecánicos críticos.
- e) Determinar las características técnicas de los equipos y elementos que requiere el área para el cumplimiento de las responsabilidades.

---

<sup>22</sup> Acuerdo No 11 de 2007 "Por el cual se modifica la estructura organizacional de la Empresa de Acueducto Y Alcantarillado de Bogotá-ESP y se determinan las dependencias, pag.62,63

## 2. ANÁLISIS TEÓRICO RCM.

### 2.1. Evolución de mantenimiento.

El RCM fue desarrollado en la industria aérea de la aviación civil en USA, (1978) por F: S: Nowlan y H: F: Heap, previo a esto la industria paso por cuatro etapas de mantenimiento definidas a continuación, ver figura 21 evolución del mantenimiento.

Figura 21. RCM y evolución del mantenimiento.



Primera generación	Segunda generación	Tercera generación	Cuarta generación
1940 - 1950	1960 - 1980	1990	2000 - 2004

Fuente: adecuación <https://es.slideshare.net/lorepcruz7/tecnicas-de-mantenimiento-industrial> p3

La evolución del mantenimiento tiene 4 etapas bien definidas cada una, con una filosofía propia de acuerdo al entorno, los medios tecnológicos y la evolución de la industria; La primera generación del mantenimiento (1950) se centraba únicamente en la corrección de la falla, el personal que ejecutaba el mismo era poco calificado, se caracterizaba por tener máquinas de gran robustez y en muchas ocasiones sobre

dimensionada, no se contaba con histórico de fallas ni se tipificaban las mismas, las paradas por indisponibilidad eran comunes, así como las pérdidas de producción.

La segunda generación (1960, 70,80) apareció dado a los drásticos cambios provocados por la segunda guerra mundial; se empieza a relacionar la edad de los equipos y la probabilidad de falla de los mismos, gracias a la exigencia de las industrias de una mayor producción en masa, pero a su vez de una disminución abrupta de capital humano; Los equipos debían durar el mayor tiempo posible con muy poca inversión y se caracterizaba por paradas complejas de planta para intervenciones mayores en tiempos regulares previamente determinados <sup>23</sup>

La tercera generación (1990) asociaba el concepto de causa – efecto con el ánimo de llegar a la raíz de las fallas, no solo en su consecuencia y de esta manera poder actuar de una forma más oportuna para el control de consecuencias, se visualiza el mantenimiento no como un generador de gasto en las industrias, adicionalmente se realizan acuerdos de gestión entre los departamentos de producción y de mantenimiento identificando varias lecciones aprendidas las cuales sirvieron de base para la adopción de una forma más eficaz de pensar el mantenimiento:

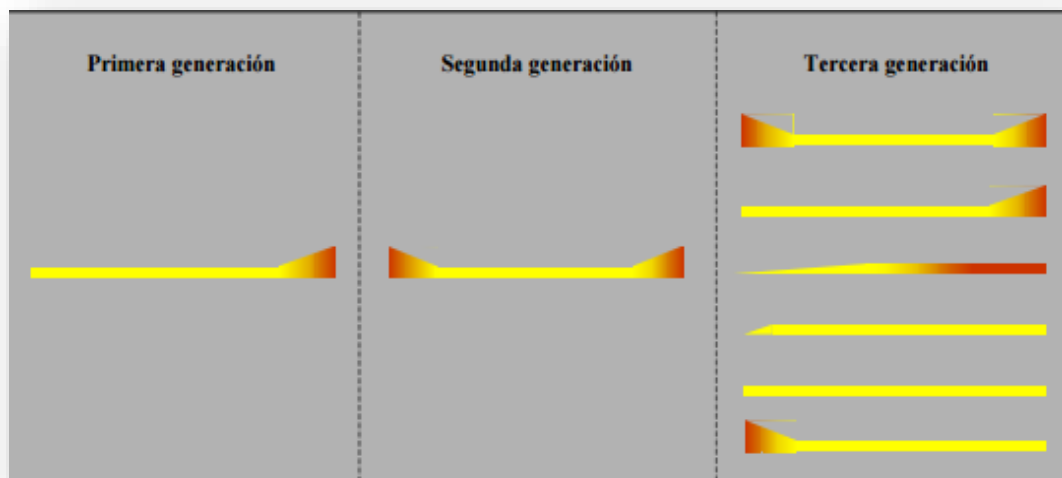
- a) La mayoría de los equipos no se comportan de acuerdo a la “curva de la bañera” tradicional, ver figura 22
- b) La mayoría de los equipos en operación normal no alcanzan la zona de desgaste.
- c) No siempre existe relación entre la edad operativa del equipo y su confiabilidad.
- d) Más del 50% de los equipos fallan en forma aleatoria.
- e) No existe mantenimiento que pueda aumentar la confiabilidad inherente en el diseño.

---

<sup>23</sup> MOUBRAY, John. Reliability centered Maintenance (RCM) II. Second Edition. New York- E.E.U.U., Industrial Press Inc, 1997. Pp 15-19

- f) No es costo-efectivo desarrollar planes de mantenimiento sin considerar el contexto operativo del equipo.
- g) Los fabricantes tienen un papel limitado en la identificación de los requerimientos óptimos de mantenimiento.
- h) Se efectúa mantenimiento para mitigar fallas prematuras y los efectos de la falla, no para prevenir la falla.

Figura 22. Patrones de falla primeras generaciones del mantenimiento.<sup>24</sup>



Fuente: [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_44\\_176\\_10\\_294.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_294.pdf) --p7

Integrando el departamento de mantenimiento e identificando la transversalidad de éste, en las demás dependencias de la industria, nace el mantenimiento de cuarta generación (2000/04) el concepto de calidad total es el pilar de esta filosofía y la gestión del mantenimiento impactaría directamente en la producción, viéndose como una fuente de beneficios y no de gastos. Esta nueva forma de pensar involucra un entrenamiento continuo de personal y la adopción de las herramientas estadísticas las cuales permiten procesar datos para realizar las primeras

<sup>24</sup> <http://www.biblioteca.udep.edu.pe>

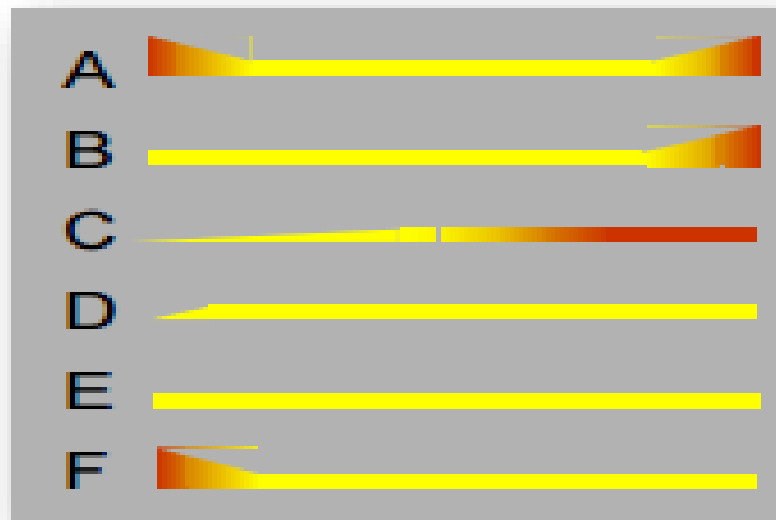
predicciones a través de modelos matemáticos, que permita determinar tendencias y la formulación de respuestas tempranas en las tareas de mantenimiento, se utilizan software especializados para el control de todas las variables inherentes a la gestión del mantenimiento.

Se empieza a comparar los avances tecnológicos en los departamentos de mantenimiento de las demás industrias y el concepto de anticipación a la falla y mitigación de impactos potenciales de acuerdo al contexto operacional hacen más eficaz la relación costo beneficio, mediante cálculos de confiabilidad basado en deterioro, se desarrollan técnicas de monitoreo de equipos por condición con técnicas no intrusivas.

