

**Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua de condensación de aire  
acondicionado para uso sanitario en la Universidad de la Costa**

**Por:**

**Andrés Camilo Arrauth Gómez**

**Galdino Taborda Armenta**



**Universidad de la Costa  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería civil  
Barranquilla  
2018**

**Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua de condensación de aire  
acondicionado para uso sanitario en la Universidad de la Costa**

**Por:**

**Andrés Camilo Arrauth Gómez**

**Galdino Taborda Armenta**

**Asesor:**

**Armando Fontalvo Lascano**

**Para otorgar el título de Ingeniero civil**



**Universidad de la Costa  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería civil  
Barranquilla  
2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Barranquilla, Atlántico**

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar esta tesis a mi Dios, quien me guio por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no caer derrotado por los problemas que se me presentaron a lo largo de mi carrera.

A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional, su paciencia y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi hijo que será una de las bases fundamentales para fortalecerme como persona y como profesional a lo largo de toda mi vida.

**Andres Arrauth Gomez**

Quiero dedicar este proyecto de grado a Dios. A toda mi familia (tíos, primos) que son bastantes, en especial a mis padres Galdino Taborda Arrieta y Esperanza E. Armenta Narvéez también a mi hermano Galdino E. Taborda Armenta por aconsejarme y darme animo en momentos de angustia y estrés, su experiencia hace que sus consejos valgan la pena escucharlos.

Por ultimo quiero dedicarles este pequeño triunfo y darles aliento para que continúen a mis compañeros y amigos Andrés Felipe Herrera Acevedo, Andrés Arrauth Gómez, Rodrigo José de la Ossa Gonzales, Eliana Rojas Benavides, Nicolle Marie Pacheco Echave, Sadys Alfonzo Martínez Samur entre otros que saben cuánto aprecio haber compartido conocimientos, momentos de alegría y preocupaciones.

**Galdino Taborda Armenta**

### **Agradecimientos**

A Dios, porque sin la voluntad de él nada se puede hacer, por guiarnos y darnos paciencia para lograr terminar con éxito esta carrera, carrera llena de altibajos que albergaron tiempos de tristezas y alegrías pero que como el ave fénix hemos renacido de entre las cenizas.

A todos y cada uno de los miembros de nuestra familia (tíos, primos) que son muchos, en especial a nuestros padres por apoyarnos y dar ánimo cuando era necesario, su experiencia hace que sus consejos valgan la pena escucharlos y tratar de no cometer los errores que ellos cometieron.

Un gran agradecimiento, a nuestros profesores, a nuestros compañeros de universidad, que más que eso son nuestros hermanos, con los que compartimos y nos apoyamos en los malos momentos, a ustedes de corazón gracias.

Y como no puede hacer falta, nuestros asesores, Armando Fontalvo Lazcano y Javier Carpintero Durango, que desde un principio nos tuvieron fé y nos brindaron todo para realizar este gran trabajo de grado, que más un trabajo de grado fue un trabajo de grado hecho con amor.

**Andrés Arrauth Gómez**

**Galdino Taborda Armenta**

### **Resumen**

El agua es un derecho fundamental de las personas y por ende se debe procurar por darle el mejor uso. El tratamiento y la reutilización planificada de las aguas grises basado en un sistema de energía solar posibilitan un incremento sustancial de los recursos hídricos y de un ahorro energético. Por estas razones, con la investigación se pretende diseñar un sistema para el tratamiento y reutilización de aguas grises en el bloque 10 de la Universidad de la Costa (CUC) con el fin de generar un buen impacto en el ahorro de recursos. En este sentido, la investigación estará enfocada en definir los componentes y parámetros de la reutilización de aguas grises, también las estrategias de minimización del consumo de aguas, el proceso de acondicionamiento de aire y el sistema de refrigeración, y finalmente los sistemas de reutilización de aguas grises con el uso de energía solar existentes. Además, la investigación se planteó en tres etapas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos por la misma, entre las que están la caracterización de la fuente hídrica, el diseño del sistema y finalmente un análisis de la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua. Este diseño podrá ser utilizado para futuros proyectos de investigación, que tengan como fin el ahorro de agua y de energía a través del uso de energía solar. Por todo lo anterior la investigación tendrá un impacto ambiental respecto al ahorro de agua y de energía, además de tener un impacto en el ámbito educativo ya que esta podrá servir de base para futuras investigaciones. La investigación se planteó en tres etapas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos por la misma, entre las que están la caracterización de la fuente hídrica, el diseño del sistema y finalmente un análisis de la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua. Este diseño podrá ser utilizado para futuros proyectos de investigación, que tengan como fin el ahorro de agua y de energía a través del uso de energía solar. Por todo lo anterior la investigación tendrá

un impacto ambiental respecto al ahorro de agua y de energía, además de tener un impacto en el ámbito educativo ya que esta podrá servir de base para futuras investigaciones.

*Palabras claves: sistema de tratamiento y reutilización, aguas grises, condensación de aire acondicionado.*

### Abstract

Water is a fundamental right of people and therefore should be sought to give the best used. The treatment and planned reuse of water based on a solar energy system allows a substantial increase in water resources and energy savings. For these reasons, the research aims to design a system for the treatment and reuse of gray water in block 10 of the University of Costa (CUC) in order to generate a good impact on saving resources. In this sense, the research will focus on the definition of the components and parameters of the reuse of gray water, the strategies for minimizing water consumption, the air conditioning process and the cooling system, and finally the reuse systems of gray water with the use of existing solar energy. In addition, the research was raised in three stages in order to meet the objectives proposed for it, among which are the characteristic of the water source, the design of the system and finally an analysis of the profitability of the water treatment system. This design can be used for future research projects, which aim to save water and energy through the use of solar energy. For all the above, research can have an environmental impact for saving energy and energy, as well as having an impact on the educational environment and that can serve as the basis for future research. The research was proposed in three stages in order to meet the objectives proposed by the same, among which are the characterization of the water source, the design of the system and finally an analysis of the profitability of the water treatment system. This design can be used for future research projects, which aim to save water and energy through the use of solar energy. For all the above, the research will have an environmental impact on water and energy savings, in addition to having an impact in the educational field since this will be able to serve as a basis for future research.

***Keywords:*** *treatment and reuse system, gray water, air conditioning condensation.*



## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introducción.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>Capítulo 1. Planteamiento del problema.....</b>  | <b>20</b> |
| 1.1.Descripción del problema.....   | 20        |
| 1.2.Formulación del problema.....   | 22        |
| 1.3.Objetivos.....  | 22        |
| 1.4.Justificación.....  | 23        |
| 1.5.Estado del arte.....  | 25        |
| <b>Capítulo 2. Marco referencial.....</b>   | <b>31</b> |
| 2.1.Antecedentes.....   | 31        |
| 2.2.Marco teórico.....  | 33        |
| 2.3.Marco legal.....  | 54        |
| <b>Capítulo 3. Marco metodológico.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>Capítulo 4. Caracterización de la fuente hídrica.....</b>                                  | <b>60</b> |
| 4.1. Toma de muestra.....   | 57        |
| 4.2. Distribución de caudales diarios.....  | 61        |
| 4.3. Caracterización físico química y microbiológica.....                                     | 65        |
| <b>Capítulo 5. Diseño del sistema de recolección, tratamiento y distribución de agua.....</b> | <b>68</b> |
| 5.1. Definición de los componentes del sistema.....   | 68        |
| 5.2. Sistemas propuestos para el tratamiento del agua.....                                    | 72        |
| 5.3. Diseño hidráulico del sistema.....   | 78        |
| 5.4.Sistema debombeo.....   | 88        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.5. Cabeza de bomba.....  | 90         |
| 5.6. Determinación del caudal de diseño.....                     | 92         |
| 5.7. Diseño del sistema de alimentación con paneles solares..... | 94         |
| <b>Capítulo 6. Análisis económico.....</b>                       | <b>102</b> |
| 6.1. Capital total a invertir.....                               | 102        |
| 6.2. Costos de operación y mantenimiento.....                    | 106        |
| 6.3. Parámetros de evaluación económica.....                     | 108        |
| 6.4. Evaluación económica.....                                   | 110        |
| <b>Conclusiones.....</b>   | <b>123</b> |
| <b>Recomendaciones.....</b>                                      | <b>126</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>   | <b>127</b> |
| <b>Anexos.....</b>   | <b>134</b> |

### **Siglas**

CCCS - Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.

