

EVALUACIÓN FUNCIONAL Y FORMULACIÓN DE PROPUESTA DE INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESALINIZADORA INSTALADA EN EL BARRIO AYPIAMANA, MUNICIPIO DE URIBIA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA. Camilo José Bravo Cano.

**EVALUACIÓN FUNCIONAL Y FORMULACIÓN DE PROPUESTA DE INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESALINIZADORA INSTALADA EN EL BARRIO AYPIAMANA, MUNICIPIO DE URIBIA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.**

**Camilo José Bravo Cano**

**Universidad El Bosque**

**Facultad de ingeniería ambiental**

**Empresa AAA de Uribia**

**Bogotá D.C.**

**2016**

**Universidad El Bosque**

**Facultad de ingeniería ambiental**

**Evaluación funcional y formulación de propuesta de ingeniería ambiental para la puesta en marcha de la planta desalinizadora instalada en el barrio Aypiamana, municipio de Uribia, departamento de La Guajira.**

**Gestión integral del recurso hídrico.**

**Agua, Aseo y Alcantarillado (AAA) de Uribia**

**Investigación teórica**

**Director**

**Juan Manuel Díaz Hernández**

**Bogotá D.C.**

**2016**

“La Universidad El Bosque, no se responsabiliza de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

### **Agradecimientos**

Principalmente quiero agradecerle a Dios por darme la sabiduría y paciencia para afrontar y superar este reto que es el más importante en mis 21 años de vida, también a todas las personas (docentes, compañeros, familiares y amigos), que directa o indirectamente me brindaron su apoyo durante estos 5 años, en los que lleve a cabo el pregrado de ingeniería ambiental. A mis padres que son los que me brindaron los recursos para poder estudiar la carrera y a Manuela González Grandett, una persona que siempre estuvo apoyándome y brindándome lo que estuviera a su alcance para salir adelante con este reto. Por ultimo a mi director Juan Manuel Díaz Hernández de quien siempre recibí el apoyo para trabajar en este proyecto de investigación.

### **Dedicatoria**

Este proyecto de grado va dedicado principalmente a mis padres Jose Joaquín Bravo Velázquez y Carmenza Cano Buitrago, gracias a ellos tuve la oportunidad de estudiar esta carrera y convertirla en un reto en mi vida personal. Por otro lado a mis abuelos maternos y a mi abuelo paterno que siempre han estado pendientes.

## Tabla de contenido

1. Resumen .....	9
2. Introducción .....	9
Capítulo 1.....	10
3. Antecedentes.....	10
4. Planteamiento del problema.....	11
5. Justificación. ....	12
6. Pregunta de investigación. ....	14
Capítulo 2.....	14
7 Objetivos.....	14
7.1 General. ....	14
7.2 Específicos. ....	14
8 Marco de referencia. ....	14
8.1 Marco de referencia situacional.....	14
8.2 Fuentes de la información.....	15
8.3 Análisis territorial. ....	16
Marco Legal y normativo.....	18
Marco conceptual.....	18
8.5.1 Agua de mar.....	19
8.5.2 Desalación de agua de mar.....	20
8.5.3 Planta desalinizadora.....	20
8.5.4 Ósmosis inversa.....	21
8.5.5 Bombeo. ....	21
8.5.6 Filtración.....	22
8.5.7 Metodología RCM.....	22
8.6 Estado del arte.....	24
CAPÍTULO 3.....	26
9 Metodología .....	26
9.1 Enfoque de la investigación.....	26

9.2	Alcance de la investigación.....	27
9.3	Cuadro metodológico que integre objetivos, metodología, actividades y resultados esperados por cada objetivo específico. ....	28
10	Resultados y análisis.....	29
10.1	Aspectos técnicos y operativos de la Planta desalinizadora Aypiamana del municipio de Uribia. (Objetivo Esp. 1) .....	30
10.1.1	Selección y definición de sistemas, equipos y sus funciones. ....	30
10.1.2	Análisis de fallas funcionales identificadas y criticidad de riesgos .....	35
10.2	Análisis de alternativas desde el punto de vista técnico y operativo que permitan la puesta en marcha de la planta desalinizadora. (Objetivo Esp. 2) .....	38
10.2.1	Análisis de causa de las fallas funcionales identificadas .....	38
10.2.2	Definición de tareas de mantenimiento y operación con enfoque en la criticidad de riesgos .....	42
10.3	Solución de ingeniería para la puesta en marcha de la planta desalinizadora Aypiamana. (Objetivo Esp. 3).....	44
10.3.1	Esquema para la toma de decisiones para tareas de operación y mantenimiento centrado en confiabilidad .....	44
11	Análisis y discusión de resultados .....	44
CAPÍTULO 4.....		46
12	Conclusiones.....	46
13	Recomendaciones.....	46
14	Bibliografía.....	47
15	Anexos .....	49

### Lista de tablas

Tabla 1. <i>Beneficios que aporta el proyecto. Fuente: Autor.</i> .....	14
Tabla 2. <i>Cuadro metodológico objetivos, metodología, actividades y resultados esperados por cada objetivo específico. Fuente: Autor.</i> .....	28
Tabla 3. <i>Falla, modo de falla y criticidad de riesgo.</i> .....	36
Tabla 4. <i>Valoración del riesgo. Fuente: Autor.</i> .....	37
Tabla 5. <i>Valoración del riesgo. Fuente: Autor.</i> .....	38
Tabla 6. <i>Soluciones para atacar las causas arrojadas en el método 5 por qué. Fuente: Autor.</i> .....	41
Tabla 7. <i>Plan de trabajo para atacar la causa más relevante arrojada en el método 5 por qué. Fuente: Autor.</i> .....	42
Tabla 8. <i>Tareas correctivas enfocadas a mantenimiento y operación. Fuente: Autor.</i> .....	43

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Teoría global, general y sustantiva planteamiento del problema. Fuente: Autor.</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> <i>Ubicación del municipio Uribia en el departamento de La Guajira. Fuente: (Alcaldía de Manaure, 2012).</i> .....	17
<b>Figura 3.</b> <i>Ubicación de la planta desalinizadora Aypiamana en el mapa del Municipio de Uribia. ....</i>	17
Figura 4. <i>Teoría global, general y sustantiva del marco conceptual. Fuente: Autor.</i> .....	19
Figura 5. <i>Aspectos integrados para una confiabilidad operacional. Fuente: Autor.</i> .....	24
Figura 6. <i>Esquema general de la planta desalinizadora Aypiamana. Fuente: Autor.</i> .....	31
Figura 7. <i>Esquema de sistema, subsistema, elementos y componentes de la planta desalinizadora Aypiamana Fuente: Autor.</i> .....	33
<b>Figura 8.</b> <i>Ámbitos para la valoración de la severidad. Fuente: Autor.</i> .....	36
Figura 9. <i>Diagrama espina de pescado, ámbitos en los que se presentan las causas. Fuente: Autor.</i> ..	40
Figura 10. <i>Esquema para toma de decisiones en tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad. Fuente: Autor.</i> .....	44

### Lista de ecuaciones.

Ecuación 1. <i>Cálculo del riesgo de las fallas.</i> .....	36
--	----

## 1. Resumen

La planta desalinizadora Aypiamana, cumple la función de abastecer de agua potable a parte del casco urbano del municipio de Uribia, La Guajira. Se encuentra actualmente fuera de servicio, la planta sufrió un problema operativo por lo que fue necesario parar su operación apagándola por completo evitando un problema mayor en el proceso, afectando en la prestación del servicio a los habitantes y la realización de sus actividades diarias.

Esta investigación de tipo cualitativa, tiene como objetivo, llevar a cabo una evaluación funcional de la planta mencionada y proponer una solución desde el punto de vista de la ingeniería ambiental para su puesta en marcha. Mediante visita de campo, documentación y entrevistas del cuerpo operativo de la planta se obtuvo la información pertinente para este trabajo.

Los resultados obtenidos muestran un fallo en el sistema de filtrado y en el módulo de ósmosis inversa con el cual trabaja la planta para purificar el agua. Además de esto se notaron otras fallas que presenta el proceso, debido a esto, se hacen diferentes análisis de causa para llegar a fondo en las fallas mencionadas, posteriormente mediante la metodología RCM, proponer una solución enfocada al mantenimiento y operación, con el fin de poner la planta en marcha.

La metodología Reliability Centred Maintenance (RCM), es un método basado en la construcción o modificación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los activos de una empresa.

Conclusión, las fallas identificadas no tienen un riesgo muy alto, sin embargo con el fin de que no se repita y haya la necesidad de parar su operación, se debe llevar a cabo un mantenimiento enfocado en confiabilidad (RCM), para dar buen uso a los activos y optimizar condiciones de operación.

## 2. Introducción

Uribia es un municipio del departamento de la Guajira en Colombia, que se encuentra cerca al mar; por lo tanto, una alternativa para cubrir las necesidades de acceso a agua potable es tratar el agua salobre.

En los últimos años se han desarrollado las aplicaciones de plantas desalinizadora que son ideales para poblaciones con facilidades de acceder a agua salobre y que presentan carencias en abastecimiento de agua apta para consumo humano. Estas condiciones se cumplen en el municipio de Uribia, donde según la encuesta realizada el 21 de septiembre de 2016 al Ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia (Ver anexo 2), *“Se encuentran 17 plantas desalinizadoras instaladas, de las cuales 6 captan el agua directamente desde el mar, mientras que las 11 restantes lo hacen a través de pozos subterráneos”*<sup>1</sup>. De las plantas en mención, Acueducto principal y planta Aypiamana, *“Tienen la función de satisfacer las necesidades de agua potable a la población urbana del municipio de Uribia. Mientras Aypiamana cubre los barrios Aypiamana, Las Mercedes y Florida, la planta de Acueducto principal, se encarga del resto del área urbana”*<sup>1</sup>.

La empresa Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Uribia SAS ESP (AAA Uribia), fue creada con el fin de llevar a cabo la prestación de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de Uribia. Fue constituida en agosto del año 2010 y empezó su operación en septiembre del mismo año y en la actualidad, es la encargada de administrar 16 de las 17 plantas desalinizadoras del municipio, denominados como micro acueductos, y a su vez, tiene a su cargo los procesos de

---

<sup>1</sup> Entrevista realizada el 21 de Septiembre de 2016 al Ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia (Anexo 2).

captación, almacenamiento, tratamiento, comercialización, conducción y distribución del agua potable en el municipio de Uribia (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2015).

La empresa AAA de Uribia dentro de su papel de responsable de 16 de las 17 plantas desalinizadoras (1 administrada por EPM en la zona Kasiworin) instaladas en el municipio, “*cuenta con el apoyo de la empresa TECNOAGUAS para el proceso de tratamiento del agua y la empresa AGUAS Y ENERGIA EU para la operación de las plantas*”<sup>1</sup>.

El interés de esta investigación se basa en identificar que problemática técnica u operativa presenta la planta desalinizadora Aypiamana, que al momento de adelantar esta investigación, se encontraba inoperante. Como resultado de esta investigación se propondrá una solución para su puesta en marcha, a partir de los resultados de su evaluación funcional.

En el presente documento se encuentra plasmada toda la investigación realizada. El contenido se presentará en cuatro capítulos así:

**Capítulo 1:** Se muestran los antecedentes, el planteamiento del problema tanto en su teoría global como general y sustantiva, la justificación de la investigación y la pregunta de investigación.

**Capítulo 2:** Este capítulo aborda los objetivos, el marco referencial en el que se incluye, análisis territorial de la zona de estudio, marco legal, marco teórico-conceptual y Estado del arte.

**Capítulo 3:** En este capítulo se presenta la metodología de investigación junto a los resultados obtenidos por cada objetivo específico planteado y posteriormente el análisis de los mismos igualmente por cada objetivo específico.

**Capítulo 4:** En este capítulo se presentan conclusiones a las que finalmente ha llegado la investigación, recomendaciones con el fin de mantener el correcto funcionamiento de la planta desalinizadora, la bibliografía correspondiente que soporte la investigación y finalmente los anexos.

## Capítulo 1

### 3. Antecedentes.

Según la encuesta integrada de hogares del DANE correspondiente al año 2013, el 97% de la población urbana y el 73% de la población rural en Colombia tiene acceso al servicio de acueducto (CONPES, 2014).

La idea de este proyecto surge de la necesidad de la población de acceder al recurso de agua potable, las innumerables noticias en medios de comunicación masivos, que mostraban la situación de sequía, enfermedades y desnutrición que vivía la población del departamento de La Guajira, específicamente en el municipio de Uribia, incentivó el interés en realizar este proyecto e investigación, con el fin de

apoyar y colaborar a que el municipio cuente con un sistema de abastecimiento de agua potable funcional para el beneficio de su población.

En Colombia se presentan principalmente dos fenómenos climáticos el niño y la niña, básicamente el fenómeno de la niña anuncia lluvias e inundaciones y por otro lado, el fenómeno del niño presenta sequias y compromete la disponibilidad de recursos hídricos. Este último afecta cruelmente a la población de Uribia, ya que incluso en condiciones climáticas normales si no es fácil acceder al agua potable, esto debido a las pocas fuentes de agua superficial o la contaminación de éstas (Molina, 2015). Ante esta problemática, el municipio ha optado por aplicar nuevas tecnologías con el fin de conseguir agua potable. *“Se han llevado a cabo apertura de pozos subterráneos, iniciativas de grandes empresas como Cerrejón por llevar agua en carro tanques y poner en funcionamiento plantas desalinizadoras, éstas últimas han traído a la población un panorama favorable debido a que han cumplido con abastecer de agua potable al municipio y parece ser la solución permanente a los problemas de acceso al agua potable”*<sup>2</sup>.