Los gráficos de la figura 23, muestran la probabilidad condicional de falla en relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos. “El patrón A es la ya conocida curva de la "bañera", comienza con una gran incidencia de fallas (llamada mortalidad infantil), seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla y por último una zona de desgaste. El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla que es constante o de lento incremento y que termina en una zona de desgaste. El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de la fábrica y luego un veloz incremento hasta un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar). El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente. Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que un 4% de los elementos correspondían al patrón A, un 2% al B, un 5% al C, un 7% al D, un 14% al E, y no menos de un 68% al patrón F. El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en el área industrial, pero no cabe duda de que a medida que los elementos se hacen más complicados, encontramos

más patrones E y F. Estos hallazgos contradicen la creencia de que siempre hay conexión entre la confiabilidad y la edad operacional”<sup>25</sup>.

Figura 23. Patrón de falla de equipos en línea de tiempo<sup>26</sup>.



Fuente: [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_44\\_176\\_10\\_294.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_294.pdf) -- p.9

Del mantenimiento de cuarta generación se puede concluir lo siguiente

- a) Orientación del departamento de mantenimiento hacia el negocio
- b) Optimización de los recursos económicos, operativos, humano y de equipos aumentando la productividad a un menos costo.
- c) Aumento de la confiabilidad global de la planta permitiendo una proyección más segura de producción en el tiempo.

<sup>25</sup> <http://www.biblioteca.udep.edu.pe>

<sup>26</sup> MOUBRAY, John. Reliability centered Maintenance (RCM) II. Second Edition. New York- E.E.U.U., Industrial Press Inc, 1997. Pp 239-245

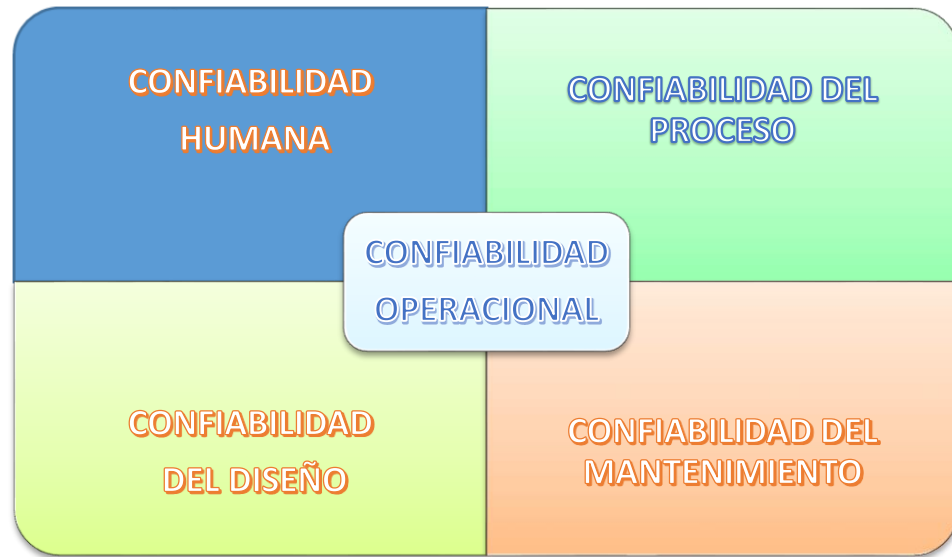
- d) Optimizar la mantenibilidad aumentando el desempeño con seguridad integral (humana, ambiental, industrial)
- e) Se cuenta con personal más calificado y con una filosofía alineada a las políticas empresariales, aplicando acciones de mejora continua y retroalimentación desde cada puesto de trabajo

## **2.2. Mantenimiento basado en confiabilidad RCM.**

RCM, mantenimiento basado en confiabilidad es una estrategia de mantenimiento cuya metodología se basa en un análisis racional, sistemático y estructurado, enfocado en la capacidad de una instalación y/o sistema para cumplir su función dentro de límites de diseño establecidos, por un tiempo determinado y bajo unas condiciones de operación previamente establecidas, ésta filosofía da como resultado las tareas de mantenimiento adecuadas para evitar o controlar las consecuencias provenientes de la materialización de las fallas en los equipos de acuerdo a su contexto operacional.

La confiabilidad operacional relaciona cuatro aspectos principales, ver figura 24, confiabilidad humana, confiabilidad de diseño, confiabilidad del proceso, la confiabilidad de mantenimiento

Figura 24. Aspectos de incidencia de la confiabilidad



Fuente: El autor

De la filosofía de mantenimiento se evidencia la integralidad y transversalidad de la filosofía a toda la empresa, esto implica un compromiso real por parte de la gerencia general para su desarrollo, implementación y seguimiento, con el objetivo principal de analizar todas las fallas potenciales de los activos objeto de mantenimiento de una compañía y la elaboración de un plan óptimo de mantenimiento integral que abarque cinco enfoques principales descritos a continuación:

### **2.3. Enfoque del RCM<sup>27</sup>.**

#### **2.3.1. Enfoque en riesgo.**

La filosofía RCM procura mitigar la materialización de una falla que incida en los aspectos de seguridad, ambiente, salud, costos, los cuales afectan directa o indirectamente en el proceso, las instalaciones personas, estos deben estar debidamente priorizados de acuerdo a su impacto.

---

<sup>27</sup> Bureau Veritas, Memorias Capacitación RCM, Unidad 1, memorias Capacitación 2015

### **2.3.2. Enfoque en producción.**

La filosofía RCM procura centralizar los esfuerzos dirigidos a mantener la función principal del sistema objeto de mantenimiento de acuerdo a su contexto operacional y los parámetros de función de cada máquina, o lo que el cliente espera que realice el equipo.

### **2.3.3. Enfoque en confiabilidad.**

La filosofía RCM debe garantizar los estándares de confiabilidad inherentes a cada equipo o función, de acuerdo a lo que se espera de ese activo o conjunto de activos en pro de mantener la función o funciones establecidas.

### **2.3.4. Enfoque en optimización.**

Con la filosofía RCM se espera la optimización de los costos derivados del mantenimiento, evitando acciones innecesarias, así como la prevención de lucro cesante del proceso por indisponibilidad.

## **2.4. Beneficios.**

- a) Minimiza los efectos sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente.
- b) Mejora el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- c) Revisión sistemática de las consecuencias de cada falla, relacionándolas con el contexto operacional.
- d) Definición de estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
- e) Reducción de fallas causadas por un mantenimiento innecesario.
- f) Aumento de la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- g) Control del riesgo inherente a la planta.
- h) Identificación de los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.

- i) Permite un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- j) Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- k) Analiza los fallos según las posibilidades, de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos externos.
- l) Mejora en la Confiabilidad; menos paradas no planeadas.
- m) Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta. Optimiza las acciones de operación y de mantenimiento.
- n) Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- o) Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos para el monitoreo de la condición
- p) Optimizar el proceso de almacenamiento y administración de repuestos y consumos.
- q) Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva (stand by).
- r) Mayor vida útil de los componentes costosos”.<sup>28</sup>