CEDEX - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

CITME - Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía.

CUC - Universidad De La Costa.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

LEED - Liderazgo en Energía y Diseño Medio Ambiental.

OMS - Organización Mundial de la Salud.

USGBC - United States Green Building Council.

UV - Ultra Violeta.

**Lista de figuras**

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Certificación LEED en Colombia.....  | 30 |
| <i>Figura 2.</i> Proceso físico-biológico y físico-químico del tratamiento de agua.....     | 42 |
| <i>Figura 3.</i> Proceso del carbón activado.....   | 44 |
| <i>Figura 4.</i> Estrategia general PML.....  | 46 |
| <i>Figura 5.</i> Acondicionamiento de aire en un recinto.....                               | 49 |
| <i>Figura 6.</i> Célula fotovoltaica.....   | 50 |
| <i>Figura 7.</i> Módulo fotovoltaico.....   | 50 |
| <i>Figura 8.</i> Célula fotovoltaica completa.....  | 51 |
| <i>Figura 9.</i> Diseño metodológico de la investigación.....                               | 59 |
| <i>Figura 10.</i> Gráfico de dispersión de los caudales del bloque 10.....                  | 62 |
| <i>Figura 11.</i> Gráfico de probabilidad normal de los caudales (ml/s) del bloque 10.....  | 63 |
| <i>Figura 12.</i> Sistema de red de tubería de PVC existente en el bloque 10 de la CUC..... | 69 |
| <i>Figura 13.</i> Tanque de almacenamiento de polipropileno.....                            | 70 |
| <i>Figura 14.</i> Válvula flotadora.....  | 70 |
| <i>Figura 15.</i> Sistema de bombeo con paneles solares.....                                | 71 |

*Figura 16.* Filtros multimedia.....76

*Figura 17.* Diseño propuesto.....78

*Figura 18.* Condiciones de flujo de entrada y coeficiente de pérdida.....85

*Figura 19.* Condiciones de flujo de salida y coeficiente de pérdida.....85

*Figura 20.* Pérdidas en ensanchamientos y contracciones bruscas.....86

*Figura 21.* Caída de presión vs. Caudal para cartuchos de filtro pulidor, serie 740.....88

*Figura 22.* Cabeza de bomba vs. Caudal del sistema.....91

*Figura 23.* Cabeza entregada por la bomba vs. Caudal del sistema.....93

*Figura 24.* Curva del sistema vs. Curva de la bomba Pedrollo PK-60.....94

**Lista de tablas**

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla 1.</i> Criterios y parámetros para la reutilización de aguas grises.....   | 35 |
| <i>Tabla 2.</i> Resumen Estadístico para los datos de caudales del bloque 10.....   | 62 |
| <i>Tabla 3.</i> Intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de los caudales del bloque 10..... | 63 |
| <i>Tabla 4.</i> Prueba de hipótesis para la media de los caudales del bloque 10.....  | 64 |
| <i>Tabla 5.</i> Caracterización físico química y microbiológica.....  | 66 |
| <i>Tabla 6.</i> Calidad de la muestra.....  | 66 |
| <i>Tabla 7.</i> Tiempos de retención para tres capacidades de tanques para almacenamiento de agua de condensación.....      | 80 |
| <i>Tabla 8.</i> Coeficiente de pérdida $K$ para válvulas, codos y Tés.....  | 84 |
| <i>Tabla 9.</i> Valores de $k$ para los accesorios del sistema.....   | 87 |
| <i>Tabla 10.</i> Cabeza de bomba vs. Caudal del sistema.....  | 91 |
| <i>Tabla 11.</i> Datos de ubicación del proyecto.....   | 95 |
| <i>Tabla 12.</i> Declinación solar mensual.....   | 95 |
| <i>Tabla 13.</i> Inclinación óptima mensual.....  | 96 |

*Tabla 14.* Valores de radiación global horizontal y radiación global para el ángulo óptimo para la ubicación del proyecto.....97

*Tabla 15.* Factor de irradiancia y horas solares pico (HSP) por día .....98

*Tabla 16.* Consumo energético diario.....99

*Tabla 17.* Dimensionamiento del campo fotovoltaico.....100

*Tabla 18.* Información kit seleccionado.....100

*Tabla 19.* Costo de los componentes del sistema de reutilización de agua con energía solar....103

*Tabla 20.* Costo de instalación para el sistema de reutilización de agua con energía solar sin imprevistos.....105

*Tabla 21.* Frecuencia de mantenimiento para el sistema fotovoltaico.....107

*Tabla 22.* Frecuencia de reemplazo de componentes del sistema fotovoltaico.....107

*Tabla 23.* Costo anual de mantenimiento y reemplazo de componentes del sistema fotovoltaico, corregidos de acuerdo a la variación del IPC entre los años 2012 a 2017.....107

*Tabla 24.* Personal y dedicación para labores de mantenimiento del sistema de bombeo.....107

*Tabla 25.* Estado de resultados para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.....111

*Tabla 26.* Flujos de caja para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.....113

*Tabla 27.* Estado de resultados para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.....115

*Tabla 28.* Flujos de caja para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.....116

*Tabla 29.* Estado de resultados para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP..... 117

*Tabla 30.* Estado de resultados para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación).....118

*Tabla 31.* Flujos de caja para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.....120

*Tabla 32.* Flujos de caja para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación).....121



### **Lista de anexos**

*Anexo 1.* Tiempo que se obtuvieron en determinadas horas del día

*Anexo 2.* Informe de caracterización fisicoquímica del agua que se genera de los condensadores de los aires acondicionados ubicados en el bloque 10 de la Universidad De La Costa (CUC)

*Anexo 3.* Parametrización físico química usada para la fuente de abastecimiento

*Anexo 4.* Cálculos para la selección del caudal de diseño

*Anexo 5.* Imágenes del sistema propuesto

## Introducción

En la actualidad el ahorro de agua y energía supone uno de los temas más importantes y de mayor impacto en materia de sostenibilidad, diseño y aprovechamiento controlado de los recursos naturales. De esta manera, la Universidad de la Costa es una institución que cuenta con un sistema de aires acondicionados y desagüe en cada uno de sus bloques, donde los salones de clases y las oficinas disponen de equipos de aire acondicionado eléctricos que condensan parte de la humedad contenida en el aire atmosférico de los recintos, generando aguas grises que son desperdiciadas.

En el caso del bloque 10 de la Universidad recintos acondicionados y de un sistema de desagüe que transporta las aguas grises desde los evaporadores hasta el primer piso, donde a esta agua no se le da ningún uso. La idea investigativa surge en la necesidad del diseño de un sistema de tratamiento y reutilización para estas aguas grises basado en el uso de energía solar, con el fin de que sean usadas en términos sanitarios para ahorrar agua y reducir el gasto de energía.