#### 4. Planteamiento del problema.

Las limitaciones del Estado y su presencia en la región, hacen que algunas comunidades se vean afectadas por no ejercer en plenitud sus derechos como son gozar de un ambiente sano y el acceso al agua potable. Así mismo las condiciones y fenómenos climáticos del departamento de la Guajira, hacen que las comunidades se vean afectadas. Adicionalmente, debido a la falta del recurso sufren enfermedades como por ejemplo, algunas asociadas a desnutrición que se agrava con las carencias de agua apta para consumo humano.

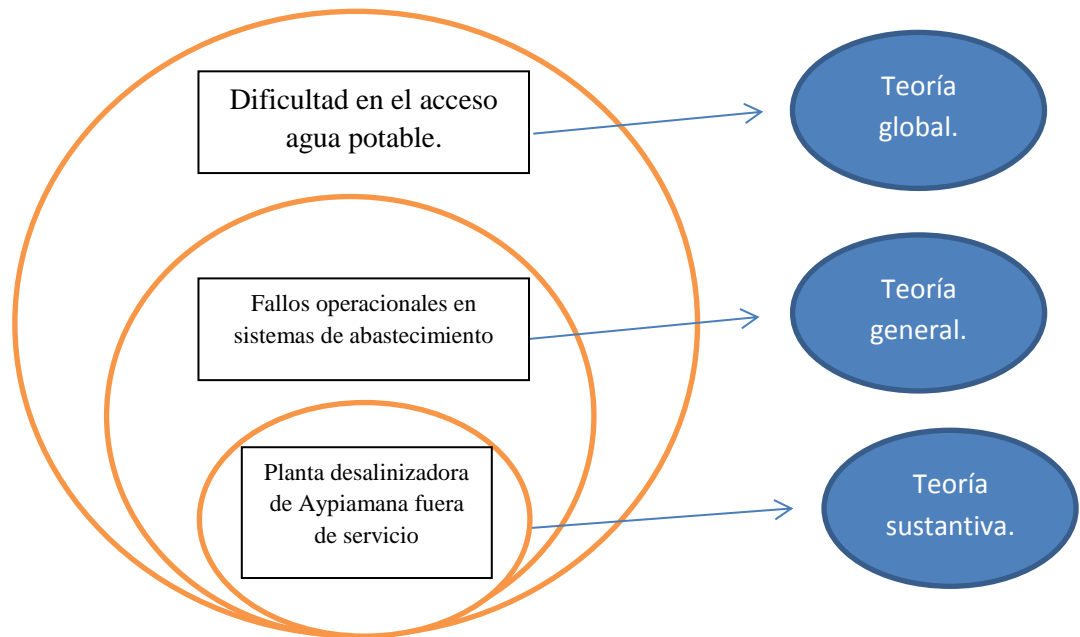
En este escenario, las plantas desalinizadoras se han venido instalando en diferentes localidades del departamento, pero al mismo tiempo, estas plantas presentan problemas para su operación continua e incluso, algunas se encuentran inoperantes. Este es el caso de la planta desalinizadora Aypiamana del municipio de Uribia en La Guajira. Actualmente la planta en mención, está fuera de servicio y en consecuencia, se busca con este trabajo analizar opciones para su puesta en marcha y con esto permitir a la población el acceso al agua potable.

El problema determinado en la planta desalinizadora de Aypiamana, está representada en tres teorías: global, general y sustantiva. La teoría global comunica las dificultades que se le presentan a la población para acceder al recurso y servicio de agua potable, la general está basada en los fallos operacionales y técnicos que han tenido los sistemas de abastecimiento y por último la teoría sustantiva asociada a los fallos operacionales y técnicos que tiene la planta desalinizadora Aypiamana.

La **Figura 1** muestra en resumen el planteamiento del problema dividido en las tres teorías anteriormente mencionadas.

---

<sup>2</sup> Entrevista realizada el 21 de Septiembre de 2016 al Ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia (Anexo 2).



**Figura 1.** *Teoría global, general y sustantiva planteamiento del problema. Fuente: Autor.*

## 5. Justificación.

Colombia es un país regido por un régimen democrático en el que las leyes y normas se enmarcan en la constitución política de 1991 convirtiéndolas en requerimientos y requisitos de obligatorio cumplimiento. En la labor de regir los deberes y derechos de los ciudadanos, en la constitución podemos encontrar en el Título 2, Capítulo 3 de los Derechos Colectivos y del Ambiente, el Artículo 79 que habla del derecho de los ciudadanos a gozar de un ambiente sano siendo este un deber del Estado (Legis Editores, 2014). Así mismo, en el Título 12, Capítulo 5 de la finalidad social del Estado y de los servicios públicos, en el artículo 366 se le da al Estado la finalidad de mantener el bienestar general y mejorar la calidad de vida de las poblaciones, teniendo como objetivo fundamental la solución de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) en salud, educación, saneamiento ambiental y de agua potable (Legis Editores, 2014).

En Colombia hay una carencia en la prestación de servicios públicos; algunas zonas del país que se encuentran retiradas, experimentan dificultad para acceder a éstos, principalmente al agua potable. Un ejemplo de esto es el departamento de La Guajira. A lo largo de los años, su población ha sufrido por carencias de agua potable y por lo que se podría denominar “abandono” del propio Estado hacia ellos. La mayoría de su población es rural y de comunidades indígenas, más específicamente en el municipio

de Uribia donde hay un gran porcentaje de población rural y es llamada la capital indígena de Colombia.

Datos proporcionados por el DANE en un informe sobre NBI<sup>3</sup>, afirma que el 43,26% de la población urbana y el 98,42% de la población rural del municipio de Uribia se encuentran con necesidades básicas insatisfechas, siendo uno de los porcentajes más altos del país (DANE, 2012).

La escasez de agua dulce a nivel internacional ha aumentado el interés de los procesos de desalación de agua salobre principalmente en zonas costeras debido a la facilidad de acceder a la materia prima (agua salobre). En este sentido, una de las necesidades básicas que una comunidad debe tener satisfechas es el derecho de acceso al agua potable, el cual debe garantizarlo el Estado con los medios disponibles y debe serlo para todos los habitantes (Vargas, 2011).

Según la sentencia T740 de 2011 dictada por la corte constitucional en Colombia el agua se erige como derecho fundamental y como servicio público, por esto todas las personas deben acceder al servicio de acueducto en condiciones de calidad y cantidad correspondiéndole al Estado garantizar la prestación del recurso (Corte Constitucional, 2011).

La Planta desalinizadora de agua Aypiamana de Uribia fue un esfuerzo por aliviar la situación de desabastecimiento de agua en el municipio, no obstante, su actual inoperancia está vulnerando el derecho y privando del servicio de agua a las aproximadamente 1800 personas que se venían beneficiando desde el 2009.

El interés de este proyecto de grado, se basa en determinar las razones por las cuales la planta no funciona y a partir de los conocimientos adquiridos desde la ingeniería ambiental, plantear posibles soluciones para su puesta en marcha. Esto tiene el potencial de causar un beneficio económico, social, ambiental e institucional como lo muestra la **Tabla 1**.

<b>Tipo de beneficio</b>	<b>Descripción.</b>
Económico	Por un parte se ofrece un insumo para hacer eficiente la ejecución de recursos públicos y se beneficiarían las finanzas familiares en la población, quienes ahorrarían los gastos por adquirir agua de carro tanques (anexo 4.1). Como afirma el ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia <i>“Llevar el agua en carro tanques es muy costoso además, si no eres amigo de los conductores no te colaboran”</i> .
Social	La población beneficiada de los barrios Mercedes, Florida y Aypiamana, seguirán contando con el acceso y derecho al agua potable para satisfacer sus necesidades básicas y realizar sus actividades diarias. Esto propende por la equidad y gozo de derechos fundamentales.
Ambiental	Se lograría un tratamiento adecuado y suficiente del agua para su consumo humano que estaría al alcance de la población servida.
Académico	Poner en práctica por parte del autor, los conocimientos adquiridos durante el transcurso de su programa académico en Ingeniería Ambiental, con el fin de

<sup>3</sup> NBI: Necesidades Básicas Insatisfechas.

	solucionar un problema de la vida real.
Institucional	Dar a conocer la Universidad El Bosque como interesada en promover el desarrollo sostenible, a través de propuestas de soluciones en las comunidades; en este caso, referente al tema de agua potable en la población del municipio de Uribia, enfocándose en su .

**Tabla 1.** Beneficios que aporta el proyecto. Fuente: Autor.

## 6. Pregunta de investigación.

¿Cuáles son los aspectos técnicos y operativos críticos para la puesta en marcha de la planta desalinizadora Aypiamana ubicada en el municipio de Uribia, departamento de La Guajira?

## Capítulo 2

### 7 Objetivos.

#### 7.1 General.

Llevar a cabo una evaluación funcional de la Planta Desalinizadora del barrio Aypiamana del municipio de Uribia en el departamento de La Guajira, con el fin de proponer una solución desde el punto de vista de la ingeniería ambiental que permita su puesta en marcha y normal operación para el suministro de agua a la población.

#### 7.2 Específicos.

1. Identificar los aspectos técnicos y operativos de la Planta desalinizadora Aypiamana del municipio de Uribia, que comprometen su funcionalidad para abastecimiento de agua.
2. Análisis de alternativas desde el punto de vista técnico y operativo que permitan la puesta en marcha de la planta desalinizadora Aypiamana.
3. Proponer una solución desde el punto de vista ingenieril para la puesta en marcha de la planta desalinizadora Aypiamana.

## 8 Marco de referencia.

### 8.1 Marco de referencia situacional.

La planta desalinizadora Aypiamana se encuentra administrada por la empresa AAA de Uribia, esta cuenta con el apoyo de las empresas Tecnoaguas y Agua y Energía EU para los procesos de tratamiento y operación, respectivamente (Entrevista anexo 2).

La planta desalinizadora Aypiamana cuenta con una capacidad de tratamiento de 4L/s (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2015), equivalente a  $260 \text{ m}^3/\text{día}^4$ , cuenta con un solo módulo de osmosis inversa, el agua luego de su tratamiento va a una alberca con capacidad de  $150 \text{ m}^3$ , posteriormente se bombea a un tanque elevado de  $30 \text{ m}^3$  de capacidad para finalmente ser distribuida a la población por proceso de gravedad (Contraloría General del departamento de La Guajira, 2014).

En un informe hecho por la contraloría general del departamento de La Guajira, se encontraron los siguientes datos y características, luego de una visita hecha a las instalaciones de la planta desalinizadora Aypiamana en el municipio de Uribia:

- Planta operativa tipo ósmosis inversa.
- La planta requiere señalización y mejora de las vallas informativas.
- No cuenta con laboratorios, por lo tanto carece de sistema de gestión de calidad.
- No cuenta con mapa de riesgo.
- No cuenta con sistema de bioalarma.
- Carece de macromedidor de entrada.
- No se lleva planilla del control de lavado.
- Disposición inadecuada de residuos sólidos.
- Cuenta con macromedidor de salida, por lo tanto se controla y conoce el volumen suministrado a la comunidad.

(Contraloría General del departamento de La Guajira, 2014).

Adicionalmente en una evaluación integral, hecha por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios a la empresa AAA de Uribia, se obtuvieron los siguientes datos:

- No se tiene implementado sistema de micromedición, por lo tanto no se sabe el consumo de los usuarios.
- El servicio se suministra 3 horas de lunes a viernes y 5 horas los fines de semana, siendo una continuidad insuficiente teniendo en cuenta el cuadro número 9 del artículo 18 de la Resolución 2115 de 2007.
- No se evidenció registro físico de toma de lecturas de macro medición.

(Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2015)

## 8.2 Fuentes de la información.

Con el fin de recolectar toda la información necesaria para el desarrollo de esta investigación, el autor realizó una visita a campo con el fin de obtener información de primera mano mediante entrevistas a los actores involucrados en los procesos de la planta desalinizadora de Aypiamana y relatos de la

---

<sup>4</sup> Entrevista realizada el 21 de Septiembre de 2016 al Ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia (Anexo 2).

población que se beneficia de su operación, también mediante un recorrido guiado por las instalaciones de la planta desalinizadora de Aypiamana con la colaboración del cuerpo operador.

Por otro lado se obtuvo información secundaria proveniente de páginas web, periódicos, noticieros y bases de datos facilitadas por la Universidad El Bosque como “Science direct”, ProQuest” y “Ebrary”.

Cabe recalcar que además de la visita a campo y la observación directa hecha por el autor para esta investigación, se procedió mediante medio electrónico a pedir información adicional a la empresa AAA de Uriibia, por petición de esta se envió un oficio de parte de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad EL Bosque (ver anexo 1), posteriormente a esto la empresa AAA de Uriibia no expreso respuestas a los correos electrónicos enviados, llamadas realizadas y peticiones por parte del autor para obtener información. Por lo tanto se trabajó con información suministrada en una visita guiada por la planta desalinizadora Aypiamana el día 20 de septiembre de 2016.

### *8.3 Análisis territorial.*

Uriibia es un municipio ubicado en el departamento de La Guajira que se encuentra en la región caribe de Colombia. Tiene una extensión de 8200 km<sup>2</sup> de los cuales 8194 km<sup>2</sup> pertenecen a extensión rural y 6 km<sup>2</sup> a extensión urbana, una altura de 10 msnm y una temperatura promedio de 34°C. de acuerdo con la proyección realizada por el DANE en el año 2016 Uriibia tiene una población de 180.385 habitantes, distribuidos en un 7% en la zona urbana y el 93% restante en la zona rural, adicional a esto la mayoría de la población de este municipio hacen parte del pueblo indígena Wayúu estimándose en un 95%, estos han habitado tal territorio desde hace mucho tiempo y a su vez se les reconoce como propietarios colectivos del gran resguardo indígena de la alta y media Guajira (Alcaldia municipal de Uriibia, 2016).



**Figura 2.** Ubicación del municipio Uribe en el departamento de La Guajira. Fuente: (Alcaldía de Manaure, 2012).



**Figura 3.** Ubicación de la planta desalinizadora Aypiamana en el mapa del Municipio de Uribe.

Fuente: Google Earth.