---

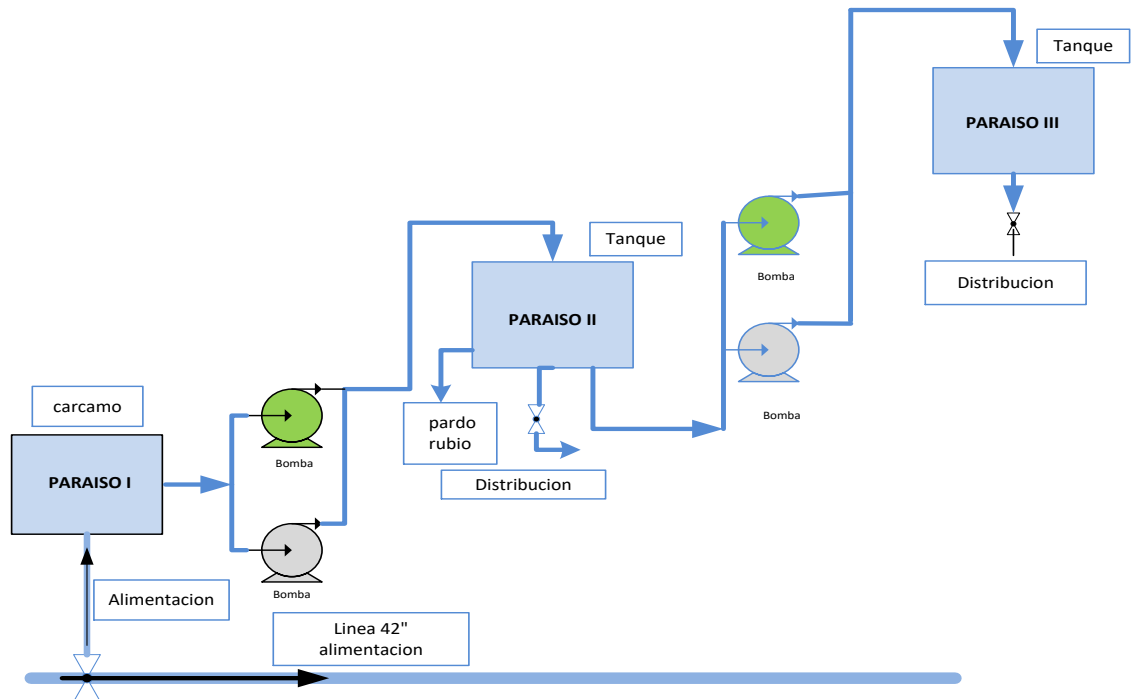
<sup>28</sup> BUREAU VERITAS, Memorias Capacitación RCM, Unidad 1 agosto 2015

### 3. JUSTIFICACIÓN.

El sistema macro de distribución de agua potable, posee diferentes cadenas y estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, estructuras de control, redes matrices y secundarias que están estratégicamente situadas a lo largo y ancho de la ciudad, con el objeto de garantizar una cobertura total a todos los barrios normalizados.

En las zonas perimetrales de la ciudad de Bogotá existe cadenas montañosas que superan los 2690 m s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) esta condición hace que la cabeza hidráulica disponible en las plantas de tratamiento y tanques de reserva principales no sea suficiente para una distribución del agua potable por gravedad, razón por la cual se debe incrementar la cabeza hidráulica por medio de estaciones que conforman una cadena de bombeo, ver figura 25.

Figura 25. Esquema cadena de bombeo Centro oriente



Fuente: El autor

La cadena centro oriente debe abastecer la parte alta del centro de la ciudad donde se encuentran cotas sobre el nivel del mar hasta 2810 m.s.n.m; para ello está constituida por seis estaciones de bombeo que trabajan en serie es decir una depende de la otra, tabla 4

Tabla 4. Tanques y estaciones cadena Centro oriente.

CADENA	PUNTO DE OPERACION	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	ALTURA (m)	GRAD MAX (m)	No de Bombas	Capacidad X BOMBA MCH	COTA MAX DE SERVICIO	COTA MIN DE SERVICIO
PARAÍSO	I	67	2.05	2685	2	240	-	-
PARAÍSO	II	900	2.80	2780	2	83	2700	2750
PARAÍSO	III	300	3.00	2855	-	-	2800	2750
PARDO RUBIO	I	245	3.97	2674	-	-	-	-
PARDO RUBIO	II	153	3.40	2742	2	44	2700	2650
PARDO RUBIO	III	91	2.38	2798	-	-	2750	2700

### 3.1. Estación de Bombeo Paraíso I, contexto operacional.

Figura 26: Estación de bombeo Paraíso I.



Fuente: El autor

La estación de bombeo denominada “PARAÍSO I”, figura 26 es la cabecera de bombeo cadena centro oriente, ubicada en el centro de la ciudad, con una afectación de servicio estimada de 9 barrios y 5.505 usuarios (17.000) habitantes aproximadamente, figura 27, lo que equivale al 0.1 % de los ciudadanos de la capital; Esta estación está conformada por dos (2) unidades de bombeo dispuestas en paralelo cuya función principal es bombear agua potable a la siguiente estación (Paraíso II) con un caudal promedio de 62 (+/- 10) litros por segundo, a una presión de 75 (+/-7 mca) metros columna de agua (106.6PSI), tabla 5

Esta función principal la puede realizar con una (1) unidad de bombeo, sin embargo, por necesidades de servicio y consumos variables, los modos de operación pueden

variar de acuerdo a demanda; teniendo que trabajar con dos unidades simultáneamente.

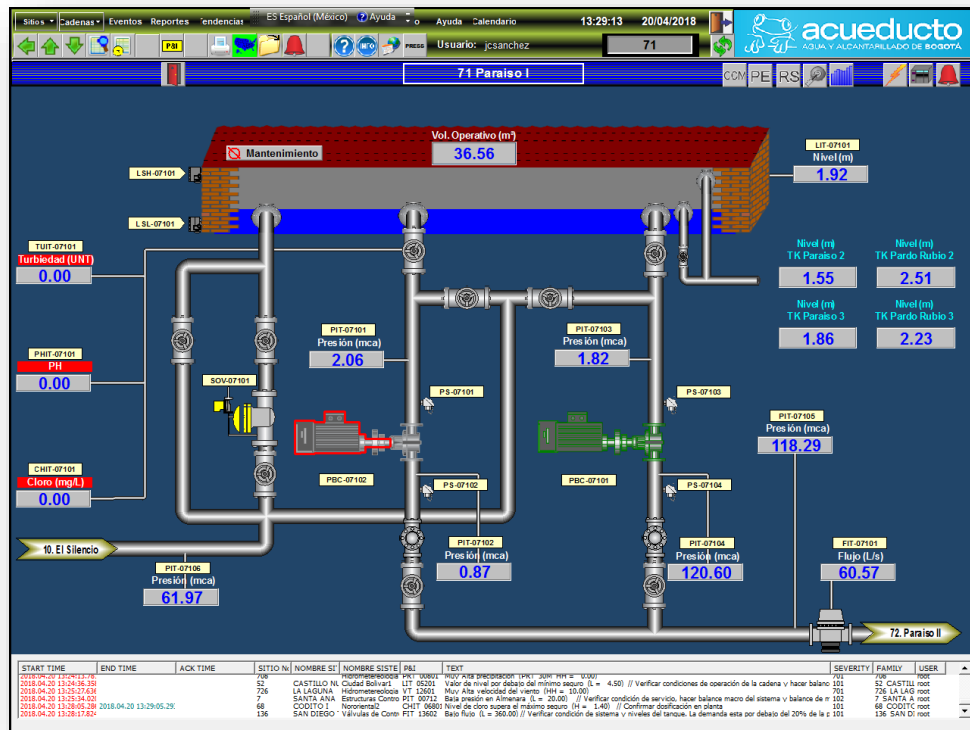
Figura 27. Zona de afectación servicio cadena sur Oriental.



Fuente: El autor

Esta estación es monitoreada y controlada remotamente desde un centro de control a través del sistema SCADA WINCC OA, el cual se comunica vía radio UHF, para la comunicación de la cadena hasta centro de control y una comunicación VHF, para la comunicación entre estaciones de bombeo de la cadena; es de aclarar que no hay un operador en sitio y todas las variables operativas están monitoreadas en tiempo real por el supervisorio en el centro de control, ver figura 28.

Figura 28. Esquema de operación Paraíso I.