La demanda de agua ha provocado que el uso de plantas depuradoras suponga hoy en día una fuente extra e importante de recursos hídricos, beneficiando muchas poblaciones en este caso la población educativa y administrativa de este bloque. De este modo el principal de la investigación es diseñar un sistema de tratamiento y reutilización de las aguas grises a través de la energía solar para este bloque.

En este sentido, la investigación estará enfocada en definir los componentes y parámetros de la reutilización de aguas grises, también las estrategias de minimización del consumo de aguas, el proceso de acondicionamiento de aire y el sistema de refrigeración, y finalmente los

sistemas de reutilización de aguas grises con el uso de energía solar existentes. Todo esto con el fin de diseñar un sistema para el tratamiento y la reutilización de estas aguas, a través de la energía solar para minimizar el uso de energía eléctrica y la demanda de agua.

La investigación se planteó en tres etapas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos por la misma, entre las que están la caracterización de la fuente hídrica, el diseño del sistema y finalmente un análisis de la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua. Este diseño podrá ser utilizado para futuros proyectos de investigación, que tengan como fin el ahorro de agua y de energía a través del uso de energía solar. Por todo lo anterior la investigación tendrá un impacto ambiental respecto al ahorro de agua y de energía, además de tener un impacto en el ámbito educativo ya que esta podrá servir de base para futuras investigaciones.

## Capítulo 1

### Planteamiento del problema

#### 1.1.Descripción del problema

La Universidad de la Costa cuenta con un sistema de aires acondicionado y desagüe en cada uno de sus bloques, donde los salones de clases y las oficinas disponen de equipos de aire acondicionado eléctricos que condensan parte de la humedad contenida en el aire atmosférico de los recintos, generando aguas que son desperdiciadas. Las aguas que surgen son las aguas grises, es decir que están entre las aguas limpias y las aguas negras, ya que no contiene bacterias. Por su aspecto y contenido estas pueden ser tratadas y reutilizadas para un uso sanitario.

De este modo, surge una problemática respecto a este desperdicio y al gasto de energía las cuales afectan al medio ambiente. En el caso del bloque 10 de la Universidad, este dispone de 24 recintos acondicionados y de un sistema de desagüe que transporta las aguas grises desde los evaporadores hasta el primer piso, donde a esta agua no se le da ningún uso. Esta visión nos lleva a la seguridad hídrica (Chávez, 2005, p.6), es decir de la certidumbre de contar con el valioso recurso del agua tanto para nosotros como para las generaciones que vienen, sin limitarnos al extremo. Para mejorar esa seguridad es necesario tomar acciones que nos integren al ciclo del agua, reutilizando la que consumimos de manera adecuada.

La idea investigativa surge en la necesidad del diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises basado en el uso de energía solar para el uso sanitario de la institución, con el propósito de ahorrar agua y reducir el gasto de energía. Según el Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014), en la Resolución 1207 de 2014 las aguas residuales o aguas grises son aquellas que han sido sometidas a operaciones o proceso unitario de tratamiento que permita cumplir con los criterios de calidad requerida para su reúso (p.2). El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

El objetivo de depurar aguas grises se logra mediante la integración de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos) unitarios, para mejorar la calidad deseada del agua tratada. De este modo es necesario contribuir a la reutilización de estas aguas con fin sanitario, donde se opte por buscar nuevos recursos que en la actualidad imponen la pauta y que traen consigo soluciones para el ahorro de agua y energía.

El diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de las aguas grises a través de la energía solar para el bloque 10 de la Universidad de la Costa es el objetivo de esta investigación. Para ello se empleará la búsqueda de la tecnología y los componentes adecuados para el tratamiento de estas aguas recolectadas en los evaporadores de los aires acondicionados con el fin de hacerlas aptas para el uso sanitario. Posteriormente se identificarán los componentes del subsistema de alimentación energética y su integración con la fuente de energía solar. Por último, se hará el diseño para el tratamiento y la reutilización de estas aguas, a través de la energía solar para minimizar el uso de energía eléctrica y la demanda de agua.

## **1.2. Formulación del problema**

La idea investigativa surge de la necesidad de un sistema de tratamiento y reutilización de las aguas grises a través del uso de energía solar para el bloque 10 de la Universidad de la Costa, con miras a buscar una solución para esta problemática. De este modo surge la pregunta:

¿Cómo desarrollar un sistema basado en componentes y parámetros de reutilización de aguas grises de los evaporadores de los aires acondicionados del bloque 10 de la Universidad de la Costa para su uso sanitario, minimizando el consumo de aguas y de energía con el uso de la energía solar?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Diseñar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises de los evaporadores de los aires acondicionados del bloque 10 de la Universidad de la Costa, alimentado por energía solar que minimice el uso de energía eléctrica y la demanda de agua.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Identificar la tecnología y los componentes adecuados para el tratamiento de aguas grises recolectadas en los evaporadores de los aires acondicionados para hacerlas aptas para el uso sanitario.
- Seleccionar los componentes del subsistema de alimentación energética y su integración con la fuente de energía solar.
- Diseñar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises de los aires

aconicionados del bloque 10 de la Universidad de la Costa, alimentado por energía solar que minimice el uso de energía eléctrica y la demanda de agua.

#### **1.4. Justificación**

La investigación se justifica a partir de las posibilidades que existen para el ahorro de agua y el gasto de energía eléctrica, empleando recursos innovadores para darle un nuevo uso a estas aguas grises que se originan de los evaporadores de los aires acondicionados del bloque 10 de la Universidad de la Costa. Con el fin de cuidar un recurso tan vital como el agua ya que este es uno de los recursos naturales de mayor importancia por su innegable trascendencia en el mantenimiento de la vida, no sólo del hombre sino de todas las especies vivas y para el correcto funcionamiento de todos los ecosistemas.

Es además un recurso esencial para la mayoría de actividades sociales y económicas, y por lo tanto constituye un importante factor de desarrollo. Por ello, en el manejo y aprovechamiento del recurso hídrico se conjuga toda la problemática del desarrollo sostenible: la necesidad de reconocerlo como un importante factor de producción, pero también como una de las claves para la preservación del ambiente (Gutierrez, 2005).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el ranking de países con mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables del Sistema de Información Global sobre el Agua, Colombia es el séptimo país con mayor disponibilidad de recursos hídricos en el mundo. Adicionalmente, Colombia es el país con mayor superficie de páramos en el mundo, hace parte de los nueve países que concentran el 60% del agua dulce del mundo.

El país durante décadas fue el que más recursos hídricos tenía después de Canadá, Rusia y Brasil; pero en los últimos años ha venido descendiendo en los índices del patrimonio hídrico por causa de la contaminación del agua generada por factores antrópicos, su uso inadecuado por parte de las empresas industriales, el tratamiento inadecuado de las aguas residuales, la deforestación y el cambio climático, entre otros (Senado de la República de Colombia, 2016, p.2).

La incertidumbre sobre el acceso al recurso hídrico de las generaciones presentes y futuras es una realidad a nivel nacional, por ello se deben tomar las medidas preventivas para evitar tanto el desabastecimiento como la contaminación del agua y lograr su conservación y su sostenibilidad, teniendo en cuenta que todos los seres vivos y la misma existencia del planeta dependen del agua.

Por ende, el tratamiento y la reutilización planificada de las aguas grises basado en un sistema de energía solar posibilita un incremento sustancial de los recursos hídricos y de un ahorro energético, las cuales finalmente podrán ser usadas para fines sanitarios. Además este proceso tiene beneficios ecológicos que incluyen la baja extracción de agua dulce para el uso sanitario, consecuente ahorro de costes de agua, elevada independencia del suministro público y la reducción del uso de energía.