Como lo muestra la **figura 3** la planta desalinizadora Aypiamana se encuentra en el casco urbano del municipio de Uribia, alrededor de esta se encuentran los 3 barrios que se ven beneficiados de su operación, Florida, Las Mercedes y Aypiamana.

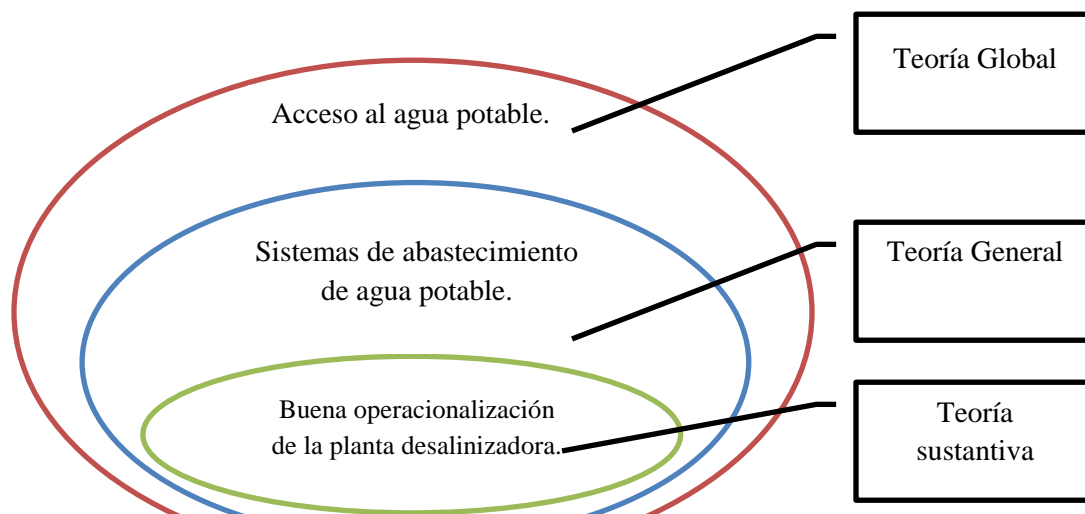
#### 8.4 Marco Legal y normativo.

Dentro del marco legal correspondiente a esta investigación podemos encontrar las siguientes normas que se encuentran relacionadas:

- **Constitución política de Colombia Art. 79:** En la constitución podemos encontrar en el título 2, capítulo 3 de los derechos colectivos y del ambiente, el artículo 79 que habla del derecho de los ciudadanos a gozar de un ambiente sano siendo este un deber del Estado (Legis Editores, 2014).
- **Constitución política de Colombia Art. 365:** : En la constitución en el titulo 12, capítulo 5 de la finalidad social del Estado y de los servicios públicos, en el artículo 365 se le da el deber al Estado de asegurar una prestación eficiente de los servicios públicos a todos los habitantes del territorio nacional (Legis Editores, 2014).
- **Constitución política de Colombia Art. 366:** En la constitución en el titulo 12, capítulo 5 de la finalidad social del Estado y de los servicios públicos, en el artículo 366 se le da al Estado la finalidad de mantener el bienestar general y mejorar la calidad de vida de las poblaciones, teniendo como objetivo fundamental la solución de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) en salud, educación, saneamiento ambiental y de agua potable (Legis Editores, 2014).
- **Acuerdo N 8 de mayo de 2016:** En este acuerdo el consejo municipal de Uribia adopta en Plan de desarrollo municipal 2016-2019 “Todo por Uribia” como instrumento para promover actividades sociales, económicas y ambientales para mejorar la calidad de vida de los habitantes del municipio (Alcaldía municipal de Uribia, 2016).
- **Ras – 2000:** Como reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico en su título “B” sobre los sistemas de acueducto en Colombia (MinDesarrollo, 2000).
- **Ley 142/94:** Se establece el régimen y actividades de los prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto (Congreso de Colombia, 1994).

#### 8.5 Marco conceptual.

Para el presente marco conceptual se trabaja las teorías generales y sustantivas las cuales están relacionadas con la funcionalidad de una planta desalinizadora.



**Figura 4.** *Teoría global, general y sustantiva del marco conceptual. Fuente: Autor.*

El agua potable es aquella que usan los seres humanos para su propio consumo y actividades diarias, fines domésticos, higiene personal, beber y cocinar, para que el agua sea potable debe cumplir con unos parámetros microbianos, químicos y físicos que le permitan el consumo al ser humano sin causar alguna afectación a la salud, en el ámbito global estos parámetros están pautados por la OMS (OMS, 2016).

Una persona tiene acceso al agua potable si la fuente del recurso se encuentra a menos de 1 km del lugar donde se va a utilizar y si se pueden obtener 20 litro diarios para cada miembro de la familia (OMS, 2016). En Colombia el acceso al agua potable es un derecho fundamental que debe ser satisfecho para los ciudadanos por parte del estado (Corte Constitucional, 2011).

La captación de agua consiste en recolectar y almacenar el agua proveniente de las diferentes fuentes existentes, dentro de estas tenemos aguas superficiales que podemos encontrar en lagos, ríos, océanos y agua lluvia, y por otro lado las aguas subterráneas que es el agua que se encuentra infiltrada en el suelo (International center for aquaculture).

Es necesario que en las poblaciones haya sistemas de abastecimiento y de distribución del agua potable para sus habitantes, dentro de los más comunes están los acueductos, captación de agua de ríos; también en la actualidad se tienen otros sistemas de abastecimiento como las plantas desalinizadoras.

Una planta desalinizadora es un sistema basado en la separación de sales del agua salada para obtener agua potable, los beneficios de este sistema es para las ciudades costeras, ya que la materia prima es decir el agua salada se encuentra en altas cantidades y en sus cercanías.

Además, entro del trabajo realizado se tomaron varios conceptos que abarcan el desarrollo general de la investigación y el tema de estudio.

#### *8.5.1 Agua de mar.*

Aproximadamente el 97% del agua que se encuentra en el planeta está en los océanos, es decir, es agua de mar con altos contenidos de salinidad, a pesar de esto, son una fuente casi inagotable de agua por lo tanto puede ser utilizada para abordar el tema de escasez de agua mediante procesos de desalación (Kalogirou, 2005).

Dentro de las propiedades físicas del agua de mar se encuentran: color, densidad, temperatura y turbidez y las propiedades químicas: dureza, contenido de materia orgánica, salinidad y pH, referente a las propiedades químicas el agua de mar suele ser dura debido a la presencia en grandes proporciones de sodio, suele tener alta salinidad debido al gran porcentaje de presencia de sales como por ejemplo las aguas del océano atlántico suelen tener 36% de salinidad y por último, el pH normal del agua de mar es básico con un potencial de hidrogeno de 8, si se aleja de este pH es un indicio de contaminación del agua (Henríquez).

En lo referente a composición de sales del agua de mar pueden encontrarse varios elementos como lo son: sodio, magnesio, calcio, potasio, estroncio, cloro, bromo, flúor, boro y azufre (Millero, Feistel, Wright, & McDougall, 2007)

#### *8.5.2 Desalación de agua de mar.*

Como lo indica el nombre, la desalación de agua de mar se refiere a la separación de la sal que normalmente se encuentra en la composición del agua salobre, de aquí se obtiene un agua de la calidad necesaria para ser utilizada con el fin que se le quiere dar, normalmente para consumo humano o para actividades industriales o agrícolas (Tedagua, 2016).

La desalación de agua de mar se puede realizar mediante diferentes técnicas como la destilación, la congelación, la evaporación instantánea o la formación de hidratos, pero, en la actualidad el método de ósmosis inversa es el más utilizado y extendido (Tedagua, 2016).

La separación de sales del agua de mar, suele ser un proceso en el que se requieren grandes cantidades de energía, que se provee principalmente de combustibles fósiles causando daños en el ambiente (Kalogirou, 2005).

La desalación del agua es el proceso mediante el cual se retiran las sales disueltas y otros compuestos que se encuentran en las aguas marinas con el fin de que sean aptas para el consumo humano, el método más utilizado para lograr esto es la ósmosis inversa (Ministerio de Sanidad y Política Social, 2009).

#### *8.5.3 Planta desalinizadora.*

El concepto de planta desalinizadora está creciendo, estas responden a las necesidades específicas de poblaciones remotas que se encuentran asentadas cerca al mar. Las plantas desalinizadoras tienen altos costos de operación, por lo tanto deberían ser más autónomas con el fin de reducir estos costos, así mismo funcionar con energías renovables de tal forma que sean un poco más eficientes en el consumo energético (Monnot, Khanh, Laborie, & Cabassud, 2016).

Debido a que principalmente se encuentran en zonas remotas esto podría ser una desventaja para estas infraestructuras, ya que, este tipo de instalaciones requieren de operarios especializados y también al momento de necesitar un mantenimiento se debe tener una infraestructura básica para realizar esta operación (Monnot, Khanh, Laborie, & Cabassud, 2016).

Según el cuerpo operador en una entrevista realizada el día 20 de Septiembre de 2016 (Ver anexo 3) *“Cuando la planta de Aypiamana requiere de tratamiento, el proceso se hace mediante el tratamiento de los equipos de manera individual, a los filtros se les hace retrolavado (Cada 5 días aproximadamente) para remover de ellos los materiales, las membranas son lavadas mediante un sistema anti incrustante (permatreat), para remover las impurezas atrapadas en ellas y las motobombas son revisadas por el electricista para verificar su funcionalidad”*<sup>5</sup>.

#### 8.5.4 Ósmosis inversa.

En los últimos años el proceso de ósmosis inversa para desalinizar agua de mar ha venido aumentando, el proceso de ósmosis inversa es un proceso fiable y eficiente, este permite la separación de las sales y moléculas de agua a través de un gradiente de presión sobre una membrana semi-permeable. El proceso es el más utilizado en instalaciones a gran escala para tratamientos de agua de mar (Monnot, Khanh, Laborie, & Cabassud, 2016).

Ósmosis inversa es el proceso contrario a la ósmosis convencional, esta se lleva a cabo para purificar el agua. Es un proceso en el que se usan membranas a las que se les aplica una presión mayor a la presión osmótica ejercida en el compartimiento donde hay más contenido de sólidos disueltos, esta presión obliga al agua a pasar por la membrana semipermeable en una dirección contraria dejando atrás las impurezas. La permeabilidad de una membrana puede ser tan pequeña, que puede separar del agua la sal, las impurezas, virus y bacterias (Benavides, 2011).

En el proceso de ósmosis inversa para crear la presión necesaria se usan motobombas que consumen aproximadamente el 80% de la energía necesaria para llevar a cabo con éxito toda la operación de desalación (Monnot, Khanh, Laborie, & Cabassud, 2016).

En los procesos de ósmosis inversa antes de que el agua pase a las membranas, esta debe pasar por un pre tratamiento que normalmente es de filtración. La desalación por ósmosis inversa consiste en bombear agua a alta presión y hacerla pasar por unas membranas casi impermeables que separan el agua y la sal, obteniendo finalmente dos aguas producto: una para desechar con alta concentración de sal y otra con baja concentración de sal que tratada adecuadamente, será el agua destinada al uso final, como beneficios tiene que es un método eficaz y fácil de realizar, pero por otro lado tiene desventajas como el alto consumo de energía que se debe usar para su funcionamiento (Tedagua, 2016).

Ósmosis Inversa, es un proceso donde el agua, impulsada por medio de una bomba, pasa a través de una membrana semipermeable elevando su presión obteniendo un valor superior al que normalmente tendría o presión osmótica natural (Ramilo, Gómez, & Coppari, 2003).

#### 8.5.5 Bombeo.

En los procesos de tratamiento de aguas se utilizan motobombas con el fin de realizar el proceso de extracción de agua, estas generan una presión para mantener constante el flujo del agua impulsándolo a

---

<sup>5</sup> Entrevista realizada el 20 de Septiembre de 2016 al cuerpo operador de la planta desalinizadora Aypiamana. (Anexo 3).

través de tuberías. En los procesos de ósmosis inversa se usan motobombas de alta, con el fin de generar una presión mayor a la presión osmótica (Impulso de la naturaleza que obliga a un líquido pasar de un lado a otro), obligando al agua pasar por las membranas semipermeables para lograr una purificación (Benavides, 2011).

#### 8.5.6 Filtración.

En los procesos de ósmosis inversa el agua inicialmente pasa por un pre tratamiento que se hace principalmente con filtros, la función de estos es remover del solvente las partículas que se encuentren suspendidas en este, esto con el fin de garantizar el funcionamiento y obtener los mejores resultados, al momento de que el agua pase a las membranas semipermeables (Benavides, 2011).

#### 8.5.7 Metodología RCM.

Sus siglas en inglés Reliability centred maintenance traducen al español mantenimiento centrado en confiabilidad. Esta metodología se conoce como un método para construir o modificar un plan de mantenimiento conservando un costo óptimo, también como un medio para la documentación de las bases de un plan de mantenimiento de futuras referencias y permite determinar que tareas de mantenimiento se le debe aplicar a un activo físico (equipos) en una empresa (Rausand & Vatn, 2008).

##### 8.5.7.1 Conceptos de RCM.

###### - **Clasificación jerárquica.**

**Planta:** Grupo de sistemas que funcionan en conjunto para suministrar un producto, mediante el proceso y manipulación de materia prima.

**Sistema:** Grupo de subsistemas que realizan una serie de funciones clave.

**Elemento de estudio:** Grupo de componentes que forman un conjunto identificable y realizan una función importante.

**Componente:** Es el menor nivel al cual un equipo puede ser desensamblado sin que le cause daño.

(Rausand & Vatn, 2008)

###### - **Definición de funciones.**

**Funciones primarias:** Son la razón de ser del equipo, se toma como el motivo principal de su adquisición.

**Funciones secundarias:** Son funciones auxiliares para cumplir la función principal, usualmente son menos obvias pero su falla puede terminar en consecuencias graves.