Fuente: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá

La lógica de operación del sistema permite varios modos de operación de acuerdo a las necesidades operativas, por ejemplo, existe una operación netamente automática en donde las unidades de bombeo arrancan o paran de acuerdo a los indicadores de nivel y curvas de consumo integradas al sistema; permite también una operación manual remota desde centro de control, en donde el operador a voluntad puede iniciar y apagar las unidades de bombeo según el requerimiento del consumo y una tercera forma de operación en donde se toma el mando manual de forma local desde en sitio, este modo de operación inhibe el automatismo y se realiza para trabajos mantenimiento y suplir eventuales fallas de comunicaciones.

Tabla 5. Características unidades de bombeo

UNIDAD	MOTOR						BOMBA			
	Marca	Potencia (HP)	RPM	Voltaje (V)	Amp (A)	F (Hz)	Marca	CAP (Q)	Tipo	Impulsor
1	US motors	150	3600	460	164	60	FLOWSERVE	4m³/min	centrifuga carcaza partida	Cerrado
2	US motors	150	3600	460	164	60	FLOWSERVE	4m³/min	centrifuga carcaza partida	Cerrado

Figura 29. Unidades de bombeo Paraíso I



Fuente: El autor

### **3.2. Principales Fallas.**

Los principales problemas identificados en las unidades de bombeo son:

- a) Falla en el sistema de comunicaciones en el automatismo lo que impide el control remoto y automático de las unidades de bombeo.
- b) Fallas en los diferentes componentes del sistema que pueden ser de tipo mecánico, eléctrico y electrónico los cuales pueden inhabilitar el funcionamiento de las unidades de bombeo.
- c) La incapacidad total o parcial de bombeo de agua potable a la siguiente estación y si consideramos que ésta, es la primera estación de la cadena que consta de tres estaciones que trabajan en serie, podemos concluir que, así se tengan las demás estaciones en condiciones operativas normales, no podrán realizar su función por falta del fluido de trabajo (agua).
- d) Presencia de fallas en las comunicaciones, que implican unidades de bombeo no disponibles en forma remota, esto hace que las comisiones de inspección deban realizar desplazamientos de emergencia para tomar el mando de la estación en modo manual para restablecer el servicio.
- e) Disparos por sobre tensiones de energía hacen que las unidades entren en falla y no se puedan operar de forma remota.
- f) Fallas generalizadas en los diferentes sistemas (eléctrico, mecánico, monitoreo y control) y dada la naturaleza del equipo y su grado de incidencia en el proceso, pueden ocasionar fallas de servicio por tiempos prolongados con las implicaciones legales, económicas y sociales establecidas.

### **3.3. Objetivos.**

#### **3.3.1. Objetivo general.**

Optimización del plan de mantenimiento basado en la filosofía (RCM) para las unidades de bombeo de la estación de agua potable paraíso I de la Empresa de agua, alcantarillado y aseo de Bogotá

#### **3.3.2. Objetivos específicos.**

- a) Desarrollar la metodología RCM en el sistema de bombeo de la estación PARAISO I.
- b) Identificar las funciones principales y secundarias de las unidades de bombeo
- c) Proponer las tareas y frecuencias de mantenimiento óptimas de tipo preventivo, predictivo a las unidades de bombeo

## **4. DESARROLLO DE METODOLOGÍA RCM ESTACIÓN DE ESTUDIO.**

### **4.1. Las siete preguntas del RCM.**

La norma SAE JA 1011 determina los pasos a desarrollar en la metodología que asegura el correcto desarrollo de un Estudio de Mantenimiento basado en Confiabilidad. Estos pasos se establecen en 7 preguntas básicas que se desarrollan en esta monografía:

- a) ¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del equipo en su contexto operativo? (Funciones)
- b) ¿En qué forma puede fallar para cumplir con sus funciones? (Falla Funcional)
- c) ¿Qué causa cada Falla Funcional? (Causa de falla).
- d) ¿Qué pasa cuando cada falla ocurre? (Efectos de la Falla)
- e) ¿Cuál es el impacto de la falla? (Consecuencias de la Falla)
- f) ¿Qué debiera hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- g) ¿Qué debiera hacerse si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada? (Acciones por Omisión)<sup>29</sup>

### **4.2. Paso para implementación RCM.**

- a) Identificar la estación de estudio definiendo los sistemas principales con sus respectivas funciones
- b) Identificar las fallas funcionales de los equipos asociados a cada sistema
- c) Identificación de los modos de falla que producen una falla funcional
- d) Determinar las necesidades funcionales de los equipos
- e) Determinar la criticidad de los efectos de falla
- f) Establecer las tareas y naturaleza de las mismas Selección de actividades

---

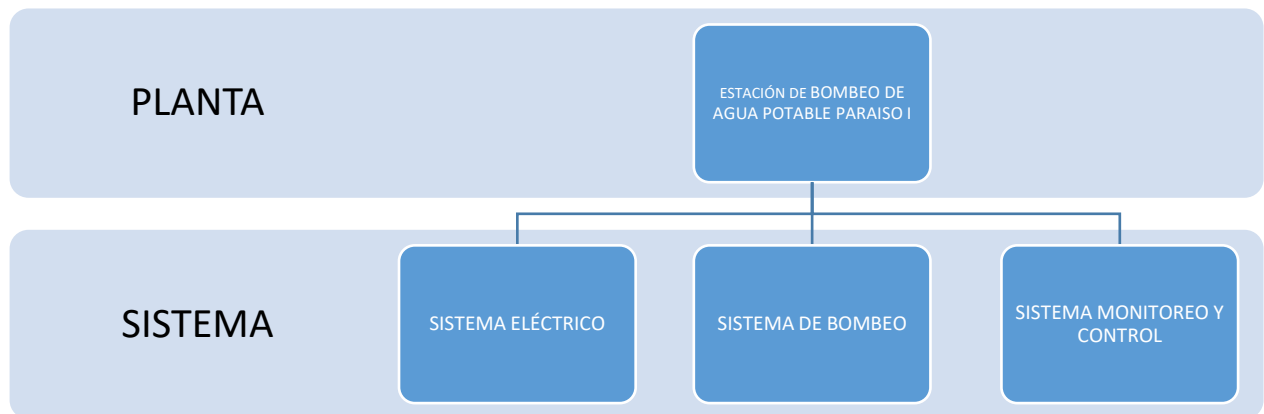
<sup>29</sup> MOUBRAY, John. Reliability centered Maintenance (RCM) II. Second Edition. New York- E.E.U.U., Industrial Press Inc., 1997. P 7

preventivas y otras que mantengan la función principal

#### 4.3. Definición de los sistemas.

De acuerdo al desarrollo de la metodología propuesta por la SAE JA1011 se definen tres sistemas principales en la estación de bombeo PARAÍSO, ver figura 30.

Figura 30. Sistemas estación de bombeo Paraíso I.

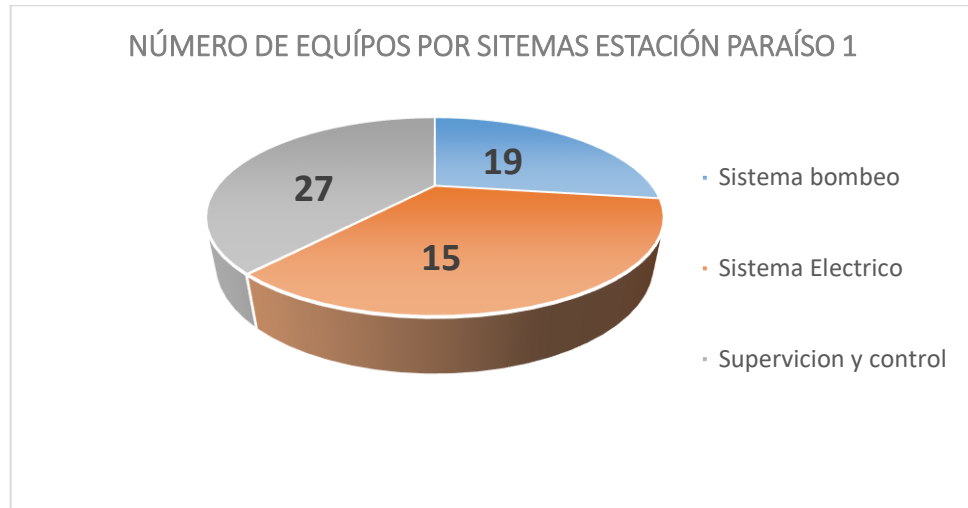


Fuente: El autor

- a) Sistema de bombeo: compone la mayoría de los elementos mecánicos, como las bombas centrifugas, válvulas de cortina, válvulas de globo, válvula de altitud, incluye el motor eléctrico
- b) Sistema eléctrico: incluye los transformadores de potencia, transformadores auxiliares, gavetas de arrancadores, acometida eléctrica
- c) Sistema de supervisión, monitoreo y control: Incluye el procesador lógico de control, indicadores de presión y caudal, switch de presión entre otros