La adopción de tecnologías alternativas para tender a un uso racional del agua es una es beneficioso para el medio ambiente y para la sociedad, dado que estamos evitando el derroche de agua potable allí donde no es necesaria, uso sanitario, utilizando en su lugar agua dulce que ya ha sido utilizada anteriormente. Por ende es necesario que se diseñe un sistema para el tratamiento y reutilización del agua con el fin de generar un buen impacto en el ahorro de recursos.



Finalmente, con esta investigación se pretende que el diseño del sistema quede como un aporte para la infraestructura del bloque 10, en cuanto al ahorro de agua y energía, y además que sirva de base para futuros sistemas en otros contextos de la misma institución. Este diseño podrá ser utilizado para futuros proyectos de investigación, que tengan como fin el ahorro de agua y de energía a través del uso de energía solar. Por todo lo anterior la investigación tendrá un impacto ambiental respecto al ahorro de agua y de energía, además de tener un impacto en el ámbito educativo ya que esta podrá servir de base para futuras investigaciones.

### **1.5. Estado del arte**

A través de una previa revisión por parte de los investigadores se pudo determinar que existen actualmente algunas patentes en los diseños de sistemas para la recolección del agua del ambiente, la cual puede ser reutilizada mediante un proceso. En Colombia como en otros países se quiere atender el problema de desperdicio de agua potable, haciendo uso de métodos para reciclar, tratar y re circular aguas grises dentro de las edificaciones; esto con la intención de proponer una solución a dicha problemática.

El control en el consumo de agua crea conciencia en los habitantes e implanta sistemas de recirculación de aguas grises con el fin de generar un menor impacto ambiental. La mayoría de las patentes relacionadas con el sistema de utilidad que se propone la investigación se encuentran categorizadas bajo de la Clasificación Cooperativa del código E03B3/28 (Installations or methods for obtaining, collecting, or distributing water) donde se encuentran los métodos y dispositivos para recoger el agua potable y transportar el agua de una fuente a un punto de extracción. A continuación, se citan las patentes más relevantes.

Para el 2011, Amir Dagan patentó un *Dispositivo para extraer agua potable del aire ambiental* (Patente ES2211505T3). Este sistema comprende una carcasa que tiene una entrada de aire con un filtro de aire, una salida de aire y un ventilador de aire para introducir aire en la carcasa a través de la entrada de aire y empujarlo hacia fuera de la carcasa a través de la salida de aire. Un sistema de recogida de humedad que tiene superficies de formación de rocío y dispuesto de manera que el aire introducido en la carcasa pasa a su través y la humedad del aire se condensa en las superficies de formación de rocío.

También tiene un depósito de agua capaz de recibir agua recogida como humedad en dicho sistema de recogida de humedad y que tiene un fondo y una superficie lateral, una abertura de salida y una abertura de entrada de circulación; una tubería de circulación de agua que se extiende desde dicha abertura de salida hasta dicha abertura de entrada del depósito de agua a través de un sistema de filtración y esterilización de agua para proporcionar la circulación de agua a través de dicho depósito por medio de un dispositivo de bombeo; una válvula de dispensación de agua para la dispensación externa de agua desde la tubería de circulación de agua (Google Patents, 2011, p.1).

En el 2005 Enrique Vega González patentó un *Generador de agua potable por condensación del vapor del aire* (Patente ES2307355A1) mediante el apoyo de una instalación frigorífica y mediante intercambiadores de calor diseñados a tal fin. Se trata de la obtención de agua potable por condensación del vapor de agua del aire mediante el apoyo de una instalación frigorífica. La particularidad de nuestro sistema es que no necesita agua de otras fuentes, pues ella misma la obtiene de la humedad del aire. El aire después de ser filtrado, es enfriado con el aire de retorno ya tratado. Posteriormente es enfriado por debajo del punto de rocío con lo que el vapor de agua empezará a condensar. Obteniendo agua potable semejante a la de lluvia, el aire

deshidratado sigue la evolución y se empleará para enfriar el aire entrante y al líquido frigorígeno, con lo que aumentaremos sensiblemente el rendimiento del generador (Google Patents, 2005, p.1).

Jonás Villarrubia Ruiz en el 2011 patentó una *Torre solar generadora de electricidad y agua potable de la humedad del aire atmosférico* (Patente WO2011144779A1). La torre solar del tipo de ascensión de aire o efecto chimenea, que es hueca en su interior y que incorpora una turbina de gas modificada para su uso con energía solar, a la que se incorpora un evaporador que enfría el aire y se le extrae la humedad con el fin de mejorar el rendimiento de la turbina, y que el agua producto de la condensación, por el diseño de las placas del evaporador, la dirige al exterior de la torre, un radiador para calentar sales para el uso de generar energía en horas nocturnas y una serie de placas, varillas o filamentos metálicos en la zona de la turbina definida como horno solar para calentar por convección el aire (Google Patents, 2011, p.1).

En ese mismo año José Javier Muñoz Pérez patentó un Aparato para producción de agua a través de la condensación de la humedad ambiental (Patente ES2214080A1). Este es un sistema de obtención de agua a partir de la humedad del aire, que consiste en el tratamiento continuo de una masa de aire que se hace pasar a través de una unidad de condensación, en donde por medio de un fluido refrigerante, procedente de una unidad de frío, se produce un enfriamiento que provoca la condensación de la humedad contenida en el aire tratado, la cual se transforma en agua líquida, recogándose en un depósito para su distribución (Google Patents, 2011, p.1).

De acuerdo con lo anterior se puede observar que en la actualidad se está pensando en la reutilización de agua como alternativa de solución a la escases que se ve próxima. Después de un tratamiento adecuado todas las aguas grises pueden ser reutilizadas para que luego tenga un uso sanitario. En este mismo sentido, se han venido desarrollando investigaciones acerca de las

edificaciones sostenibles con el uso de la reutilización de agua, que en América Latina y Colombia se conocen como proyectos de Liderazgo en Energía y Diseño Medio Ambiental (LEED).

Según Susunaga (2014, p.23-28), la certificación LEED es el sello desarrollado originalmente en 1993 por el Concejo Estadounidense de Construcción Sostenible (United States Green Building Council, USGBC), la cual se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales.

Así mismo el autor explica que LEED es un sistema de puntos en el cual los proyectos de construcción obtienen puntos LEED por satisfacer criterios específicos de construcción sustentable. En cada una de las siete categorías de créditos LEED, los proyectos deben satisfacer determinados pre-requisitos y ganar puntos. Las cinco categorías incluyen Sitios Sustentables (SS), Ahorro de agua (WE), Energía y Atmosfera (EA), Materiales y Recursos (MR) y Calidad Ambiental de los Interiores (IEQ). El número de puntos obtenidos por el proyecto determina el nivel de certificación LEED que el proyecto recibirá.

La certificación que se puede obtener de acuerdo al puntaje alcanzado es:

- 40 a 49 puntos – LEED ® Certified (Certificado)
- 50 a 59 puntos – LEED ® Silver (Plata)
- 60 a 79 puntos – LEED ® Gold (Oro)
- 80 o más puntos – LEED ® Platinum (Platino)

Estos proyectos certificados LEED parten del rendimiento ambiental y económico con el fin de beneficiar a los habitantes, ya que son construcciones de bajo costo y mantenimiento, además de que ahorran agua y energía. Según Susunaga, se espera que en unos años sean muchos más los países latinoamericanos que formen parte del portafolio de naciones con edificaciones LEED y que los que ya dieron el paso, aumenten sus listas de edificaciones verdes, ya que hoy esta certificación constituye una de las principales garantías ambientales que existen en el mundo.