(Rausand & Vatn, 2008)

###### - **Falla funcional.**

Es el estado en el que un activo físico es incapaz de realizar una función específica con un desempeño deseable, como por ejemplo: pérdida total de la funcionalidad, pérdida parcial de la función, funcionamiento erróneo (Rausand & Vatn, 2008).

- **Modo de falla.**

Es el evento que causa una falla funcional, la descripción de este debe tener un nivel de detalle que facilite en la selección de tareas de mantenimiento (Rausand & Vatn, 2008).

- **Análisis de criticidad del riesgo.**

El riesgo es igual a la severidad de un evento multiplicado por la ocurrencia de este, con este valor se busca darle una prioridad a las causas (Rausand & Vatn, 2008).

8.5.7.2 Características Método RCM.

El método RCM<sup>6</sup> se propone 7 preguntas básicas para facilitar el proceso, que son:

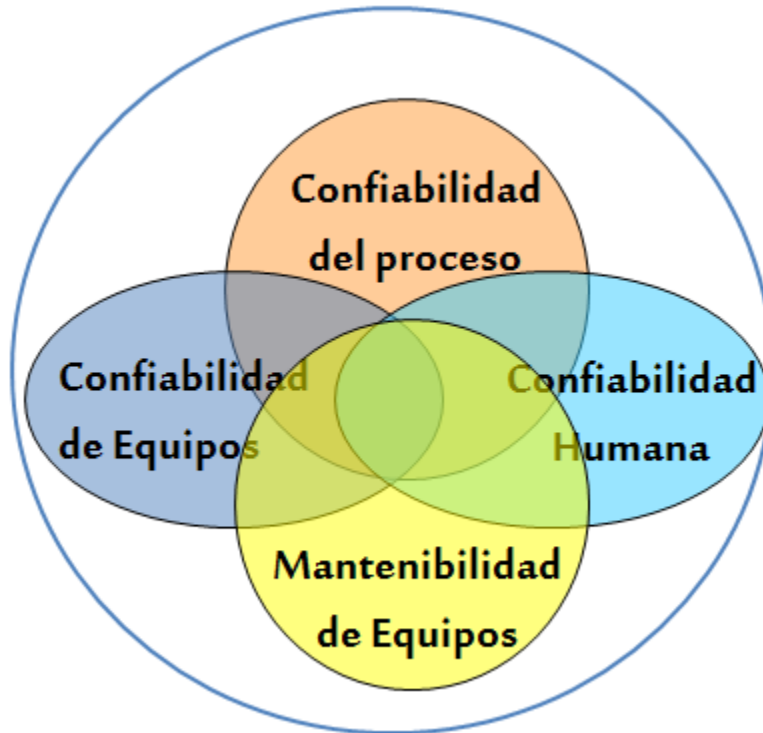
1. ¿Cuáles son las funciones deseadas del equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no se encuentra una tarea predictiva o preventiva adecuada?

(RCM confiabilidad, 2005)

La metodología busca una confiabilidad operacional de los activos de una empresa, esto mediante la integración de 4 aspectos claves en las actividades operacionales que podemos ver en la figura 5 (Rausand & Vatn, 2008).

---

<sup>6</sup> Reliability Centred Maintenance



**Figura 5.** Aspectos integrados para una confiabilidad operacional. Fuente: Autor.

## 8.6 Estado del arte

### 8.6.1 Energías alternativas en plantas desalinizadoras.

Un estudio internacional consultado, titulado “SOLAR DESALINATION IN THE SOUTHWEST UNITED STATES: A THERMOECONOMIC ANALYSIS UTILIZING THE SUN TO DESALT WATER IN HIGH IRRADIANCE REGIONS” planteado por el autor estadounidense Matthew Stroud (2012); tuvo por objetivo principal, determinar la viabilidad de utilizar la energía solar para la desalación de agua de mar en el suroeste de los Estados Unidos (Stroud, 2012).

Los estados del sureste de Estados Unidos han tenido un crecimiento poblacional considerable, incluso mayor que la del resto del país. Estas zonas se caracterizan por ser áridas y de alta radiación, lo que conlleva a que se presente escasez de agua y sea un reto su suministro; así, el informe señala que el uso del método de desalación permite satisfacer la creciente demanda, pero se enfrentan con la problemática de no ser un método económicamente competitivo porque necesita grandes cantidades de energía, de este modo la opción de usar la energía solar para desalinizar agua, puede reducir los costos de operación y permitir la entrada al mercado (Stroud, 2012).

En el estudio referido, se llevaron a cabo análisis de factibilidad para determinar si el uso de energía solar para desalinizar el agua es apto y económicamente competitivo. Para esto se realizó una modelación con datos sobre el clima y supuestos financieros y se definieron conclusiones sobre los resultados del modelo en diferentes escenarios (Stroud, 2012). Como conclusión principalmente los autores determinaron que la desalación por energía solar a corto y largo plazo son viables, además tiene

ventajas destacables como tener una eficiencia de conversión, un transporte estratégico, es respetuoso con el medio ambiente y tener un potencial considerable como una innovadora fuente sostenible para el suministro agua en el suroeste de los estados unidos (Stroud, 2012).

En Latinoamérica se analizó el estudio de caso titulado “PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DESALADORA DE AGUA MARINA PARA LA MINERÍA ALIMENTADA CON ENERGÍA GENERADA POR UNA PLANTA DE CONCENTRACIÓN SOLAR” planteado por el autor chileno Marcelo Leonel Montes Siña (2011); este estudio tiene como objetivo general Evaluar la prefactibilidad técnica y económica de una planta desaladora de agua marina para la minería, alimentada con energía generada por una planta solar térmica.

Teniendo en cuenta la relevancia de la minería para la economía chilena, esta actividad extractiva demanda volúmenes de agua significativos y a la vez, enfrenta en algunas regiones al norte del país austral problemas de escasez. Por lo anterior, el estudio conducido por Siña (2011), sugirió una alternativa innovadora y limpia para solucionar este problema de escasez del recurso hídrico. En la metodología mencionada en el informe chileno se llevaron a cabo 4 etapas: la primera estudiaba las industrias desaladoras y la actividad minera para verificar la viabilidad de alternativas, la segunda etapa fue un estudio técnico, la tercera fue un estudio de marco legal y por ultimo una evaluación económica que presentó detalles de costos de inversión para adquirir e instalar la infraestructura requerida y llegar a definir un precio de venta del agua desalada para cada cliente objetivo y obtener así los ingresos que serían captados por el proyecto (MONTES, 2011).

El autor concluyó que es posible realizar una planta desaladora basada en ósmosis inversa y con capacidad de producción de 2000 l/s de agua para satisfacer las demandas de agua de los clientes del mercado objetivo. Adicionalmente, la planta será provista de una planta de concentración solar con tecnología de torre de concentración para la generación de energía eléctrica (MONTES, 2011).

#### *8.6.1.1 Convergen los autores:*

En la evaluación anterior se puede identificar que los autores (Matthew Stroud,2013), (MARCELO LEONEL MONTES SIÑA, 2011), convergen en que el mejor método para desalinizar el agua de mar es por ósmosis inversa, siendo este el método más estudiado y utilizado en todo el mundo, además también convergen que requiere el uso de energía que puede ser suministrada por otro tipo de alternativas que no sean de la red eléctrica.

Para alimentar la plata desalinizadora por ósmosis inversa los autores (Matthew Stroud, 2012) y (MARCELO LEONEL MONTES SIÑA, 2011) convergen en que el mejor método es por energía solar, el cual disminuiría los costos de producción.

#### *8.6.1.2 Aportes de los autores en lo conceptual y metodológico a la investigación.*

Los aportes de los autores anteriormente vistos, se ven representados en el apoyo de la ósmosis inversa como el método de desalinización más factible, también en el contexto de energía y costos operacionales se expresa en que usar energías alternativas para poner en marcha una planta

desalinizadora le da más autonomía y llega a impactar favorablemente los costos por operación. Poniendo lo aportado por los autores en términos de esta investigación, la planta desalinizadora de Aypiamana podría complementar su fuente de energía, implementando unidades de abastecimiento alternativo con base en fuentes renovables que para el área de estudio, logrando así una reducción en costos operacionales.

### *8.6.2 Metodología RCM.*

Un estudio internacional estudiado con título “PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN LA EDAR<sup>7</sup> DE NULES-VILAVELLA”, planteado por el autor Español Salvador Barreda Beltrán (2012), tuvo como objetivo aplicar la metodología RCM para establecer un mantenimiento más apropiado para la EDAR Nules-Vilavella en España (Béltran, 2015).

En el funcionamiento de una EDAR, el mantenimiento es muy importante, ya que, cualquier avería en un equipo crítico debe ser atendida en el menor tiempo posible con el fin de, no afectar en ningún momento la operación. El área de mantenimiento es prioritaria en el funcionamiento de la instalación, además, es una de las que más obtiene partida presupuestaria en una empresa, por lo tanto esta se interesa en el análisis del plan de mantenimiento para optimizarlo, aumentar la fiabilidad y reducir los costos de mantenimiento (Béltran, 2015).

En el estudio referido se llevó a cabo la aplicación del RCM en la EDAR, el primer paso procedió a conocer todos los equipos que conformaban la EDAR, luego identificar cuáles de estos equipos eran críticos mediante una matriz de criticidad, posteriormente se tuvo en cuanto el historial de fallas que se habían presentado en la EDAR un año anterior. Todo esto el autor lo enfoca a mejorar la confiabilidad de los equipos en la instalación (Béltran, 2015).

#### *8.6.2.1 Aportes del autor a esta investigación.*

El autor afirma que aplicar la metodología RCM en empresas donde hay equipos críticos para su operación, es una manera de mejorar la confiabilidad de estos equipos y reduciendo costos generados por servicio de mantenimiento. Como aporte a esta investigación, usar la metodología RCM en la planta desalinizadora Aypiamana, ayudaría a evitar fallas futuras que comprometan nuevamente su proceso operativo.

## **Capítulo 3**

### **9. Metodología.**

#### *9.1 Enfoque de la investigación.*

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, se estudia la realidad de la inoperancia de la planta desalinizadora Aypiamana, teniendo en cuenta sus fallos técnicos y operativos. También se usan metodologías de análisis cualitativo como: metodología RCM, diagrama de espina de pescado y el método de 5 por qué.

---

<sup>7</sup> Estación depuradora de aguas residuales.

Para realizar la investigación fue necesario hacer una revisión bibliográfica del tema, entrevistas, revisión de documentos, observación directa mediante una ida a la planta, grabaciones de sonido y relatos de los habitantes.

### *9.2 Alcance de la investigación.*

El alcance de esta investigación es evaluar funcionalmente la planta desalinizadora Aypiamana, determinando fallos operativos y técnicos que se encuentran relacionados con la inoperancia de la planta, posteriormente proponer una alternativa para su puesta en marcha.

La investigación se centra en el proceso de desalinización que se lleva a cabo en la planta desalinizadora, sin tener en cuenta el proceso de captación de los pozos subterráneos y el proceso de distribución a las viviendas. Todo lo anterior a partir de la información a la que se pudo acceder y recolectar.

9.3 Cuadro metodológico que integre objetivos, metodología, actividades y resultados esperados por cada objetivo específico.

OBJETIVOS		GENERAL:	LLEVAR A CABO UNA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y FORMULACIÓN DE PROPUESTA DE INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESALINIZADORA INSTALADA EN EL MUNICIPIO DE URIBIA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA, PARA EL BENEFICIO DE SU POBLACIÓN.		
ESPECIFICOS		Actividades	Técnica	Instrumento	Resultados esperados
Esp. 1	Identificar los aspectos técnicos y operativos de la Planta desalinizadora del municipio de Uribia, que comprometen su funcionalidad para abastecimiento de agua.	Identificar los aspectos técnicos y operativos críticos para la puesta en marcha de la planta desalinizadora.	Revisión bibliográfica	Libros y documentos web	Aspectos técnicos y operativos críticos identificados, relacionados con la funcionalidad de la planta.
			Relatos de habitantes	Biografía e historias de vida	
		Recolectar información acerca del estado actual de las condiciones técnicas y operativas de la planta desalinizadora.	Reconocimiento zonal por visita de campo	Esquema de preguntas básicas	
			Entrevistas y requerimientos formales de información.		
Esp. 2	Análisis de alternativas desde el punto de vista técnico y operativo que permitan la puesta en marcha de la planta desalinizadora.	Identificar desde el punto de vista operativo la solución más viable para la puesta en marcha.	Análisis de causas	Método de 5 por qué y diagrama de espina de pescado	Alternativas de ingeniería ambiental apropiadas para la puesta en marcha y operatividad de la planta desalinizadora.
			Método de mantenimiento centrado en confiabilidad - gestión de activos y bases en normas técnicas para recolección de información funcional de infraestructura para servicios públicos (ISO 14224:2004 y 55001:2014)	Lista de equipos según criticidad y confiabilidad.  Listado de fallas funcionales en equipos críticos. Análisis de criticidad de riesgo.	
Esp. 3	Proponer una solución desde el punto de vista ingenieril para la puesta en marcha de la planta desalinizadora.	Consultar información técnica y científica, con base en las condiciones técnicas y operativas identificadas en la planta desalinizadora.  Formular la alternativa desde el punto de vista de la ingeniería ambiental apropiada para la puesta en marcha y operatividad de la planta desalinizadora.	Método de mantenimiento centrado en confiabilidad - gestión de activos y bases en normas técnicas para recolección de información funcional de infraestructura para servicios públicos (ISO 14224:2004 y 55001:2014)	Análisis de funciones, fallas, efectos, criticidad, riesgos de la operación y de actividades de mantenimiento.	Solución definitiva para la puesta en marcha de la planta desalinizadora del municipio de Uribia en el departamento de La Guajira.