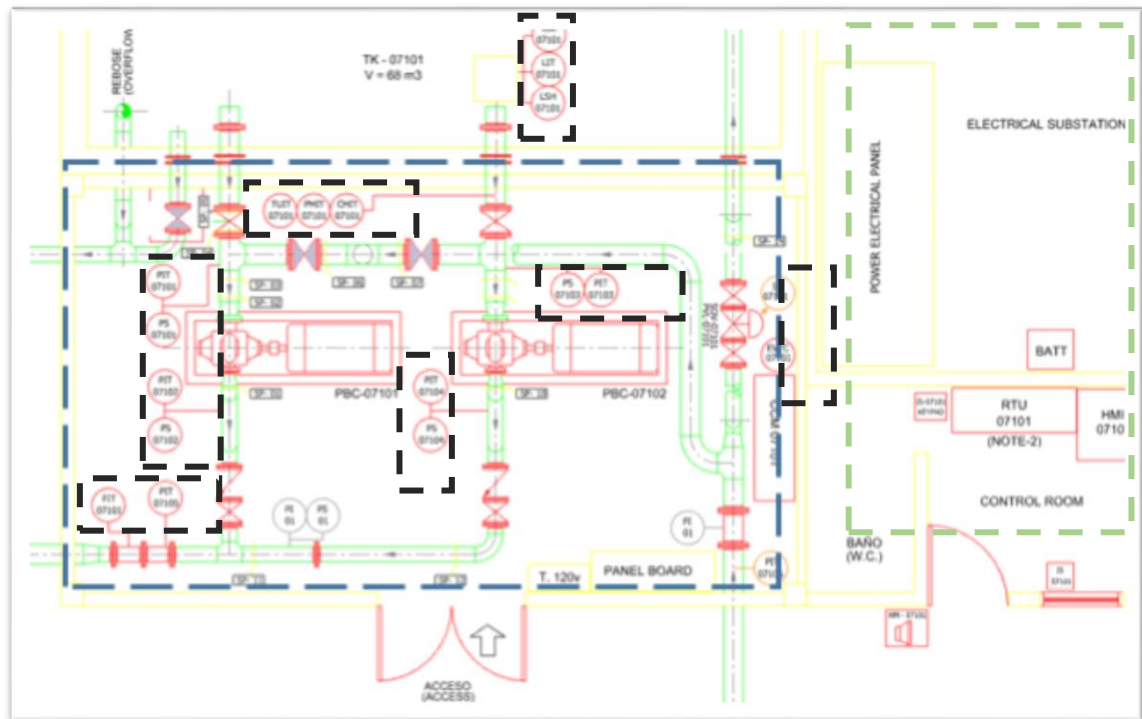
En SAP, están relacionados un total de 70 equipos los cuales están distribuidos así. Ver figura 31 y 32, delimitación gráfica de los sistemas Paraíso I

Figura 31. Distribución de equipos por sistemas



Fuente: El autor

Figura 32. Delimitación gráfica de los sistemas Paraíso I.



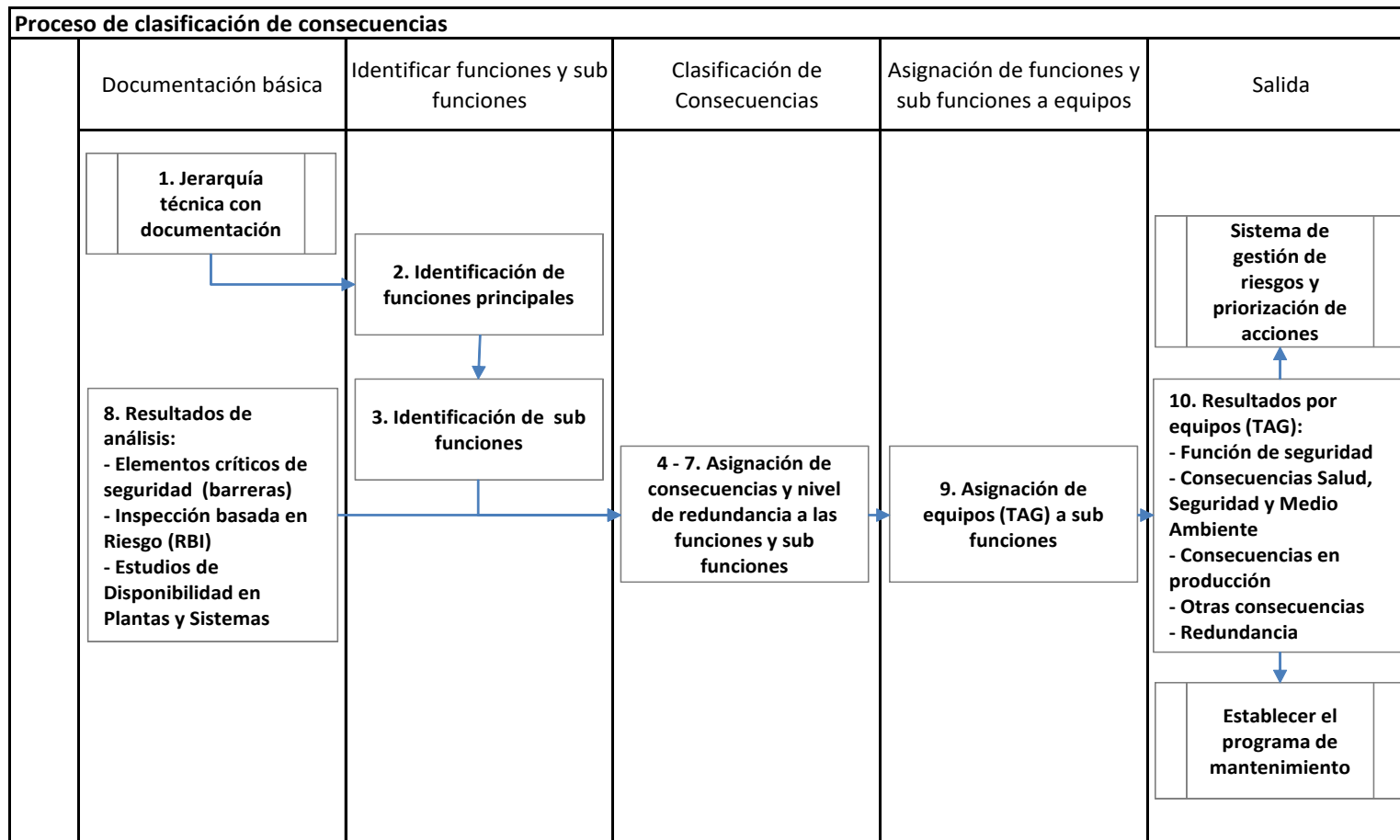
Fuente: El autor

Una vez establecidos claramente los sistemas que componen la estación y los equipos asociados; se realiza el correspondiente análisis de criticidad. Ver ANEXO 1 ([Matriz de criticidad](#) ESTACIÓN PARAÍSO I)