Las estadísticas del US Green Building Council, según el Consejo de Construcción Sostenible de Paraguay (2015), reflejan el aumento de las construcciones verdes en América Latina. Tomando como referencia el sistema de puntuación ideado por esta entidad para categorizar los proyectos LEED, se encuentra que dos proyectos han obtenido la máxima puntuación en Latinoamérica (platino): Eldorado Buiness Tower y el edificio Eco Berrini en Brasil, y Oficinas Bioconstrucción y Torre HSBC en México.

Según el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) (s.f.), en el país LEED ha cubierto muy exitosamente la demanda de proyectos de construcción que fomentan la sostenibilidad, y en especial los usos no residenciales. Los proyectos que utilicen LEED podrán cumplir con las normas obligatorias derivadas de la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones para nuevas construcciones en Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cali, la cual entró en vigor desde junio de 2016 (Decreto 1285/2015 y Resolución 549/2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). Al 31 de agosto de 2017 hay 105 certificados y 235 en proceso, incluyendo la nueva sede principal del CCCS (ver Figura 1):

Figura 1.



*Nota. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible.*

La certificación LEED garantiza un ahorro en costos de energía, menores emisiones de carbono y ambientes más saludables para los lugares que habitamos. Para la CCCS, el programa está basado en el concepto de proceso de diseño integrado y motiva el logro de un alto rendimiento en áreas clave para la salud humana y el ambiente.

Según Cabas y Garrido (2011), en su investigación sobre el futuro de la construcción en el país determinan que el futuro de la construcción es la masificación de este tipo de estrategias, debido a que el ser humano está cada vez más consiente que para lograr una armonía con el planeta, con la comunidad y sobre todo con la descendencia (p.150). Por esto hay que pensar en las necesidades que tienen y tendrán cada uno de ellos para tener una buena calidad de vida, por eso el consumo de los recursos no renovables debe ser de tal forma que haya una mesura, donde se pueda reponer lo que utilizamos y sobretodo economizar estos recursos y así devolverle de cierta manera al planeta lo que nos ha dado.

## Capítulo 2

### Marco referencial

#### 2.1. Antecedentes

Para la investigación se tomaron de base algunas investigaciones internacionales y nacionales enfocadas en el diseño de sistemas de reutilización y tratamiento de aguas grises. A continuación se presentan algunas de ellas.

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales.

Durante esta búsqueda se encontró la investigación realizada por Patricia Kestler (2004) de la Universidad Rafael Landívar en Guatemala. Esta tuvo como objetivo reutilizar las aguas residuales tratadas, con una calidad sanitaria y estética casi iguales a las del agua potable para el abastecimiento de aparatos sanitarios, que luego serán descargadas en un pozo séptico para uso de riego por goteo.

Este sistema aporta un mejor manejo del agua y ayuda a la economía del hogar que lo utilice, además de aportar las bases para el mejoramiento, la caracterización y el manejo de aguas residuales, pues el buen uso de estas aguas grises permite reducir el consumo de agua y en parte aporta a la reducción del impacto ambiental, económico y estético siendo más eficiente la optimización de los usos de aguas residuales.

En la Ciudad de México También Eduardo León (2008) llevo a cabo un mecanismo de limpieza para la reutilización de aguas jabonosas mediante el mecanismo natural de oxidación con oxígeno del aire y luz ultravioleta del sol, denominado oxidación aeróbica. Esta

investigación es relevante puesto que bases y guías para hacer un diseño más eficiente de reciclaje de las aguas generadas por la condensación de los aires acondicionados

### **2.2.2. Antecedentes nacionales.**

Dentro de los antecedentes nacionales se pudo establecer que en Medellín específicamente en la Universidad de Antioquia, la ingeniera Natalia Palacio (2010) desarrolló una propuesta para el aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Este es un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias el cual hace un aporte tanto ambiental como económico, pues si tenemos en cuenta la gran demanda de recursos hídricos, la contaminación de nuestras fuentes superficiales y los altos costos totales de agua potable, este sistema representaría una mejoría en la economía de la institución aunque represente una inversión inicial bastante alta.

Esta investigación resalta la importancia de la utilización de nuevos recursos y aprovechamiento del agua, el cual se refleja en la economía debido a que se reduce el consumo de agua potable aportando materia prima con la que antes no se contaba en el sistema, igual que en el sistema de aguas lluvia el costo de inversión inicial sería un poco considerable pero se sustenta con el tiempo.

Por otra parte, un grupo interdisciplinar del curso Seminario de Proyectos en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín en el 2016 desarrollo un sistema automático de reutilización de aguas. Debido a las altas cifras del desgaste hídrico se desarrolló un sistema que busca reutilizar las aguas grises mediante la filtración del agua en dentro de una maquinaria especializada, los resultados obtenidos es agua limpia (no potable) lista para distintos usos.



Este es un sistema compuesto por dos tanques que contienen una trampa de grasa y un filtro de cartucho, entonces el agua contaminada se lleva hasta la trampa de grasa, filtra las aguas enjabonadas o jabonosas, después pasa al filtro de cartucho que saca todas las impurezas, y luego es tratada con un poco de cloro para darle consistencia y pureza. Luego por una bomba solar eficiente en un 90% se lleva hasta la casa nuevamente. El agua mantendría el olor y el color.

Por su parte en la ciudad de Pereira un grupo de estudiantes de la Universidad tecnológica de Pereira desarrollaron en el 2014 la construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Esta idea nace de la realidad del desperdicio de agua potable, se observa y analiza estos aspectos y como alternativa y solución a esto mediante el uso de nuevas tecnologías, se propone la construir un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises, procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, diseñado y simulado en el proyecto realizado durante el ciclo de tecnología en mecatrónica, el cual sea completamente funcional (p.11).

Con las investigaciones presentadas se puede afirmar que la problemática de reutilización y ahorro de agua son en la actualidad un punto de partida para la investigación educativa, generando soluciones verdaderas y totalmente aplicables.

## **2.1. Marco teórico**

Para el marco teórico de esta investigación estará enfocado en definir en primera instancia los componentes y parámetros de la reutilización de aguas, también conocer las estrategias de minimización del consumo de aguas, además de conocer el proceso de acondicionamiento de aire y el sistema de refrigeración, y finalmente conocer los sistemas de reutilización de aguas grises con el uso de energía solar existentes.

### **2.2.1. Componentes y parámetros para la reutilización de aguas grises.**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció unos criterios sanitarios mínimos que permitan evitar los riesgos potenciales que pudieran derivarse de la reutilización de aguas residuales depuradas. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha utilizado estos criterios establecidos por la OMS para desarrollar una propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los distintos usos posibles.

El estado de California publicó en junio de 2001 el “Libro Morado” donde se recogen los criterios de calidad mínima exigida y los usos a que puede ser destinada el agua regenerada dentro del territorio estadounidense (California Health Laws, citado por Robles, 2013, p.13). Así pues, según los criterios físico-químicos y microbiológicos para la reutilización de agua residual depurada deberá cumplir para su posterior reutilización según el CEDEX y el estado de California.



|               |   |      |     |     |     |    |     |     |     |     |     |    |    |
|---------------|---|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Bacteriología | Bacterias Coliformes Totales (NMP/100 ml) | NF L | NFL | NFL | NFL | 23 | NFL | NFL | NFL | NFL | NFL | 23 | 22 |
|               | Nivel de tratamiento                      | A    | A   | C   | A   | B  | C   | C   | C   | A   | A   | B  | B  |

*Nota: Elaboración propia, adaptado de CEDEX, 1999 y California Health Law, 2001 citado por Robles, p 15-16.*

**Convenciones de la tabla:**

(\*) Clasificación de los usos:

1. Domiciliarios: riego de jardines privados, descargas de aparatos sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración de aire doméstico y lavado de vehículos.
  2. Servicios urbanos: riego de zonas verdes de acceso público (campos deportivos, campos de golf, parques públicos), limpieza de calles, sistemas contra incendios, fuentes.
  3. Riego de cultivos para consumo humano en crudo. Frutales regados por aspersión.
  4. Riego de pasto para consumo de animales productores de leche y carne.
  5. Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión.
  6. Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes, ensilados y semillas oleaginosas.
  7. Riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.
  8. Refrigeración industrial, excepto industria alimentaria.
  9. Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en las que está permitido el contacto del público con agua (excepto el baño).
  10. Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el contacto del público con el agua.
  11. Acuicultura (biomasa vegetal o animal). Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.
  12. Recarga de acuíferos por inyección directa.
- A = Tratamiento terciario con desinfección.
- B = Tratamiento secundario con desinfección.