**Tabla 2.** Cuadro metodológico objetivos, metodología, actividades y resultados esperados por cada objetivo específico. Fuente: Autor.

En la **Tabla 2**, se muestra la metodología a seguir para llevar a cabo la investigación, esta se encuentra dividida por cada uno de los objetivos específicos que fueron planteados, cada objetivo específico cuenta con unas actividades con el fin de que se logre, a su vez, cada actividad se realiza mediante una técnica y un instrumento, finalmente luego de cada metodología planteada para cada objetivo se espera obtener un resultado.

Para completar el objetivo Esp. 1, se plantean dos actividades que son: 1) Identificar los aspectos técnicos y operativos críticos que comprometen la operación de la planta desalinizadora Aypiamana y son claves para su puesta en marcha, 2) Recolectar información acerca del estado actual de las condiciones técnicas y operativas en las que se encuentra la planta desalinizadora. Para llevar a cabo estas actividades se usaron diferentes técnicas como revisión bibliográfica a través de libros y documentos web, relatos de habitantes mediante sus historias de vida, reconocimiento zonal por visita de campo, entrevistas y requerimientos formales de información mediante esquemas de preguntas básicas. Finalmente con esta metodología se esperaba identificar los aspectos técnicos y operativos críticos, relacionados con la funcionalidad de la planta desalinizadora.

Para el objetivo Esp. 2, se plantea como actividad identificar desde el punto de vista operativo la solución para la puesta en marcha de la planta desalinizadora, mediante técnicas como el uso de análisis de causas y alternativas, metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad – gestión de activos (RCM), a través de instrumentos como el método de 5 por qué, diagrama de espina de pescado, lista de equipos según criticidad y confiabilidad y lista de fallas funcionales en equipos críticos. Como producto final se espera alternativas de ingeniería ambiental apropiadas para la puesta en marcha y operatividad de la planta desalinizadora.

La metodología de 5 por qué, es una técnica de preguntas y respuestas que busca explorar la relación entre la causa y el efecto de un problema particular, el principio consiste en aplicar 5 preguntas con el fin de establecer un nivel satisfactorio a la causa de un problema (TUV Rheinland de México). El diagrama de espina de pescado, es un método para organizar y representar las diferentes causas que tiene un problema, ayuda a graficar las causas del problema y hacer un posterior análisis (SENA, 2009).

Para el objetivo Esp. 3, se plantean dos actividades que son: 1) Consultar información técnica y científica, basándose en las condiciones técnicas y operativas identificadas en la planta desalinizadora, 2) formular la alternativa desde el punto de vista de la ingeniería ambiental apropiada para la puesta en marcha y operatividad de la planta desalinizadora. Lo anterior mediante la metodología RCM con análisis de funciones, fallas, efectos, criticidad, riesgos de la operación y actividades de mantenimiento.

## **10 Resultados y análisis.**

Los resultados presentados en este trabajo se presentan con base en información, obtenida con registros hechos mediante visita de campo e información suministrada por el cuerpo operador, en un recorrido guiado por las instalaciones de la planta desalinizadora Aypiamana. Además, debido a que la

información no fue suministrada a pesar de pasarse un oficio (ver anexo 1), por el director del programa Ingeniería Ambiental Kenneth Ochoa, el día 13 de octubre de 2016 sin obtener ninguna respuesta.

*10.1 Aspectos técnicos y operativos de la Planta desalinizadora Aypiamana del municipio de Uribia. (Objetivo Esp. 1)*

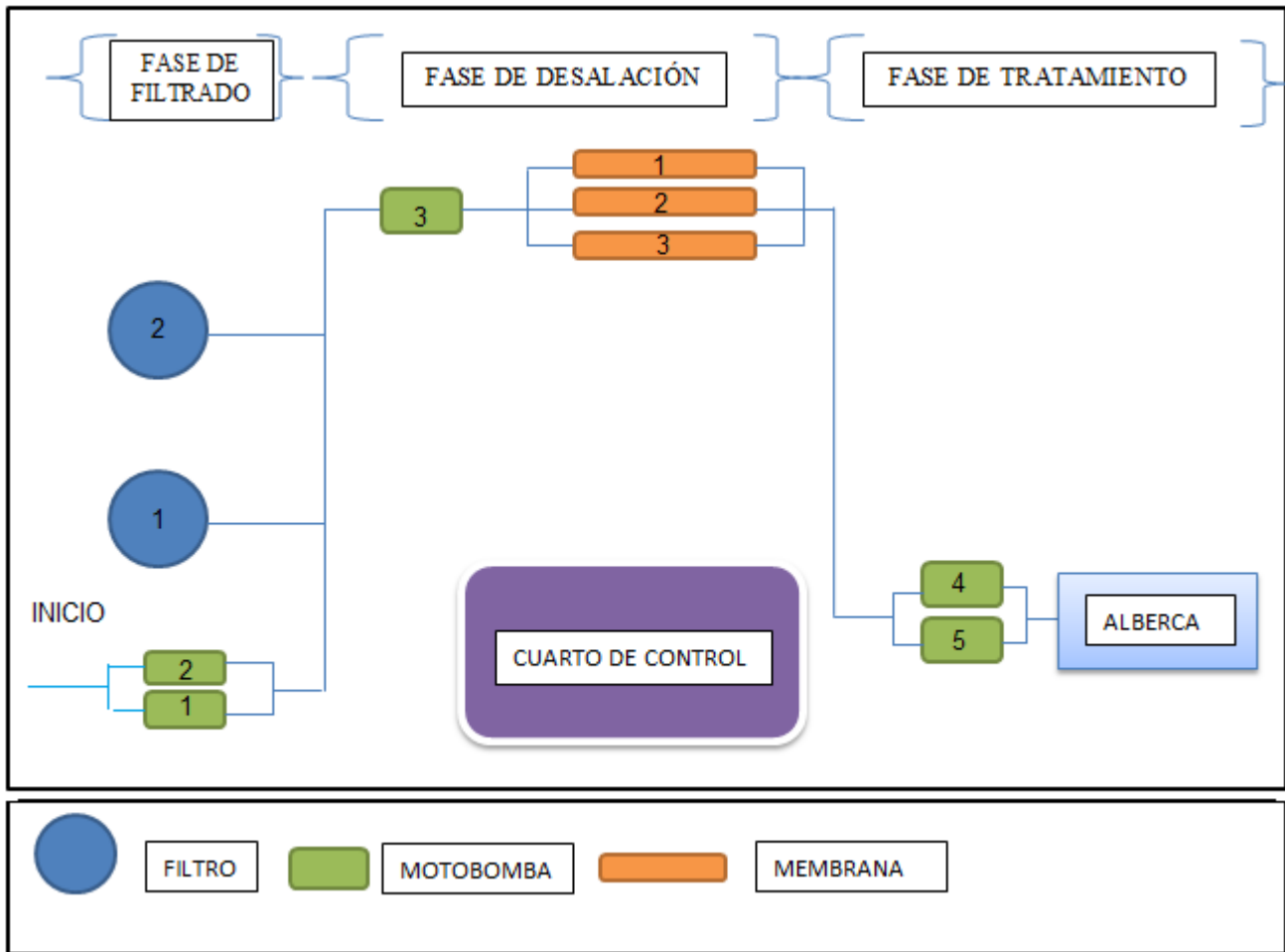
*10.1.1 Selección y definición de sistemas, equipos y sus funciones.*

Según la entrevista hecha el día 20 de septiembre de 2016 al cuerpo operador de la planta desalinizadora de Aypiamana (Ver anexo 3) “*El proceso de la planta desalinizadora de Aypiamana se divide en tres fases, fase de filtrado, fase de desalación y fase de tratamiento*”<sup>8</sup>.

En la fase de filtrado como su nombre lo indica es donde se da el proceso de filtración del agua que viene de los pozos subterráneos, en esta fase se busca remover del agua todos los sólidos suspendidos y sedimentables. Luego en la fase de desalación es donde pasa el agua sin presencia de sólidos suspendidos pero con presencia de sal, como lo indica su nombre en esta fase lo que se busca es que el agua quede libre de sales disueltas. Finalmente, en la fase de tratamiento el agua que viene de la fase de desalación no es aun potable, por lo tanto, en esta fase el agua va a una alberca donde se almacena, posteriormente mediante un dosificador se le agrega cloro y finalmente va a un tanque elevado donde se le hace un tratamiento adecuado para ser distribuida por gravedad a las viviendas.

---

<sup>8</sup> Entrevista realizada al cuerpo operador de la planta desalinizadora de Aypiamana (Anexo3).



**Figura 6.** Esquema general de la planta desalinizadora Aypiamana. Fuente: Autor.

Según datos suministrados en una entrevista el 20 de Septiembre de 2016, por el cuerpo operador de la planta desalinizadora Aypiamana, en cada una de las fases del proceso se presentan los siguientes equipos con sus especificaciones:

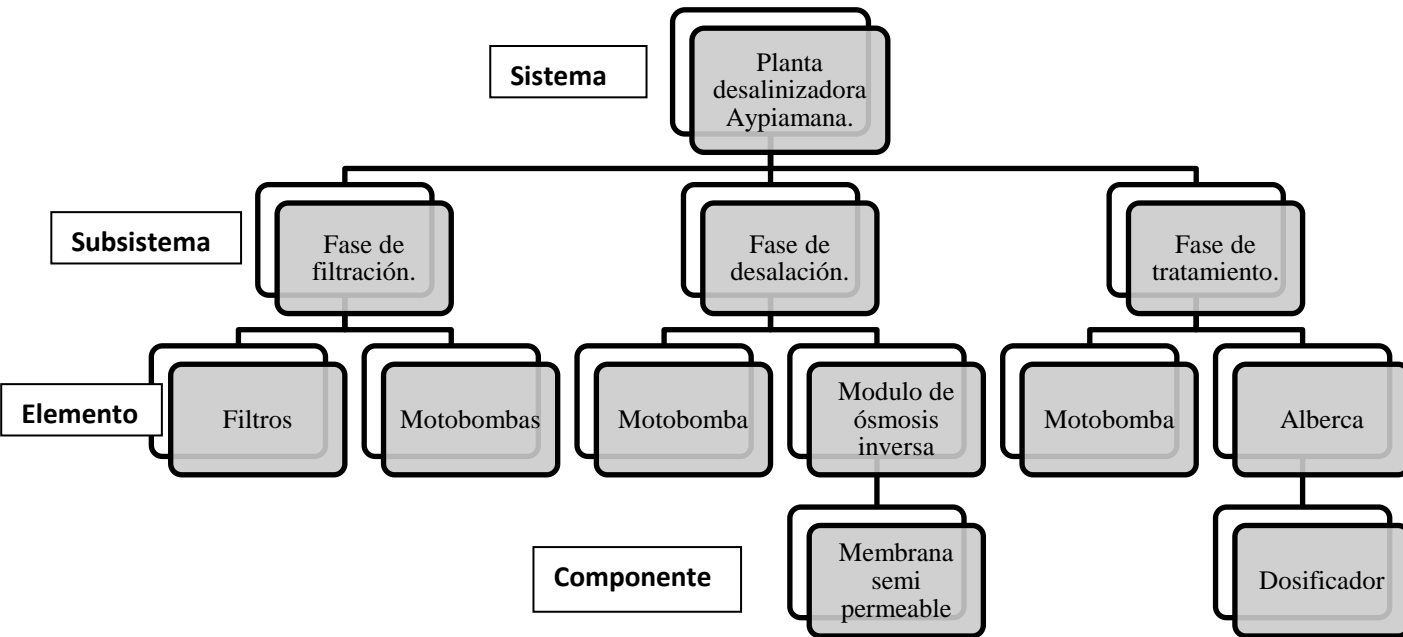
Fase	Cantidad	Nombre del Equipo	¿Crítico o confiable?	Características
Filtración	2	Motobomba (1 y 2)	Crítico	Ambas motobombas para impulsar el agua hacia los filtros, una con potencia de 5.5 hp (motobomba 1) y la otra de 3.5 hp (motobomba 2).
	2	Filtro	Crítico	Ambos filtros se encargan de remover los sólidos suspendidos que se encuentren en el agua, el lecho filtrante de estos está compuesto de: grava, carbón activado y cal.

Desalación	1	Motobomba (3)	Crítico	Esta motobomba se encarga de hacer fluir el agua con mucha presión hacia las membranas que componen el módulo de ósmosis inversa.
	1	Módulo de ósmosis inversas	Crítico	El modulo cuenta con 3 membranas semi impermeables, encargadas de remover las sales disueltas del agua resultante de la fase de filtración.
Tratamiento	1	Motobomba (4 y 5)	Crítico	Se encarga de bombear el agua ya desalinizada hacia una alberca de almacenamiento.
	1	Alberca	Confiable	Es una alberca semienterrada en el suelo con capacidad de 150 m <sup>3</sup> , cuenta con un sistema de dosificación en el que se le agrega compuesto clorado al agua para posteriormente ser enviada a distribución.
	1	Macromedidor de salida	Confiable	Este equipo se encuentra en la fase final del proceso, tiene la función de calcular la cantidad de agua que sale para distribución y se les entrega a los usuarios.

**Tabla 3.** Equipos utilizados en cada una de las fases del proceso de la planta desalinizadora Aypiamana. Fuente: Autor.

La **tabla 3** muestra en cada una de las fases en que se divide el proceso de la planta desalinizadora de Aypiamana, los equipos utilizados en cada una de estas y sus características, arrojando que el 75% de los equipos del proceso son críticos, los equipos críticos son aquellos que en caso de fallar comprometen la prestación del servicio. Cabe recalcar que durante todo el proceso se usan tuberías de PVC con diferentes diámetros y válvulas para permitir el flujo del agua.