#### 4.4. Definición equipos críticos.

La criticidad se define como Frecuencia x consecuencia, figura 33. La EAB-ESP tiene definida estas dos matrices y mediante varios talleres en que participaron personal de operación (División red matriz), personal técnico (División ejecución) y un monitor que conoce la metodología RCM; Se calificaron cada uno de los equipos asociados a las funciones definidas. Para el cálculo de las frecuencias de falla Tabla 6, se tuvo en cuenta un histórico de fallas de 5 (cinco) años atrás

Figura 33. Proceso de evaluación de criticidad.<sup>30</sup>



<sup>30</sup> NORSOK STANDARD Z-008, Critically analysis for maintenance purposes, nov 2001, P 14

Tabla 6. Matriz frecuencia de falla

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF	Frecuencia: número de fallas por año, ( $\lambda$ )	Interpretación
E = 5	$0 > \text{TPEF} \leq 6$ meses	$\lambda \geq 2$	Es probable que ocurran varias fallas en 6 meses.
D = 4	$6 \text{ meses} < \text{TPEF} \leq 8$ meses	$1,5 \leq \lambda < 2$	Es probable que ocurran varias fallas en 8 meses, pero es poco probable que ocurra en 6 meses.
C = 3	$8 \text{ meses} < \text{TPEF} \leq 1$ año	$1 \leq \lambda < 1,5$	Es probable que ocurran varias fallas en 1 año, pero es poco probable que ocurra en 8 meses
B = 2	$1 \text{ año} < \text{TPEF} \leq 2$ años	$0,5 < \lambda < 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 2 años, pero es poco probable que ocurran en 1 año
A = 1	$\text{TPEF} > 2$ años	$\lambda \leq 0,5$	Es poco probable que ocurran fallas en 2 años

Fuente: Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá

La calificación de las consecuencias de la falla se determina de acuerdo a los parámetros establecidos en la matriz y apoyados con la experiencia del personal técnico y operativo.

La EAB-ESP, (dirección servicios electromecánica) construyó la siguiente matriz de criticidad, tabla 7 en donde se define la frecuencia de la ocurrencia de falla en un periodo de tiempo determinado Vs la consecuencia de la materialización de la misma, (matriz de consecuencia tabla 8) esta matriz está identificada con un código de colores, en la zona roja se encuentran los equipos que de acuerdo al análisis se consideran críticos, en la zona amarilla los equipos considerados medianamente críticos y en la zona verde los equipos considerados de baja criticidad.

Tabla 7. Matriz de criticidad

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

Fuente: Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá

Tabla 8. Matriz de consecuencias

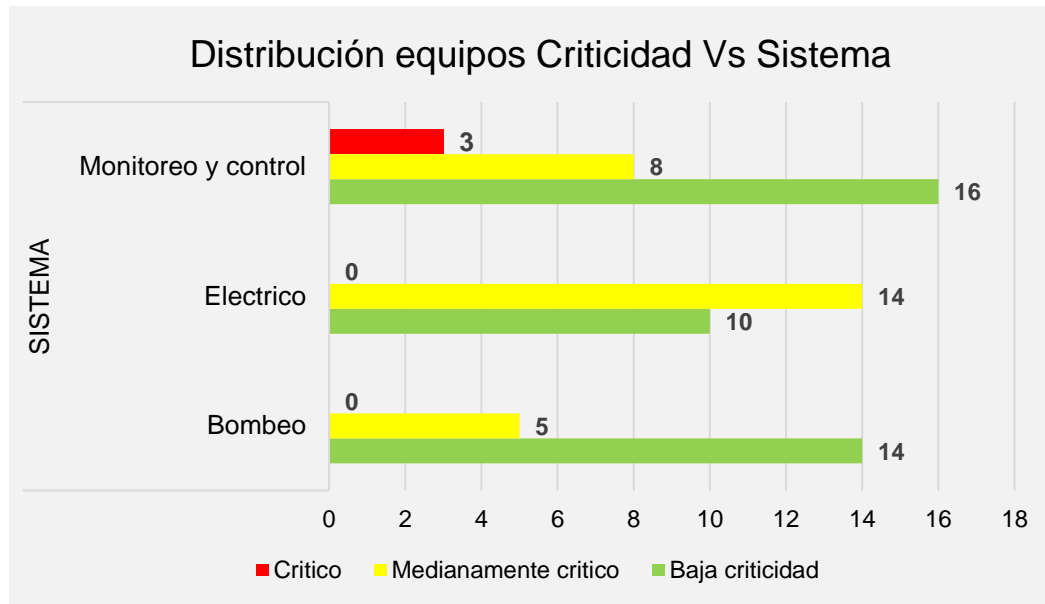
Categoría	Severidad	Daños al personal	Impacto a la población	Impacto al ambiente	Afectación al servicio (h)		Costos, \$ Col (Daños Instalaciones/Mtto)
					Agua Potable	Alcantarillado	
5	Catastrófico	Muerte o incapacidad total permanente, quemaduras de tercer grado, daños severos o enfermedades profesionales graves irreparables en el personal de la empresa	Muerte o incapacidad total permanente, quemaduras de tercer grado, daños severos o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Con Impactos Ambientales que se pueden mitigar con recursos de la Empresa, de autoridades locales y nacionales que trascienden por fuera de sus instalaciones. Incumplimientos de leyes y regulaciones consignadas en la Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales.	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado > 24 h	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado > 8 h	Más de 80 millones de pesos
4	Mayor	Personal con incapacidad parcial, invalidez, quemaduras de segundo grado, heridas severas, lesiones o enfermedades profesionales.	Incapacidad parcial, invalidez, quemaduras de segundo grado, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	Con Impactos Ambientales que se pueden mitigar con recursos de la Empresa y de autoridades locales, que trascienden por fuera de sus instalaciones. Incumplimientos de leyes y regulaciones consignadas en la Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales.	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado entre 12 y 24 h.	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado entre 4 y 8 h.	> 50 - ≤ 80 millones de pesos
3	Serio	Personal con lesiones, quemaduras de primer grado o enfermedades severas. Requiere Incapacidad laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 1 persona	Con Impactos Ambientales que se pueden mitigar con recursos de la Empresa pero que trascienden por fuera de sus instalaciones y/o con incumplimientos de leyes y regulaciones consignadas en la Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales.	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado 6 y 12 h	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado 2 y 4 h	> 25 - ≤ 50 millones de pesos
2	Menor	El personal de la empresa requiere tratamiento médico. Lesiones menores que no requieren incapacidad	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios	Con impactos ambientales que se pueden controlar dentro de las instalaciones de la empresa sin violación de leyes y regulaciones consignadas en la Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado entre 3 y 6 h	Afectación a la prestación del servicio a: Hospitales, bomberos, universidades, colegios, barrios y entidades del estado entre 1 y 2 h	> 10 - ≤ 25 millones de pesos
1	Leve	Personal requiere primeros auxilios o Sin impacto en el personal de la Empresa.	Sin efecto a la población.	Sin impacto ambiental ni violación de leyes y regulaciones consignadas en la Matriz de Identificación de Aspectos y Evaluación de Impactos Ambientales	Afectación a la prestación del servicio < 3 h	Afectación a la prestación del servicio < 1 h	≤ 10 millones de pesos

Fuente: Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá

#### 4.5. Resultados criticidad por sistemas.

Después de aplicar la metodología continuación se muestra la distribución de los equipos de baja, media y alta criticidad en la estación por sistema, ver figura 33. Los equipos críticos y semi críticos se listan por sistemas en las tablas 9, 10, 11.

Figura 34. Distribución equipos críticos y semi críticos estación Paraíso I.



a) Sistema de bombeo

Tabla 9. Equipos críticos sistema bombeo Paraíso I.

SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACIÓN	NIVEL DE CRITICIDAD
Bombeo	PBC033	BOMBA CENTRIFUGA # 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Bombeo	PBC034	BOMBA CENTRIFUGA # 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Bombeo	EMO00048	MOTOR # 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Bombeo	EMO00074	MOTOR # 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Bombeo	PVL010	VALVULA DE ALTITUD # 1	MEDIANAMENTE CRITICO

b) Sistema eléctrico

Tabla 10. Equipos críticos sistema eléctrico Paraíso I

SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACIÓN	NIVEL DE CRITICIDAD
Eléctrico	CC1ERE00144	RELÉ PROTECTOR DE MOTOR 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	CC1ERE00145	RELÉ PROTECTOR DE MOTOR 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ERE00114	n3 relé de protección 369	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ERE00115	N3 RELÉ DE PROTECCIÓN 369	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ETR00048	TRANSFORMADOR TRIFASICO TR-1	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ETR00098	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ETR00199	TRANSFORMADOR TIPO SECO 5 KVA	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE00128	CELDA PROTECCIÓN TRAF0	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01064	INTERRUPTOR N1 PRINCIAL salida 480 VAC	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01066	GAVETA N2 ARRANCADOR SUAVE	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01067	N3 INTERRUPTOR SALIDA 440VAC	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01068	N3 ARRANCADOR MOTOR 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01069	N3 ARRANCADOR MOTOR 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Eléctrico	ECE01089	GAVETA N2 BANCO DE CONDENSADORES	MEDIANAMENTE CRITICO

c) Sistema monitoreo y control

Tabla 11: Equipos críticos sistema monitoreo y control Paraíso 1.

SISTEMA	EQUIPO	DENOMINACIÓN	NIVEL DE CRITICIDAD
Monitoreo y control	CC1IFT102	MEDIDOR Y TRANSMISOR FLUJO	MEDIANAMENTE CRÍTICO
Monitoreo y control	CC1IPH029	MEDIDOR Y TRANSMISOR DE PH EN EL AGUA	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1ISO095	MEDIDOR DE NIVEL	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1ISP181	PRESOSTATO DE SUCCIÓN UNIDAD N° 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1ISP182	SWITCH DE PRESIÓN UNIDAD N° 1	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1ISP183	PRESOSTATO DE SUCCIÓN UNIDAD N° 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1ISP184	SWITCH DE PRESIÓN UNIDAD N° 2	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1TCA063	CARGADOR DE BATERIAS	MEDIANAMENTE CRITICO
Monitoreo y control	CC1TDP052	CONTROL WAVE CPU CON PUERTO ETHERNET	CRITICO
Monitoreo y control	CC1TRM098	INTEGRA (UHF)DATARADIO	CRITICO
Monitoreo y control	CC1TRM106	INTEGRA (VHF)DATARADIO	CRITICO

**4.6. Modos de falla equipos, causas de falla.**

Luego del análisis realizado, a continuación, se listan las causas de falla (criterio SAE JA 1011) en los equipos críticos y semi críticos, así como la consecuencia de sus fallas funcionales, esto con el ánimo de asignar la tarea más apropiada para prevenir o mitigar el efecto de la falla. En las tablas 12, 13 y 14 se listan los modos de falla y las consecuencias por cada sistema.

Tabla 12: Causas de falla y efectos, sistema Bombeo

CLASE DE EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CAUSA DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	DESCRIPCIÓN EFECTOS
BOMBA CENTRIFUGA CARCAZA PARTIDA	Bombear agua potable a razón de 240 +/- 3 m <sup>3</sup> /s y 119 (+/- 4) mca (metros columna de agua)	Incapacidad total de bombeo	Daño en rodamientos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Ruptura y/o daño acople	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Atascamiento Impulsor	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Anillos pegados	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Impulsor suelto	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Fractura y deflexión del eje	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
		Incapacidad parcial de bombear en los rangos esperados	Desgaste en impulsor	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Desgaste en anillos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Cavitación	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Taponamiento parcial	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
MOTOR ELECTRICO	Trasformar la energía eléctrica en mecánica a la potencia requerida por la bomba a 3600 RPM (+/- 3%)	Incapacidad total de transformación de energía eléctrica en mecánica	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Daño rodamientos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Bajo aislamiento	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Deformación en eje	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Conexiones sueltas	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			daño en ventilador	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

		Incapacidad parcial de transformación de energía eléctrica en mecánica	Desbalanceo eléctrico	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
VALVULA DE ALTITUD	permitir el paso, corte y regulación de agua potable	Incapacidad total permitir el paso, corte y regulación de agua potable	Mecanismo interno atascado (diafragma)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Cuerpos extraños	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Daño en solenoide	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
		Incapacidad parcial permitir el paso, corte y regulación de agua potable	Disco gastado	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Mal montaje diafragma	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Corrosión	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

Tabla 13: Causas de falla y efectos, sistema Eléctrico

CLASE DE EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CAUSA DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	DESCRIPCIÓN EFECTOS
RELE PROTECTOR DE MOTOR 1	Protección de variables eléctricas ( corriente al motor)	Incapacidad Protección de variables eléctricas ( corriente al motor)	Deterioro Bimetálico	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Mal contacto	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
N3 RELÉ DE PROTECCIÓN 369	Protección de variables Físicas (Voltaje, corriente, temperatura al motor)	Incapacidad Protección de variables Físicas (Voltaje, corriente, temperatura al motor)	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Descalibración parámetros	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Daño en tarjetas	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

TRANSFORMADOR TRIFASICO TR-1	Transformación de Voltaje 11400/480	Incapacidad Transformación de Voltaje 11400/480	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Aislamiento deficiente bobinado	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Aislamiento deficiente aceite rigidez dieléctrica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Descarga atmosférica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Agentes externos (corrosión)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	Transformación de Voltaje 440/220	Incapacidad Transformación de Voltaje 440/220	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Aislamiento deficiente bobinado	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Descarga atmosférica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Agentes externos (corrosión)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
TRANSFORMADOR TIPO SECO 5 KVA	Transformación de Voltaje 440 / 220	Incapacidad Transformación de Voltaje 440/220	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Aislamiento deficiente bobinado	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Descarga atmosférica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Agentes externos (corrosión)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
CELDA PROTECCIÓN TRAF0	protección eléctrica del transformador	Incapacidad protección eléctrica del transformador	Corco circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

			Desajuste mecánico	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla aislamiento acometida	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
INTERRUPTOR N1 PRINCIAL salida 480 VAC	Protección eléctrica 480 Voltios hacia abajo	Incapacidad protección eléctrica 480 Voltios hacia abajo	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla contactos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
GAVETA N2 ARRANCADOR SUAVE	Arranque suave del motor	Incapacidad para arranque suave del motor	Corco circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Daño en tarjetas	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Daño en tiristores	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
N3 INTERRUPTOR SALIDA 440VAC	Corte de energía	No realiza corte de energía	Falla en contactos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
N3 ARRANCADOR MOTOR 1	Arranque de equipo	No acciona arranque	Corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			sobre corriente	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Deterioro físico	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
GAVETA N2 BANCO DE CONDENSADORES	Regular factor de potencia	No regula	Condensadores abiertos	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

			Cortocircuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
--	--	--	---------------	---	--

Tabla 14: Causas de falla y efectos, sistema monitoreo y control

CLASE DE EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CAUSA DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	DESCRIPCIÓN EFECTOS
MEDIDOR Y TRANSMISOR FLUJO	Monitoreo y transmisión de variables	Incapacidad de monitoreo y transmisión de variables	Des calibración	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 1, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Deterioro medio elastómero	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla lazo de corriente	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Desajuste en montaje	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla alimentación	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 2, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
MEDIDOR Y TRANSMISOR CALIDAD EN EL AGUA	Monitoreo y transmisión de calidad de agua	Incapacidad de Monitoreo y transmisión de calidad de agua	Deterioro por uso electrodo	Personal 1, población 2, Ambiente 2, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Descalibración	Personal 1, población 2, Ambiente 2, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla lazo de corriente	Personal 1, población 2, Ambiente 2, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla alimentación	Personal 1, población 2, Ambiente 2, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
MEDIDOR DE NIVEL	Visualización de nivel del cárcamo	no registra presión, dato errado	des calibración	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