C = Tratamiento secundario sin desinfección.

De este modo, el desarrollo actual en el campo de la tecnología de regeneración permite obtener efluentes de agua regenerada de diversas calidades, incluso hasta un nivel tan alto como la del agua potable, la finalidad es conseguir un producto que sea adecuado para ser empleado en diferentes tipos de reutilización (industrial, agrícola, recreativo, municipal, etc).

Con este tipo de tratamiento se puede cubrir muchas de las necesidades de las zonas donde se proyecte siempre una calidad final compatible con la necesaria para los usos previstos. Según Robles (2013), la implantación de un proyecto de regeneración de agua tiene dos requisitos esenciales y complementarios:

- “1) Definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua,
- 2) Establecer los procesos de tratamiento.” (p.5-6).

La elaboración y aprobación de estos dos aspectos técnicos de la regeneración de agua constituye generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente. Prueba de ello son la diversidad y la heterogeneidad de los criterios y las normas de calidad establecidas por diversos países y organizaciones internacionales sobre la reutilización del agua (USEPA, 2004; OMS, 1989, CEDEX 1999, R.D.2007 ESPAÑA, citado por Robles 2013, p.5).

La reutilización planificada del agua en general puede tener múltiples beneficios (Mujeriego, 2004, p.5), entre los que cabe destacar los siguientes:

- Una nueva fuente de suministro de agua, capaz de aportar recursos hídricos adicionales, que permiten liberar recursos de agua de mejor calidad y destinarlos a usos más exigentes, como el abastecimiento público.
- Una disminución de los costes de tratamiento y de vertido del agua depurada. La reutilización de un agua depurada ofrece una clara ventaja económica cuando los requisitos de calidad del tipo de reutilización considerada sean menos exigentes que los establecidos para el medio receptor en el que se ha de realizar el vertido.
- Una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua.
- Un aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, especialmente cuando el agua regenerada se utiliza para riego agrícola y de jardinería.
- Una mayor garantía de suministro.

#### ***2.2.1.1. Uso sanitario de las aguas grises.***

La mayoría de las aguas grises son más fáciles de tratar y reciclar que las aguas negras debido a los bajos niveles de contaminantes. En general, las aguas grises pueden contener partículas de alimentos, aceite, grasa, fibras de tela, pelo, agentes patógenos, jabones, detergentes, champús, dentífricos, cremas de afeitar, detergentes, aceites corporales, cosméticos, restos de arena y otros productos químicos; además pueden contener diferentes metales y sustancias peligrosas. Las aguas grises también contienen materiales disueltos, siendo la sal más habitual el cloruro sódico.

El aprovechamiento de aguas pluviales o el uso de aguas residuales regeneradas son fuentes complementarias de recurso, estas deben cumplir con cuatro criterios básicos para su

reciclaje: seguridad higiénico-sanitaria, bondad estética, tolerancia ambiental y viabilidad económica (Nolde, citado por López, s.f., p275). Según Franco (2007), existen diversos usos que se le pueden dar a estas aguas, entre los más comunes están:

“El uso urbano: donde las aguas puede ser reutilizadas en edificios para inodoros, riego de jardines privados, lavado doméstico de vehículos, limpieza de suelos y lavadoras especialmente diseñadas para operar con agua gris reciclada. El uso minero: donde el agua puede ser usada para el lavado y procesos metalúrgico y riego de caminos” (p. 22-23).

Según Kestler (citando a Salgot, 2004, p. 26-28), la reutilización directa de aguas residuales depuradas ha estado desarrollada en aquellos países con elevada capacidad tecnológica, escasez de agua y un nivel económico alto, es decir principalmente en dos lugares, California (EUA) e Israel. Pero ultimamente, en América Latina se está detectando un interés creciente por este recurso.

Las reutilizaciones más importantes son las que, por diferentes motivos consisten en la aplicación de agua residual depurada al suelo. La reutilización donde predominan criterios de riego, es decir, aquella en la cual el uso del agua se efectúa en función del agua residual depurada como agua de riego. El agua residual depurada tiene diferentes aplicaciones de reutilización dependiendo del tipo de clasificación.

Según la autora (citando a Salgot, 2004), existen más usos para las aguas grises de los descritos anteriormente, a estos se suman:

“Usos recreativos: en el riego de campos de golf y pesca, remo/ navegación, creación de estanques, creación de zonas húmedas, mejora de paisajes, zonas húmedas para tratamientos, recuperación/ mantenimiento de zonas húmedas e implantación/ cambios de vegetación.



Reutilizaciones industriales: se usa en para limpieza/ lavado, enfriamientos, obras públicas, calderas, para refrigeración, control del polvo y compactación de suelos” (p.26-28).

### ***2.2.1.2. Procesos de filtrado.***

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años.

El establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales es importantes para proteger la salud pública y el medio ambiente, y uno de los pasos más importantes para llevar a cabo a este tratamiento físicos, químicos y biológico del agua es el proceso de filtrado. Entre los métodos más comunes está la filtración convencional.

Según el Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME) (2006) de la Universidad de Alcalá, España, a la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico) (p.17).

En la Figura 2 se señalan cinco sistemas de tratamiento de lodos (biológicos y fisicoquímicos) los cuales deben ser integrados con los sistemas de tratamiento de agua residual dentro de lo que se denomina el tren integral de tratamiento de aguas residuales (tratamiento de agua y lodos). Los procesos convencionales de filtración están precedidos por coagulación, floculación y sedimentación. Sin embargo, puede ser que el agua se someta a filtración

directamente después de la coagulación y floculación y que los flóculos sean removidos directamente por los filtros.

Figura 2.



*Nota. Proceso físico-biológico y físico-químico del tratamiento de agua. Elaboración propia.*

Según Leal (s.f., p.63-70), entre otros procesos de filtrado están los Filtros de arena que consisten de camas de arena fina de un metro de grosor sobre una cama de grava de 30 cm de altura y un sistema de drenado quienes atrapan y destruyen algas, bacterias y materia orgánica, incluso antes de que el agua llegue a los filtros propiamente dichos. También está la Ósmosis inversa o hiperfiltración, la cual se basa en el uso de una membrana semipermeable que permite el paso de agua, mas no de iones disueltos.

Por otra parte está la Desinfección con el uso de químicos, y también la Cloración que se efectúa con cloro gas o una sustancia que libere este gas, una vez que se encuentra en el agua. También se usa la Luz ultravioleta con una lámpara especial la cual penetra el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse, destruyendo virus y bacterias. Por ultimo están los Filtros de carbón activado que son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. Este es el que será usado para el diseño del sistema.

#### 2.2.1.2.1. *Filtros de carbón activado.*

Los filtros de carbón activado son usados en el proceso de filtrado llamado Adsorción que consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido, es decir el carbón activado. Estos filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. Según Leal:

El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo. Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello (p.65-66).