Siguiendo las características de la metodología RCM, en la figura 7 se muestra en un esquema los diferentes subsistemas que hay en el sistema principal (la planta desalinizadora Aypiamana), jerarquizados con sus respectivos elementos y componentes.



**Figura 7.** Esquema de sistema, subsistema, elementos y componentes de la planta desalinizadora Aypiamana Fuente: Autor.

Esta investigación se limitara a centrarse en los elementos de estudio críticos, que son los que en caso de presentarse una falla, comprometen la prestación del servicio. No obstante, no significa que los equipos confiables no requieran de atención y de un mantenimiento. A partir de esto, los elementos críticos se tomarán para llevar a cabo la metodología RCM.

Los elementos críticos que se tendrán en cuenta, para proceder de ahora en adelante en la investigación serán:

- Los filtros que se encuentran en la fase de filtración, estos contienen un lecho filtrante compuesto por grava, carbón activado y cal.
- El módulo de osmosis inversa, este se encuentra en la fase de desalación y cuenta con 3 membranas semipermeables.
- Las motobombas, estas se encuentran durante todo el proceso cumpliendo con la función de elevar la presión del agua.

Equipo	Condición operacional	Condición ambiental	Fronteras	Interfaces	Funciones
	Filtro apto para agua de mar, lecho filtrante compuesto por grava, cal y carbón activado,	El equipo se encuentra resguardado bajo techo sin	Fase de filtración, esta va desde que	Recibe agua proveniente de los pozos subterráneo	- Remover sólidos suspendidos y

Filtro	sustitución del lecho filtrante cada 5 años aproximadamente, necesidad de retrolavado cada 5 días.	contacto directo con la luz solar y en un ambiente bien aireado (ver anexo 4.2).	el agua a tratar ingresa a la planta desalinizadora donde las primeras dos motobombas bombean el agua hacia los filtros.	s y entrega agua con menor cantidad de sólidos suspendidos y sedimentables al módulo de ósmosis inversa.	sedimentables. - Disminuir dureza del agua.
Módulo de ósmosis inversa	Posee un sistema anti incrustante (permatreat) que permite retirar las impurezas luego del proceso.	Se encuentra con protección bajo techo sin un contacto directo con la luz solar y en un ambiente fresco (Ver anexo 4.4).	Fase de desalación, en esta se remueven las sales disueltas del agua proveniente de la fase de filtrado y posteriormente pasa a la fase de tratamiento.	Recibe agua de la fase de filtrado, removiendo las sales disueltas que estén en esta y posteriormente la pasa a la fase de tratamiento.	- Remover sales disueltas. - Purificar agua.
Motobomba	Se encuentran durante todo el proceso, con diferentes potencias dependiendo de lo que se requiera.	Se encuentran en buen estado, a pesar de no encontrarse la planta en funcionamiento, no se notaban corroídas o averiadas (ver anexo 4.3).	Se encuentran en todas las fases del proceso permitiendo el flujo de agua.	Se encuentran en todas las fases del proceso y las conectan, permiten el flujo del agua de una fase a otra.	- Bombear agua. - Ejercer presión.

**Tabla 3.** Descripción de funciones de los elementos críticos. Fuente: Autor.

Nota: La información presentada en la **tabla 3**, se obtuvo mediante un recorrido guiado con el cuerpo operador de la planta desalinizadora Aypiamana, el día 20 de septiembre de 2016.

### 10.1.2 Análisis de fallas funcionales identificadas y criticidad de riesgos

Al momento de hacer la visita a las instalaciones de la planta desalinizadora Aypiamana, junto con el cuerpo operador se realizó una entrevista (Ver anexo 3) con el fin de conocer que aspectos técnicos u operativos que comprometían en ese momento la operación de la planta.

El resultado de la entrevista arrojó que en la fase de filtración, uno de los filtros se encontraba fuera de servicio, debido a que necesitaba un cambio del lecho filtrante que había cumplido su vida útil, se afirmó que el mantenimiento de esta planta desalinizadora es de difícil acceso debido a que el municipio está retirado de la capital, donde se puede acceder a un personal especializado para llevar a cabo el mantenimiento.

Al momento de seguir operando la planta no se tuvo la precaución de hacerle mantenimiento inmediato a tal filtro y se puso a operar la planta con un solo filtro, este filtro se saturó dejando pasar directamente sólidos suspendidos por colmatación en el filtro, debido a la presión ejercida por las motobombas el agua se dirigía a la fase de desalación con una presión mayor a la normal ocasionando fugas en las tuberías, de ahí que en el momento de la visita de campo se presenciara agua alrededor de los filtros, el paso directo del agua proveniente del pozo subterráneo hacia la fase de desalación donde se encuentra el módulo de ósmosis inversa, al no presentarse un correcto proceso de filtrado, el agua con contenido de sólidos suspendidos y sedimentables (arenilla principalmente), siguió su flujo directo hacia las membranas encargadas de remover las sales disueltas del agua, pero como el agua seguía su flujo con partículas de mayor tamaño, ocasionó un taponamiento en las membranas, provocando que el proceso de la planta no se llevara a cabo correctamente, ya que no se logró la funcionalidad de los equipos en todo el proceso, obteniendo finalmente la misma agua de entrada.

A continuación, siguiendo con la metodología RCM se presentaron las fallas operativas y técnicas, identificadas en la visita a la planta desalinizadora Aypiamana, incluyendo el modo de falla de estas y su análisis de criticidad.

<b>Falla.</b>	<b>Modo de falla.</b>	<b>Criticidad del riesgo.</b>
Saturación del filtro.	Alto contenido de sólidos suspendidos en el agua a tratar.	Riesgo medio
Fugas en la tubería.	Mayor presión a la resistente por la tubería.	Riesgo medio
Taponamiento de membranas	Contenido de sólidos suspendidos al momento del agua ingresar al módulo de ósmosis inversa.	Riesgo alto

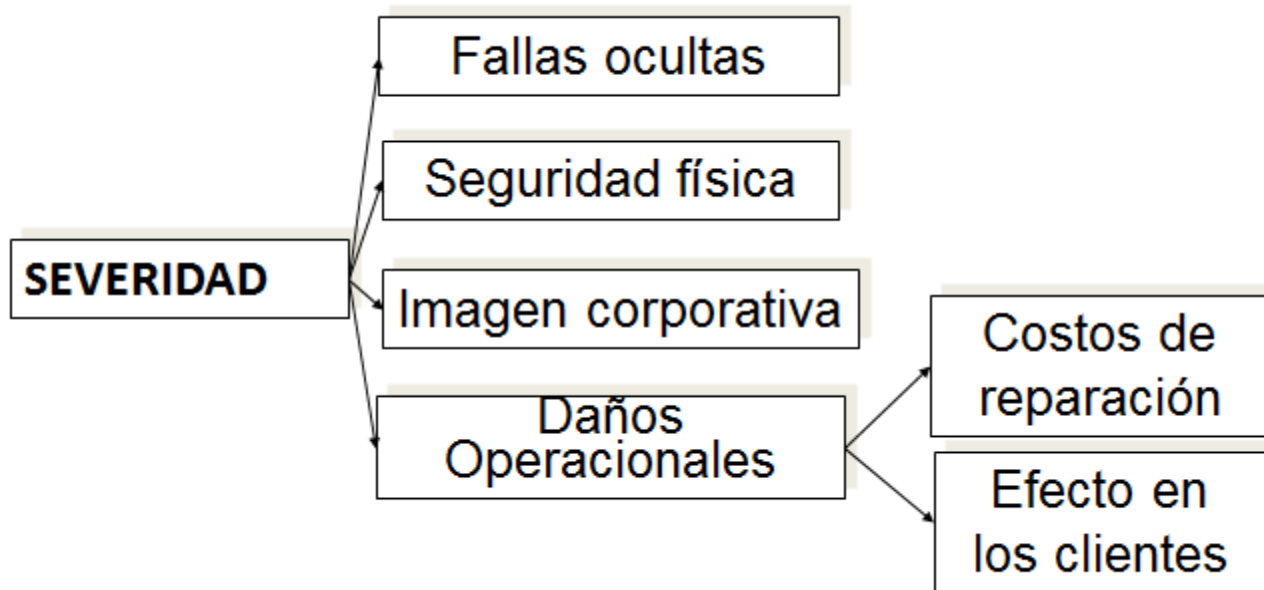
**Tabla 4.** *Falla, modo de falla y criticidad de riesgo.*

Para el análisis de criticidad del riesgo mostrado en la **tabla 4**, se tuvo en cuenta los criterios de ocurrencia y severidad, relacionándolos en la siguiente ecuación.

$$\text{Riesgo} = \text{Severidad} \times \text{Probabilidad de ocurrencia}$$

**Ecuación 1.** *Cálculo del riesgo de las fallas.*

Al momento de valorar el criterio de severidad, se tomó como base los siguientes ámbitos para tener en cuenta una valoración más precisa de este criterio:



**Figura 8.** *Ámbitos para la valoración de la severidad. Fuente: Autor.*

Dentro de los ámbitos descritos en la **figura 8** para tener en cuenta en la valoración de severidad, se tienen fallas ocultas, que se refiere si en el momento de la falla el operario puede deducirla con facilidad o no, la seguridad física, refiriéndose a que si la falla pone en riesgo la seguridad del operario, la imagen corporativa, es decir, si la falla crea una mala reputación de la empresa a sus clientes y finalmente lo que se refiere a daños operacionales, incluyendo costos de reparación y los efectos o consecuencias que se ven reflejadas en los clientes, como por ejemplo suspensión del servicio.

Para la escala de valores usada en los criterios de severidad y probabilidad de ocurrencia se tomaron los siguientes:

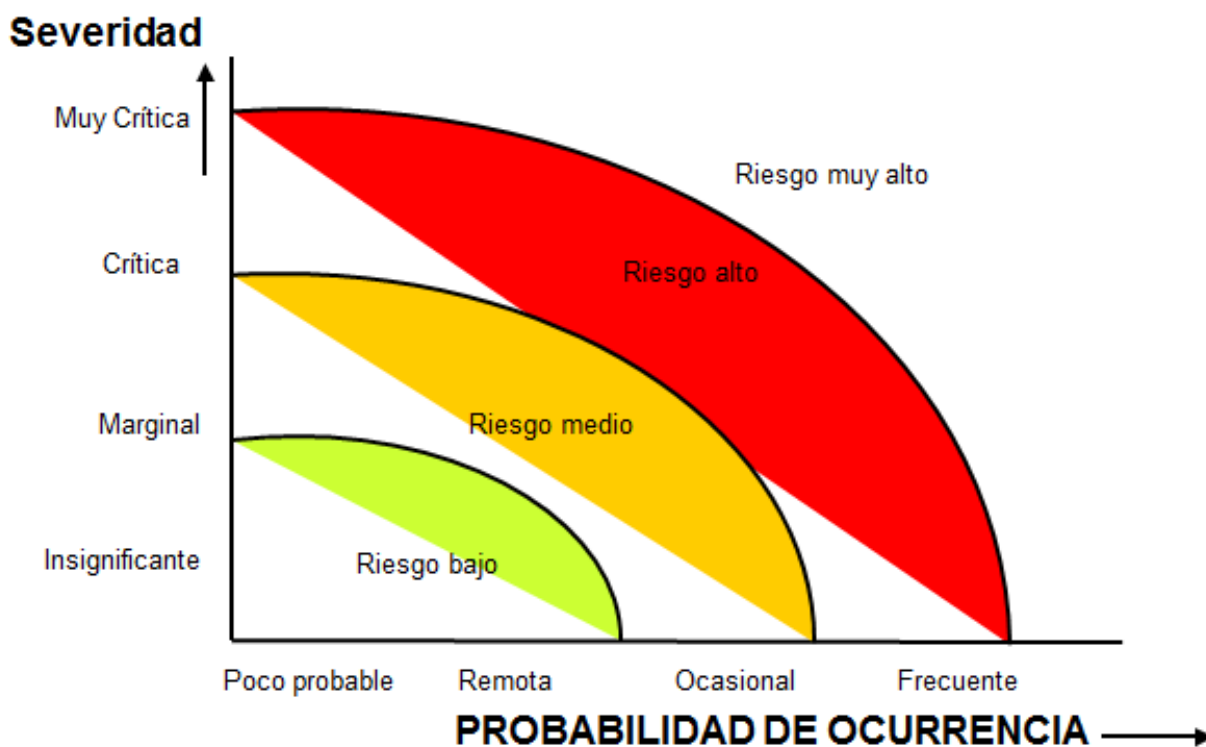
Criterio	Valoración	Característica	Descripción
Probabilidad de ocurrencia	1	Poco probable	Falla en 10 años
	2	Remota	Falla en 2 años
	3	Ocasional	Falla en 1 año
	4	Frecuente	Falla < 3 meses

Severidad	1	Insignificante	No afecta la operación.
	2	Marginal	Afecta la operación, pero se puede arreglar fácilmente.
	3	Crítica	Afecta la operación, requiere de mucha atención.
	4	Muy crítica	Afecta la operación, la planta no puede operar.

**Tabla 5.** Valoración del riesgo. Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta los criterios de la **tabla 5** y realizando para cada falla el cálculo del riesgo con la ecuación 1, se procede a darle una valoración al riesgo basado en la **figura 9**.

## VALORACIÓN DEL RIESGO



**Figura 9.** Valoración del riesgo. Fuente: Autor.

A continuación la **tabla 6**, muestra la valoración dada a cada criterio en la evaluación de las fallas para obtener finalmente la valoración del riesgo.