			Falla alimentación	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla lazo de corriente	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
SWITCH DE PRESIÓN UNIDAD N° 1	Control y transmisión presión a control wave	No mide o medición errónea	deterioro general (corrosión, oxidación)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla señal digital	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla alimentación	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Fuga, taponamiento tubería de muestra	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
PRESOSTATO DE SUCCIÓN UNIDAD N° 2	monitoreo y control de presión succión	No mide o medición errónea	deterioro general (corrosión, oxidación)	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Falla señal digital	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla alimentación	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Fuga, taponamiento tubería de muestra	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 1	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
CARGADOR DE BATERIAS	suministrar 24 Control y 12 Voltios radios DC a cargas esenciales de control	no carga, no mantiene carga	falla batería baja	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla cargador	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla alimentación AC	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			corto circuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
CONTROL WAVE CPU CON PUERTO ETHERNET	Enlace y establecimiento de comunicación	No responde control	cortocircuito,	Personal 1, población 2, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía

	TCP en cadena de bombeo y centro de control		Puerto comunicación	Personal 1, población 2, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla eléctrica	Personal 1, población 2, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
INTEGRA (UHF)DATARADIO	establecer comunicación entre paraíso y modelia	No comunica	Interferencia	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla eléctrica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Cortocircuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla cable coaxial	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			conexiones sueltas	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 70 monografía
			Des configuración	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
INTEGRA (VHF)DATARADIO	establecer comunicación entre estaciones	No comunica	Interferencia	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla eléctrica	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Cortocircuito	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			falla cable coaxial	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			conexiones sueltas	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía
			Des configuración	Personal 1, población 1, Ambiente 1, Afectación al servicio 3, Costos 2	Ver Matriz de consecuencias Pág. 75 monografía



#### **4.7. Tareas de mantenimiento**

Una vez están definidos las causas y los efectos de falla; La norma SAE JA1011, propone un algoritmo lógico de decisión para definir cuál es la tarea o acción más apropiada para mitigar los efectos de la materialización de una falla, ver figura 34.

De acuerdo al desarrollo del algoritmo se definieron las siguientes tareas de mantenimiento a los diferentes equipos objeto del análisis

- a) Preventivas:
  - Lubricación
  - Inspecciones
  - Limpieza
  - Ajuste de conexiones
  - Ajuste de tornillería
  - Cargue programación (aplica radios UHF, VHF, Control wave)
  - Calibración
- b) Basadas en condición:
  - Vibraciones
  - Termografía
  - Mediciones de aislamiento
  - Análisis de aceite usado
  - Análisis de aceite dieléctrico

En las figuras 36, 37, 38 se describen algunas tareas de mantenimiento de acuerdo al sistema planteado.

Figura 36: Sistema monitoreo y control



Fuente: El autor

Figura 37: Sistema eléctrico



Fuente: El autor

Figura 38: Sistema de bombeo



Fuente: El autor

Ya definidas las tareas de mantenimiento y de acuerdo a la naturaleza del activo y su nivel de criticidad, se deben asignar los recursos humanos y técnicos, para la posterior ejecución. En la tabla 15, se relaciona los niveles de los profesionales y técnicos de planta del EAB en la división ejecución y táctica respectivamente.

Tabla 15. Niveles de técnicos División ejecución y táctica.

Especialidad	Ejecución		Táctica	
	Código	Descripción	Código	Descripción
Mecánicos	26370MM1	Nivel 31	26360MM1	Nivel 31
	26370MM2	Nivel 32	26360MM2	Nivel 32
	26370MM3	Nivel 41	26360MM3	Nivel 41
Eléctricos	26370EL1	Nivel 31	26360EL1	Nivel 31
	26370EL2	Nivel 32	26360EL2	Nivel 32
	26370EL3	Nivel 41	26360EL3	Nivel 41
Electrónicos	26370ET1	Nivel 31	26360ET1	Nivel 31
	26370ET2	Nivel 32	26360ET2	Nivel 32
	26370ET3	Nivel 41	26360ET3	Nivel 41
Electromecánicos	26370T42	Nivel 42	26360T42	Nivel 42
Profesional	26370I21	Nivel 21	26360I22	Nivel 22

## **5. PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO**

Ver anexo

## **6. CONCLUSIONES**

Se propone un plan de mantenimiento producto de la aplicación de la metodología RCM para los equipos críticos y semicríticos de la estación de bombeo PARAISO I, con el propósito de mejorar los índices de confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la estación

El apoyo del personal de mantenimiento y de operación en el desarrollo de la metodología RCM, es de suma importancia para la definición de las tareas de mantenimiento derivadas de las causas de la falla.

La definición clara y precisa del contexto operacional es de suma importancia teniendo en cuenta que la EAB-ESP NO tiene operadores en las estaciones de bombeo, esto hace que las comunicaciones, el control y monitoreo de las variables operativas exijan una confiabilidad superior al 99%

Como resultado del análisis RCM, se propusieron tareas como análisis de vibraciones, análisis de aceites, termografías, las cuales fortalecen el concepto de mantenimiento preventivo.

## BIBLIOGRAFÍA

BORRAS, Carlos. Principios de Mantenimiento, Aseduis Bogotá, 2017 150 p  
Memorias Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico  
Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica Especialización en gerencia de  
Mantenimiento.

BORRAS, Carlos. Mantenimiento preventivo, Aseduis Bogotá, 2017 150 p  
Memorias Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico  
Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica Especialización en gerencia de  
Mantenimiento.

BERNAL, Pablo, Modelo estratégico de mantenimiento para las subestaciones Y  
redes eléctricas de media tensión de una planta siderúrgica basado en la  
metodología RCM. Monografía especialista en gerencia de mantenimiento.  
Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico  
Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2014. 152 p

COMISION REGULADORA DE AGUA POTABLE (CRA), Resolución 315.  
Diciembre 20 de 2005

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, Acuerdo No 11  
de 2011, (7 de julio 2010) Por el cual se adopta el nuevo marco estatutario para la  
empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, conferidas por el decreto ley 1421  
de 1993.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ Manual sistema  
Integrado de Gestión, septiembre 21 de 2015, CODIGO: M4EE0501M01 Versión 4.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ Manual de operación de la red matriz de Bogotá, marzo 15 de 2010, CODIGO: M4EE0501M01 Versión 4.

GONZALEZ, Isnardo. Seminario II, monografía de especialización, Aseduis Bogotá, 2017. Memorias universidad industrial de Santander. Facultad de Ingenierías físico mecánicas. Especialización en gerencia de Mantenimiento.

GUERRERO, Daniel y PABA, Oscar. Modelo gerencial de mantenimiento basado en la teoría RCM para para el campo moriche de la compañía petrolera.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION NTC 1486 Presentación De Trabajos escritos de investigación. Bogotá DC, ICONTEC, 2016. 256 p.

SOURIS, Jean Paul. Mantenimiento fuente de beneficios. Segunda edición. Madrid España, editorial Díaz de santos, S.A. 1990 pp 16-45

MANSOVAR ENERGY COLOMBIA LTDA. Monografía especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2016. 115 p

MOUBRAY, John. Reliability centered Maintenance (RCM) II. Second Edition. New York-E.E.U.U., Industrial Press Inc, 1997. 421 p.

ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Aseduis Bogotá 2017. 120 p Memorias universidad industrial de Santander. Facultad de Ingenierías físico mecánicas. Especialización en gerencia de Mantenimiento.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for reability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automovie Engineers Inc, 1999. 30 p

SAE JA1012. Evaluation Criteria for reability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automovie Engineers Inc, 2002. 61 p

NORSOK STANDARD Z-008, critically analysis for maintenance purposes, Nov 2001, P 14