Según el CITME (2006), hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizadas en diferentes aplicaciones:

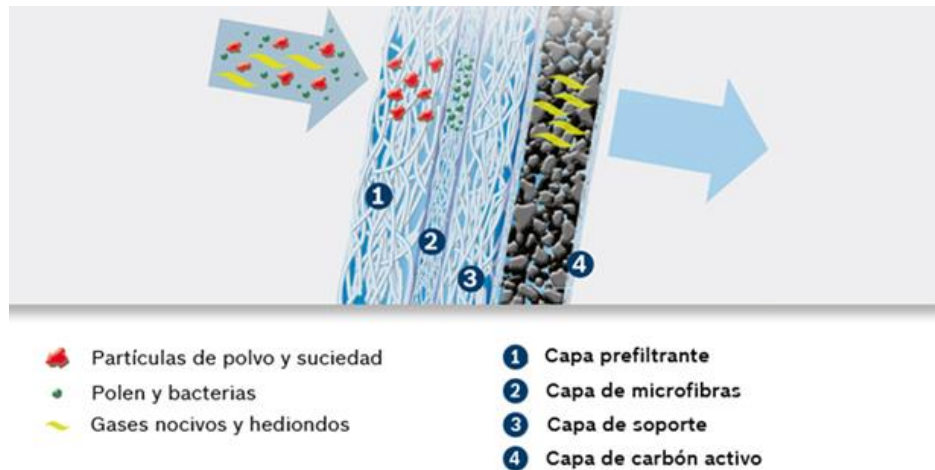
- **Carbón activado granular (GAC).** Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.
- **Carbón activo en polvo (CAP).** Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos.

También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo (p.27).

La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir.

El proceso para activar el carbón es: el carbono activado en el filtro ha sido cargado con electricidad que le permitirá atraer compuestos que contienen átomos de carbono, también conocidos como compuestos orgánicos. Este carbono cargado atrae sólo a los compuestos orgánicos u otros contaminantes cargados y los mantiene en el filtro cuando el agua pasa a través del mismo. Al no permitir que los contaminantes pasen con el agua, se quedarán en el filtro hasta que lo tires e instales uno nuevo (Aguasistec, 2017, p.2).

Figura 3.



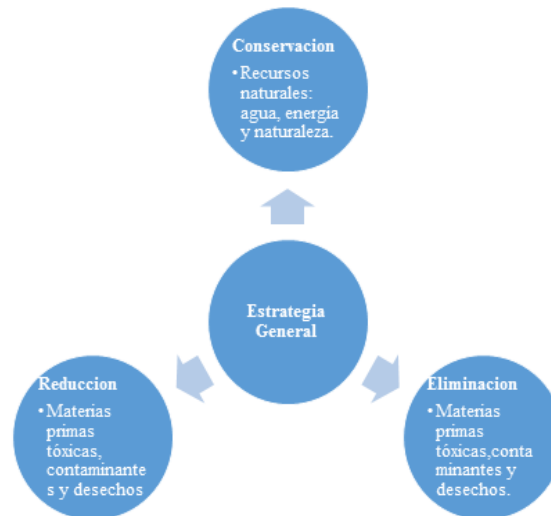
*Nota. Proceso del carbón activado. Adaptado de [http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts\\_and\\_accessories/service\\_parts\\_1/filters\\_1/standard\\_cabin\\_filters/standard\\_cabin\\_filters\\_1.html](http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/service_parts_1/filters_1/standard_cabin_filters/standard_cabin_filters_1.html)*

### **2.2.1.3. Estrategias para minimizar el consumo de aguas.**

Para prever la reducción de futuros consumos de agua en 1989 la Oficina de Industria y Medio Ambiente del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), introdujo el concepto de Producción Más Limpia (PML), definida como la aplicación continua de estrategias ambientales preventivas, integradas y aplicadas a procesos y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente (Montaño, 2006, p.6).

Es decir, esta estrategia se enfoca en la conservación de recursos como el agua y la energía. Respecto al agua se pretende en primera instancia una cultura del ahorro del agua, y por otra parte con el proceso de tratamiento y reutilización de aguas eliminar las materias tóxicas, y reducir la cantidad de toxinas presentes. Con la PML se abordan estrategias flexibles de prevención, incorporando las preocupaciones ambientales en el diseño y suministro de los servicios.

Figura 4.



*Nota. Estrategia general PML Elaboración propia.*

Otra de las estrategias usadas para la minimización del uso del agua es el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA) desarrollado en la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP) de la ciudad de Barranquilla, con el fin de proponer soluciones y alternativas a consumos excesivos y desperdicios de agua garantizando así la disponibilidad del recurso hídrico, el ahorro de agua y disminución de costos por el recurso, mejoría del sistema hidrosanitario mediante la implementación de tecnologías ahorradoras, desarrollo de conciencia medioambiental, todo esto bajo la implementación de un programa ambiental.

Las metodologías del programa se basan en los lineamientos dados por la Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua (2002) expedida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Entre las metodologías están:

- “Formular Políticas de Participación ESAP: con el fin de formular bienes y lineamientos para la conformación de un comité de participación de ahorro y uso eficiente de agua,

conformando un comité de participación en la ESAP para ejercer control y vigilancia de las alternativas, designando un coordinador para el programa y formulando los lineamientos de ejecución.

- *Formular políticas de sensibilización:* Consiste en buscar sensibilización en la comunidad en cuanto al ahorro de agua a través de capacitación.
- *Educación y comunicación:* Esta es diseñada con el fin de potenciar el desarrollo de la cultura de sensibilización y cultura ambiental enfocada hacia el uso eficiente y ahorro del recurso hídrico. Esto incluye la implementación de nuevos hábitos con respecto al consumo de agua garantizando por ende la sostenibilidad en su consumo, a través del desarrollo de una cartilla de educación ambiental, con capacitaciones dentro de la escuela y haciendo uso de campañas publicitarias.
- *Reconversión a sistemas ahorradores:* Se busca proponer la reconversión de sistemas hidráulicos de abastecimiento de agua a un sistema ahorrador, orinales sin agua.
- *Control de consumo:* Formulando estrategias de disminución de consumo de agua y costos asociado, garantizar el cumplimiento de las políticas de cero aguas.” (pp. 22 a 24).

De este modo, con este tipo de estrategias sobre el uso eficiente y ahorro de agua las personas se pueden enfocar y esforzarse en crear una cultura de sensibilización ambiental necesaria para cambiar los hábitos actuales de consumo de agua.

### **2.2.2. Acondicionamiento de aire y refrigeración.**

El acondicionamiento del aire consiste en regular las condiciones del aire en cuanto a temperatura (calefacción o refrigeración), humedad y limpieza. La refrigeración y el acondicionamiento de aire constituyen un sistema ampliamente utilizado en las distintas aplicaciones industriales y domésticas, en este proceso, se involucran equipos que demandan altos consumos energéticos y materiales con un alto riesgo ambiental (Trujillo, s.f., p.1).

En el proceso de acondicionamiento de aire, el sistema de refrigeración se encarga de mantener la temperatura del refrigerante para que cumpla con el objetivo de retirar el calor del aire y lograr la temperatura de condensación deseada.