Falla	Ocurrencia	Severidad	Análisis del riesgo
Saturación del filtro.	Ocasional	Marginal	Riesgo medio
Fugas en la tubería.	Ocasional	Marginal	Riesgo medio
Taponamiento de	Remota	Muy crítica	Riesgo alto

membranas.			
------------	--	--	--

**Tabla 6.** Valoración del riesgo. Fuente: Autor.

- **Análisis de las fallas.**

**Saturación del filtro:** Cuando el filtro está colmatado, es necesario hacerle mantenimiento con retrolavado. En caso de que al filtro se le deba ser reemplazar el lecho filtrante, cuando su porcentaje de remoción de sólidos suspendidos y sedimentables va disminuyendo. En el caso de esta falla se puso ocasional en la probabilidad de ocurrencia debido a que es normal que esto suceda debido a que los filtros se mantienen operando todo el tiempo, la severidad es marginal debido a que la falla ocasiona un paro de la operación pero toma poco tiempo en reactivarse debido a que el mantenimiento se hace con facilidad.

**Fugas en la tubería:** Las fugas fueron identificadas mediante inspección visual en el momento de la visita a campo. Ocasionalmente debido al desgaste de la tubería y la constante presión que en el proceso se ejerce sobre ellas, estas deben pasar por mantenimiento, en cuanto a la severidad de esto, al momento de intervenir esta falla la planta debe parar su operación, pero con facilidad el equipo correspondiente le pondrá solución.

**Taponamiento de membranas:** La posibilidad que esto suceda es remota debido a que en el proceso de operación se usa un sistema anti incrustante con el fin de mantener las membranas limpias, la severidad es muy crítica debido a que se puede presentar que el sistema anteriormente mencionado no sea suficiente para mantener las membranas limpias, en este caso hacer un reemplazo o un mantenimiento más riguroso de estas tiene alto costo de reparación, afectando también el proceso en la planta debido a que se puede presentar un paro de varias semanas, a su vez esto representa una afectación en la prestación del servicio a los clientes.

*10.2 Análisis de alternativas desde el punto de vista técnico y operativo que permitan la puesta en marcha de la planta desalinizadora. (Objetivo Esp. 2)*

En este numeral se llevara a cabo la presentación de los resultados a partir de análisis de causas, como por ejemplo el método de 5 por qué y diagrama de espina de pescado.

*10.2.1 Análisis de causa de las fallas funcionales identificadas.*

- Método de 5 por qué.
  1. ¿Por qué se encuentra la planta desalinizadora Aypiamana fuera de servicio?

R/ Porque se presentó un fallo en el proceso de filtrado.

2. ¿Por qué se presentó un fallo en el proceso de filtrado?

R/ Porque la planta se encontraba operando con un solo filtro.

3. ¿Por qué estaba operando la planta con un solo filtro?

R/ Porque uno de los filtros necesitaba mantenimiento, debido al desgaste en el lecho filtrante, este no se hizo rápido y como consecuencia de seguir operando la planta, se sobrecargo el otro filtro.

4. ¿Por qué se sobrecargo el filtro que estaba operando?

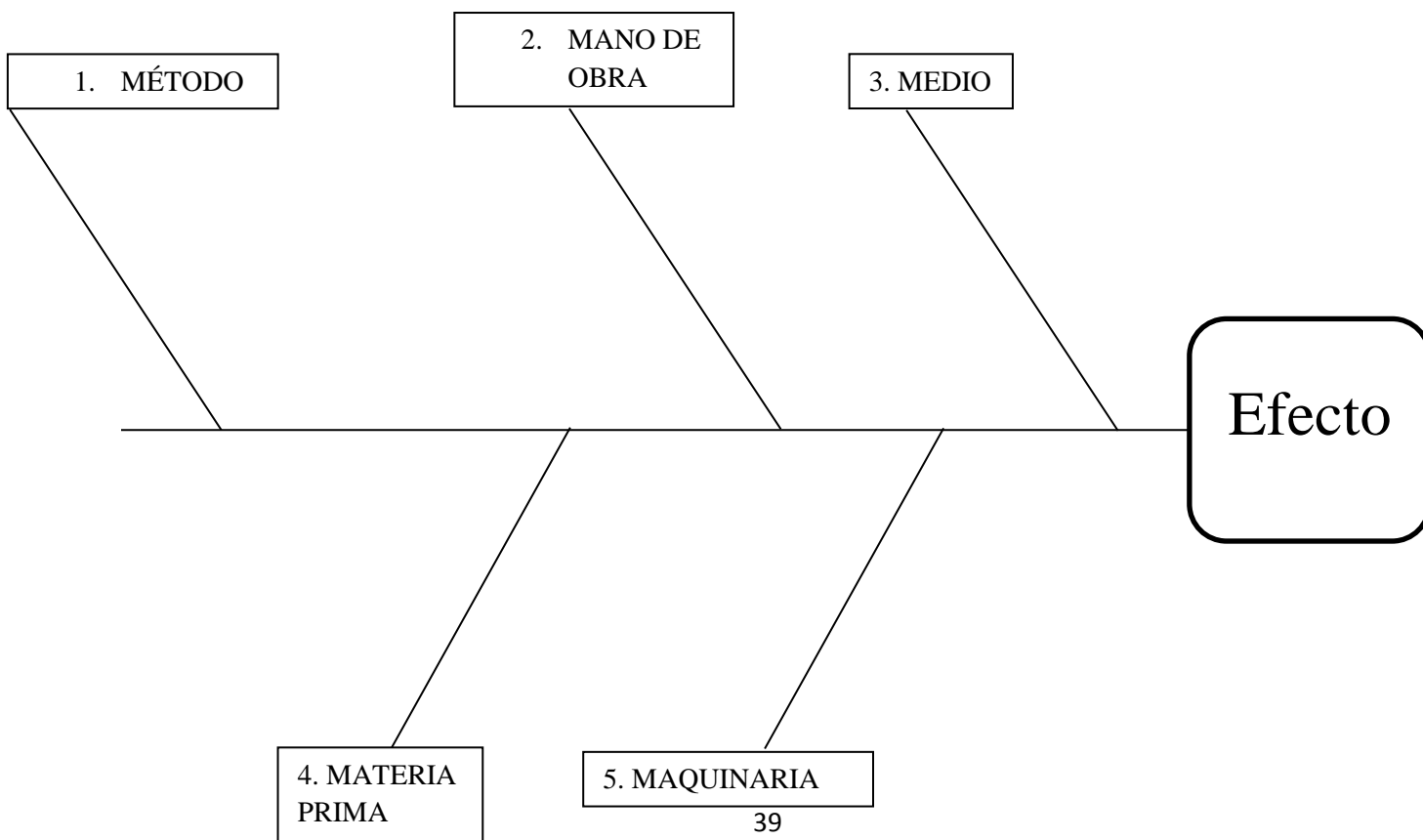
R/ Porque se presentó colmatación por el sobreuso de un solo filtro que estaba en funcionamiento duplicando su capacidad.

5. ¿Por qué no se actuó de manera rápida para evitar el fallo operativo en el filtro?

R/ Porque la planta no se cuenta con un manual de riesgo, tampoco con operarios capacitados para actuar en situaciones de riesgo, ni con un mantenimiento centrado en la confiabilidad de la operación.

A partir del método del 5 por qué, se obtienen las principales casusas de la inoperancia de la planta desalinizadora de Aypiamana. Teniendo en cuenta estas causas se procede a realizar el diagrama de espina (de pescado para identificar el ámbito en que se presenta la falla.

- Diagrama espina de pescado



**Figura 10.** Diagrama espina de pescado, ámbitos en los que se presentan las causas. Fuente: Autor.

**1. Método.**

- No cuenta con manual de riesgo.
- Fallo operativo.

**2. Mano de obra.**

- Operarios no capacitados para actuar en situaciones de riesgo.

**3. Medio.**

- No aplica.

**4. Materia prima.**

- Alto contenido de sólidos sedimentables y suspendidos en el agua a tratar.
- Lecho filtrante desgastado.

**5. Maquinaria.**

- Saturación de filtro.

**Efecto:** Todas las causas anteriormente descritas llevan a un efecto, como resultado de este análisis se tiene que el efecto es: Planta desalinizadora Aypiamana fuera de servicio.

Teniendo en cuenta el análisis de causa del método de 5 por qué, este arrojo 5 causas principales por las cuales la planta desalinizadora Aypiamana no se encuentra operando.

Para efectos de esta investigación, se escogerá la última causa del análisis del método 5 por qué, como la causa más relevante para atacarla y hacer un plan de trabajo para que no vuelva a suceder. Sin embargo, todas las respuestas arrojadas por el método no dejan de ser alternativas de causa para atacar con el fin de solucionar la problemática de la inoperancia de la planta, por lo tanto se le propondrá una solución a cada una teniendo en cuenta acciones preventivas y predictivas en mantenimiento y operación, como oportunidades de mejora para el proceso operativo de la planta desalinizadora.

Causa	Solución
1. Fallo en la fase de filtrado.	Las fases del proceso deben tener un monitoreo constante, especialmente la fase de filtrado puesto que es la primera en el proceso y por ende cuando ocurre una falla en esta fase como la analizada en esta investigación, de ahí en adelante todo el proceso se echa a perder. Por lo tanto, el monitoreo constante en el proceso de filtrado como actividad preventiva, evitaría en el futuro que se repita una situación problema como la actual en la planta desalinizadora Aypiamana.

2. Operación de la planta con un solo filtro.	Para mayor eficiencia en el proceso de filtrado, la planta opera con 2 filtros, en caso tal que la planta deba ser operada con un solo filtro para no interrumpir la prestación del servicio, no se debe sobrecargarlo, como tarea preventiva se debe operar de esta manera durante no más de 6 horas seguidas por día, sin exceder el plazo de 4-5 días seguidos.
3. No hubo mantenimiento rápido en el filtro que tenía el lecho filtrante desgastado.	Mantenimiento del filtro con tareas predictivas y preventivas, es decir, tener en cuenta la vida útil el lecho filtrante (5 años aproximadamente), para predecir cada cuanto se debe sustituir y no esperar hasta que falle, previniendo así un fallo en el proceso de filtrado.
4. Capacidad de retención del filtro excedida.	Mantener un control de lavado en los filtros, no esperar hasta el momento en que la capacidad de retención de sólidos suspendidos y sedimentables se exceda. Realizar como acción preventiva, el lavado de filtro mediante retrolavado cada 5 días, como se realiza actualmente en la planta y en caso tal, de que la planta se ponga en operación nuevamente con un solo filtro por algún motivo, realizarle a este un retrolavado cada dos días, pero actuando de manera rápido en la reparación del filtro suspendido.

**Tabla 7.** Soluciones para atacar las causas arrojadas en el método 5 por qué. Fuente: Autor.

En la **Tabla 8**, se muestra un plan de trabajo enfocado en la causa más relevante arrojada por el método 5 por qué anteriormente descrito, con el fin de atacar la causa raíz del problema y previniendo que en un futuro se vuelva a repetir.

Causa raíz	Plan de trabajo	Hito	Encargado	Fecha
Carencia de manual de riesgo y mantenimiento centrado en confiabilidad de la operación.	Análisis de entrada y salida en cada una de las fases del proceso. Teniendo en cuenta las tareas de mantenimiento.	Tareas de mantenimiento o puestas en práctica.	Equipo encargado del servicio de mantenimiento.	Corto plazo (3-6 meses)
	Atacar las fallas mediante trabajos de mantenimiento, centrados en la confiabilidad que los equipos pueden ofrecer en el sistema.	Se practica un mantenimiento o enfatizado en la confiabilidad de los equipos.	Equipo encargado del servicio de mantenimiento.	Corto plazo (3-6 meses)
	Crear un manual de riesgo y mantenimiento con acciones predictivas y preventivas, donde el operador como primera persona que identificaría	Tener un manual de riesgo y mantenimiento o adecuado.	Operarios.	Mediano

	un riesgo, tenga la capacidad de tomar decisiones.			plazo (6-12 meses)
--	--	--	--	--------------------

**Tabla 8.** Plan de trabajo para atacar la causa más relevante arrojada en el método 5 por qué. Fuente: Autor.

### 10.2.2 Definición de tareas de mantenimiento y operación con enfoque en la criticidad de riesgos

En este numeral se muestran las siguientes tareas de mantenimiento que se deben aplicar a los equipos críticos y directamente a la causa raíz, estas tareas sirven de apoyo para el plan de trabajo planteado en el numeral inmediatamente anterior.

- **Monitoreo en línea:** En estas tareas se busca mantener un monitoreo continuo de los equipos, para identificar la falla y reducir el nivel de riesgo que puede presentar esa falla al más bajo.
- **Recuperación de condición:** Al presentarse una falla en incremento de riesgo, se debe apuntar a la recuperación de la condición ideal del equipo, en la cual trabaja con normalidad.
- **Búsqueda de falla:** Cuando en condiciones normales de operación se presentan fallas no evidentes, se plantean tareas con el fin de identificar qué es lo que está fallando en el equipo.
- **Cambio de componentes:** Cuando se presenta una falla crítica y esta se identifica mientras aumenta su criticidad y a su vez, no se espera un fallo del equipo antes del cumplimiento de su vida útil, es necesario plantear un cambio en los componentes para disminuir el nivel de riesgo.

#### Tareas con enfoque correctivo para mantenimiento y operación.

Enfoque correctivo en:	Tipo de tarea	Tarea correctiva
<b>Mantenimiento</b>	Monitoreo en línea	- Llevar control de la vida útil de los equipos.
	Recuperación de condición	- Determinar reposo de la planta. - Lavado de membranas.
	Búsqueda de falla	- Hacer funcionar cada equipo para identificar alguna falla.
	Cambio de componentes	- Tener en cuenta el tiempo de vida útil de los componentes para su sustitución o mantenimiento.
<b>Operación</b>	Monitoreo en línea	- Operar la planta monitoreando cada una de las fases y sus equipos.
	Recuperación de condición	- Retrolavado de filtros. - Sistema anti incrustante en las membranas semi permeables. - Reposo a las motobombas.
	Búsqueda de falla	- Operar la planta hasta identificar la fase donde se presenta la falla.

	Cambio de componentes	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sustitución de lecho filtrante.</li><li>- Reemplazo de dosificador en alberca de fase de tratamiento.</li><li>- Sustitución de membranas del módulo de ósmosis inversa.</li></ul>
--	-----------------------	---

**Tabla 9.** *Tareas correctivas enfocadas a mantenimiento y operación. Fuente: Autor.*



El esquema mostrando en la **figura 11**, se toma como la carta de navegación al momento de presentarse una falla funcional en la planta desalinizadora Aypiamana. A partir de este se puede analizar cualquier falla que ocurra en el sistema y según las características de dicha falla se pueden estructurar tareas correctivas, preventivas o de monitoreo para no poner en riesgo la operatividad de la planta, logrando así evitar lo que pasa actualmente, que por un error en el mantenimiento de los equipos, la planta se encuentra fuera de servicio.

Se debe tener en cuenta que se emplean tareas preventivas, de rediseño y de monitoreo o condición; estas dos últimas descritas anteriormente. En cuanto a las tareas preventivas y de rediseño tenemos que, las primeras buscan evitar que ocurra la falla, esto se puede obtener a través del reemplazo de algún equipo o componentes, o la reparación, tratamiento o limpieza de los mismos. Por otro lado las tareas de rediseño, se enfocan en darle confiabilidad a un equipo o sistema mayor de la actual, también si realizar un nuevo diseño resulta más económico que hacer mantenimiento.

Si tomamos una de las fallas que causan la inoperancia de la planta desalinizadora Aypiamana y se somete al esquema presentado en la **figura 11**, se obtiene el siguiente resultado:

**Falla:** Taponamiento de las membranas semi permeables, que componen el módulo de ósmosis inversa en la fase desalación.

¿Se puede observar la falla funcional durante la operación normal?

R/ Si se puede observar, a pesar que esta falla se encuentra al interior de las membranas, este equipo cuenta con sensores de presión que alertan si se presenta alguna anomalía en el correcto funcionamiento. Por lo tanto, a pesar de ser una falla que se encuentra en el interior del equipo, el sistema de alerta avisa al operario que se está presentando una falla.

¿La falla tiene alto riesgo sobre la integridad física, el medio ambiente o en lo económico?

R/ Si. Aunque esta falla no presenta un riesgo físico para el cuerpo operador ni un riesgo para el medio ambiente, si presenta riesgo en cuanto a lo económico para la planta, ya que, este equipo es el eje central del proceso y por lo tanto su costo económico es alto, la falla podría presentar un daño irreversible en el equipo y finalmente sería necesario realizar un reemplazo.

¿Una tarea de monitoreo o condición reduce el riesgo a nivel medio?

R/ Si, se requiere una tarea de mantenimiento que permita a las membranas recuperar su condición ideal, la tarea propuesta en la **tabla 8**, se debe hacer en base al mantenimiento debido a que esta falla induce a una inoperatividad de la planta. Por lo tanto, se debe hacer un lavado a las membranas con el fin de retirar el exceso de sólidos suspendidos y sedimentables que pasaron de largo por la fase de filtración.

## **11 Discusión de resultados.**

Dentro del estado del arte plasmado en este trabajo, se encontró la aplicación de la metodología RCM en la infraestructura de una EDAR, llevada a cabo por el autor Salvador Barreda Beltrán (2015). A partir de esta podemos inferir que aplicar esta metodología en sistemas para volverlos mas confiables a partir del mantenimiento, puede representar una reducción de costos y riesgos dentro de la operación de dicho sistema.

Por otro lado no se encontró referencias de aplicación de la metodología en plantas desalinizadoras, por lo tanto este trabajo aporta en el avance de esta metodología en un campo donde no se ha llevado a cabo, visionando una planta desalinizadora como una unidad prestadora de servicio público basada en confiabilidad y no vista como una unidad solamente de producción.

## **Capítulo 4**

### **12 Conclusiones.**

- La planta desalinizadora Aypiamana es un sistema compuesto por los subsistemas, que a su vez son las fases del proceso, filtración, desalación y tratamiento.
- Las fallas identificadas en la visita de campo son: Saturación de filtro por la colmatación del lecho filtrante, taponamiento de membranas semi permeables, fugas en tubería.
- Los modo de falla identificados son: Alto contenido de sólidos suspendidos y sedimentables en el agua a tratar, mayor presión ejercida a la resistente por la tubería y contenido de sólidos suspendidos y sedimentables en la fase de desalación. Información obtenida de la visita de campo a la planta hecha por el autor.
- El 75% de los equipos que cumplen una función en el sistema de la planta desalinizadora Aypiamana, son críticos y alguna falla en ellos comprometería la operación. Estos equipos son: Motobomba, módulo de ósmosis inversa, filtro.
- Los equipos críticos del sistema presentan un nivel de riesgo medio-alto.
- Existen hallazgos de la contraloría general y de superservicios, lo cual no evidencia una gestión transparente de la operación, esto representado en la ausencia de registros.
- La planta desalinizadora Aypiamana no cuenta con un manual de riesgo.
- Ausencia de monitoreo de calidad de agua.
- No se tuvo la disponibilidad de información oficial por parte de la empresa Aguas y Energía EU contratista y responsable de la operación de la planta desalinizadora Aypiamana, que reporta a la empresa AAA de Uribia E.S.P. La solicitud de información con propósito académico no fue atendida, por esta razón fue necesario trabajar con la información recolectada mediante entrevistas y documentación.

### **13 Recomendaciones.**

- Capacitación del personal involucrado en la operación de la planta desalinizadora Aypiamana.

- Establecer roles bien definidos en la operación de la planta desalinizadora Aypiamana, incluyendo personal especializado en funciones de mantenimiento, operación e ingeniería.
- Llevar una ejecución presupuestal en la planta desalinizadora Aypiamana controlada, para tener conocimiento de los gastos que se realizan.
- Mayor control por parte de la autoridad competente en cuanto a las falencias presentadas en la planta desalinizadora Aypiamana.
- Según los estudios referenciados en el estado del arte de este trabajo, se respalda que estos sistemas pueden combinarse con energías alternativas, esto le quita dependencia a la planta desalinizadora de la red de energía eléctrica del municipio, reduciendo costos operacionales y presupuesto que podría estar enfocado a otra inversión.
- Implementar un manual de operación y mantenimiento, teniendo en cuenta los riesgos a los que está sometido la planta, a partir de acciones preventivas, correctivas y predictivas.
- Llevar a cabo las soluciones planteadas en la **tabla 6**, en el análisis del método de 5 por qué, como oportunidades de mejora para la operación de la planta.
- Implementar un laboratorio en la planta desalinizadora Aypiamana, con el fin de realizar pruebas de calidad de agua en el punto de salida.
- Implementar el esquema presentado en el **numeral 10.3.1**, como carta de navegación al momento de realizar tareas de mantenimiento, para evitar fallas repetitivas y futuras.
- Implementar el plan de trabajo descrito en la **tabla 7**.
- Implementar un sistema de pre tratamiento anterior al sistema de operación de la planta desalinizadora, se recomienda un desarenador con el fin de disminuir la carga de solidos sedimentables (arena), que pasa a los filtros.
- Implementar un proceso de floculación y coagulantes como pre tratamiento al agua para disminuir la cantidad de solidos disueltos en el agua cruda.
- Realizar un pequeño rediseño que permita que cada subsistema descrito en la **figura 7**, sea independiente y a la misma vez unificado con el sistema completo, esto con el fin de que si se vuelve a presentar un fallo operativo o técnico en la planta no se comprometa todo el sistema, sino, solo el equipo o subsistema afectado.

## 14 Bibliografía.

- Alcaldía de Manaure. (29 de Septiembre de 2012). *Manaure-laguajira*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de [http://www.manaure-laguajira.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2819583](http://www.manaure-laguajira.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=2819583)
- Alcaldía municipal de Uribia. (2016). *"Todo por Uribia" Plan de desarrollo municipal*. Uribia.
- Béltran, S. B. (2015). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la EDAR de Nules-Vilavella*. España: Universitat Jaume.
- Benavides, J. M. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de COLOMBIA Ltda*. Cali: Universidad Autonome de Occidente.

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994*. Bogotá.

CONPES. (2014). *Conpes 3810 Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural*. Bogotá .

Contraloría General del departamento de La Guajira. (2014). *Informe definitivo de auditoría gubernamental con enfoque integral modalidad especial Empresa AAA del municipio de Uribia*. Riohacha.

Corte Constitucional. (2011). *Sentencia T-740/11*. Colombia.

DANE. (2012). *Necesidades Básicas Insatisfechas - NBI, por total, cabecera y resto, según municipio y nacional*. Bogotá.

Henríquez, P. S. (s.f.). *Características físico-químicas del agua de mar* . Las Palmas: Universidad de las palmas de Gran Canaria.

International center for aquaculture. (s.f.). *Introducción a la captación de agua*. Alabama.

Kalogirou, S. (2005). *Seawater desalination using renewable energy sources*. Nicosia, Chipre: Elsevier.

Legis Editores. (2014). *Constitución política de Colombia* (32 ed.). (L. G. Chaves, Ed.) Bogotá , Colombia: Legis.

Millero, F., Feistel, R., Wright, D., & McDougall, T. (2007). *The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale*. Miami: Elsevier.

MinDesarrollo. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS - 2000*. Bogotá.

Molina, N. (23 de Agosto de 2015). Fenómeno del niño: Alarmante situación de La Guajira. *El Campesino*.

Monnot, M., Khanh, H. T., Laborie, S., & Cabassud, C. (2016). *Seawater reverse osmosis desalination plant at community-scale: Role of an innovative pretreatment on process performances and intensification*. Toulouse, Francia: Elsevier.

MONTES, M. L. (2011). *PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DESALADORA DE AGUA MARINA PARA LA MINERÍA ALIMENTADA CON ENERGÍA GENERADA POR UNA PLANTA DE CONCENTRACIÓN SOLAR*. Santiago de Chile.

OMS. (2016). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2016, de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/)

Ramilo , L., Gómez, S., & Coppari , N. (2003). *Técnicas de proceso para desalinización de aguas*. Buenos Aires .

Rausand, M., & Vatn, J. (2008). *Reliability Centred Maintenance*. Londres: Springer.

RCM confiabilidad. (30 de Octubre de 2005). *Mantenimiento planificado*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016, de

[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos\\_rcm\\_archivos/ariel%20ZYLBERBERG/RCM\\_Scorecard\\_overview.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/ariel%20ZYLBERBERG/RCM_Scorecard_overview.pdf)

SENA. (2009). *Formación en gestión ambiental y cadenas productivas sostenibles. Herramientas de análisis cualitativo.*

Stroud, M. (2012). *SOLAR DESALINATION IN THE SOUTHWEST UNITED STATES*:. USA.

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2015). *Evaluación integral de prestadores, Acueducto, alcantarillado y Aseo de Uribia SAS ESP.* Bogotá.

Tedagua. (2016). *Tedagua.* Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de <http://www.tedagua.com/View/page/desalacion-de-agua-de-mar-y-salobre/>

TUV Rheinland de México. (s.f.). *Análisis de causas raíz de problemas. Boletín técnico No, 1.* México.

Vargas, R. M. (2011). El derecho al agua potable en la jurisprudencia Colombiana. *Revista republicana.*

## 15 Anexos.

**Anexo 1. Carta de solicitud de información a la empresa AAA de Uribia. Fuente: Dirección del programa de Ingeniería ambiental de la Universidad El Bosque.**



**Anexo 2. Entrevista hecha al Ingeniero Ricardo Pardo de la empresa AAA de Uribia. Fuente: Autor.**

Entrevistador: Camilo Jose Bravo Cano (Autor)

Entrevistado: Ing. Ricardo Pardo (AAA de Uribia)

Fecha: 21 de Septiembre de 2016

1. ¿Cómo es el proceso de acceso al agua potable en el municipio de Uribia?
2. ¿Qué alternativas se han puesto a prueba en el municipio de Uribia para conseguir agua potable para la población?
3. ¿Cuántas plantas desalinizadoras (micro acueductos) suplen las necesidades de agua potable de la población de Uribia?
4. ¿Desde qué año está en operación la planta desalinizadora Aypiamana?
5. ¿Cuántas personas se ven beneficiadas del agua resultante de la planta desalinizadora de Aypiamana?
6. ¿En caso de presentarse una falla en algún micro acueducto, cómo hacen el proceso de distribución del agua a las viviendas?

**Anexo 3. Entrevista realizada al cuerpo operador, encargado de la planta desalinizadora de Aypiamana. Fuente: Autor.**

Entrevistador: Camilo Jose Bravo Cano (Autor)

Entrevistado: Señor Gustavo (Operario planta desalinizadora Aypiamana)

Fecha: 20 de Septiembre de 2016

1. ¿Cómo es el proceso operativo de la planta desalinizadora Aypiamana?
2. ¿Cuáles son las fases en las que se divide el proceso?
3. ¿Qué equipos son utilizados en cada fase del proceso?
4. ¿Qué especificaciones tienen los equipos que cumplen alguna función en el proceso?
5. ¿Qué daños ha sufrido la planta desalinizadora Aypiamana desde que comenzó con su operación?
6. ¿Qué falencias en el proceso se han evidenciado en la planta desalinizadora de Aypiamana?
7. ¿Qué fallas comprometen la operatividad de la planta desalinizadora Aypiamana en este momento?

**Anexo 4. Registro fotográfico de la visita a campo. Fuente: Autor.**

4.1 Largas filas de carro tanques para abastecer a la población afectada por la inoperancia de la planta desalinizadora.



#### 4.2 Filtros de planta desalinizadora Aypamana.



#### 4.3 Motobombas y alberca semienterrada de la fase de tratamiento.



4.4 Modulo de ósmosis inversa



4.5 Membranas semi permeables del módulo de ósmosis inversa.