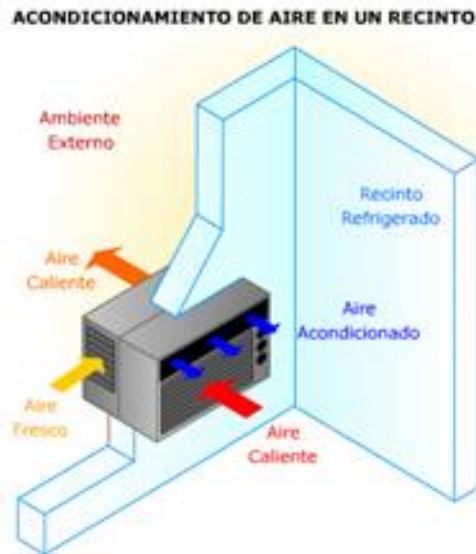
El acondicionador de aire o clima toma aire del interior de una recámara pasando por tubos que están a baja temperatura estos están enfriados por medio de un líquido que a su vez se enfría por medio del condensador, parte del aire se devuelve a una temperatura menor y parte sale expulsada por el panel trasero del aparato, el termómetro está en el panel frontal para que cuando pase el aire calcule la temperatura a la que está el ambiente dentro de la recámara, y así regulando que tan frío y que tanto debe trabajar el compresor y el condensador (PROCARSA, 2004, p.2).

El sistema consta de un evaporador, un compresor, una válvula de expansión y un condensador. El compresor se encarga de incrementar la temperatura del refrigerante que ha salido del evaporador mediante un incremento de la presión del fluido, mientras que el condensador expulsa el calor a los alrededores. El condensador y la válvula no consumen energía, mientras que el compresor si lo hace. Un balance de energía permite calcular la potencia del compresor y, con la eficiencia del mismo se determina la potencia eléctrica que requiere (MacGill y Watt, 2016, p.245).

Estos sistemas de refrigeración consisten en ciclos termodinámicos, mediante los cuales es posible tomar un flujo de calor de una fuente de baja temperatura y trabajo u otra fuente de energía para transmitir calor a un sumidero de mayor temperatura. Según Trujillo (s.f.), el ciclo termodinámico se realiza utilizando una sustancia de trabajo que se denomina refrigerante, la cual cambia de estado durante el ciclo, permitiendo la transferencia de calor mencionada (p.2).



Figura 5.



*Nota. Adaptado de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/6/inicio.html>, consultado en septiembre de 2017.*

El acondicionamiento del aire es el proceso de tratamiento necesario para mantener las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa, movimiento y limpieza del aire de un lugar en los valores deseados para garantizar el confort o el grado de higiene requerido

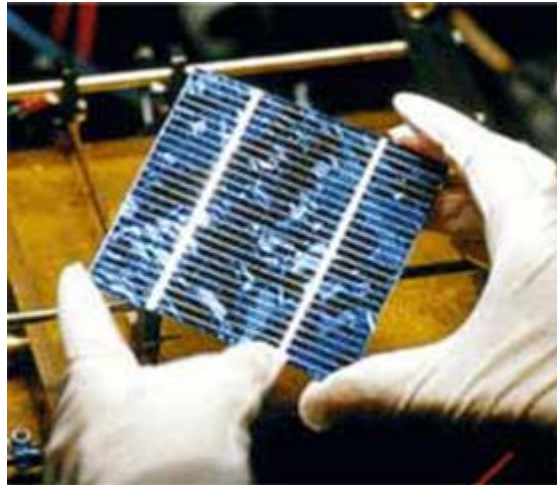
### **2.2.3. Energía solar y paneles fotovoltaicos.**

El sol como fuente de energía renovable no convencional, disponible, gratuita y en cantidad superior a las necesidades energéticas de la población mundial, es considerado como una alternativa ante los problemas de calentamiento global, La generación fotovoltaica es un recurso que además de ser limpio es inagotable (Acevedo, 2017, p.13).

La energía solar, se asocia con un enorme flujo de radiaciones emitido por el sol y capturado por el planeta, esta gran radiación fuente de energía se transforma mediante la célula

fotovoltaica, un dispositivo formado por una delgada placa de material semiconductor, a menudo silicio, correctamente tratada mediante procesos químicos.

Figura 6.



*Nota.. Recuperado de [http://www.enerpoint.es/photovoltaic\\_technology\\_2.php](http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_2.php) , consultado en septiembre de 2017.*

Así pues, las células fotovoltaicas se ensamblan de una manera estructural formando el módulo fotovoltaico, conectado eléctricamente en serie, las células se ensamblan entre un estrato de cristal y una estrato inferior de material plástico (Tedlar).

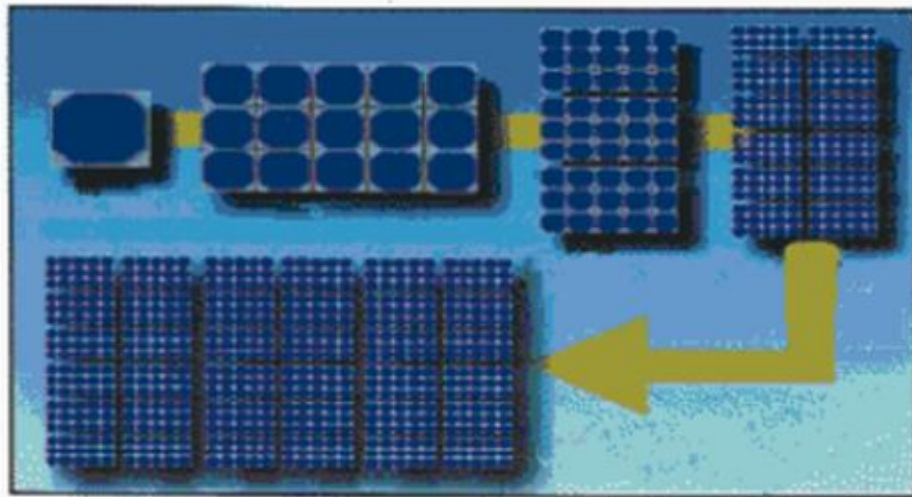
Figura 7.



*Nota. Adaptado de Instituto Tecnológico y de Energías. Energía solar fotovoltaica. Recuperado de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf), consultado en septiembre de 2017.*

A continuación, más módulos fotovoltaicos son ensamblados mecánicamente entre ellos formando un panel para obtener la potencia deseada, estos constituyen el Generador fotovoltaico

Figura 8.



*Nota. Adaptado de: Instituto Tecnológico y de Energías. Energía solar fotovoltaica. Recuperado de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf), consultado en septiembre de 2017.*

Los paneles fotovoltaicos son los encargados de suministrar la potencia eléctrica necesaria por los sistemas de refrigeración e iluminación (Wirth, 2013, p.135). La energía proviene de la incidencia de la radiación solar directa sobre la superficie de los paneles. Ésta energía se origina a partir del efecto fotoeléctrico, donde un material semiconductor absorbe fotones de luz y libera electrones, generando así una corriente eléctrica DC (MacGill y Watt, 2015, p.225).

Un sistema eléctrico solar se compone de varias células solares fotovoltaicas. Una célula fotovoltaica por lo general produce alrededor de 1-2 W de potencia. Para aumentar su potencia, las células fotovoltaicas se conectan para formar unidades más grandes llamadas módulos. Los módulos, a su vez, se pueden conectar para formar unidades más grandes que pueden ser interconectadas para producir más energía.

Un sistema de energía solar fotovoltaica básico consiste en: módulos fotovoltaicos solares, conexiones eléctricas apropiadas y sistemas de protección, un inversor de corriente DC a AC, y un conjunto de baterías o acumuladores (Plante, 2014, p.75). Para el dimensionamiento del sistema se parte de la potencia eléctrica requerida, con la que calcula la energía, en kWh, que se consume en un día. A esta energía se le conoce como demanda diaria promedio, la cual se divide entre el número de horas de pico solar para obtener la potencia del sistema.

Esta potencia es incrementada empleando un factor que cuantifica el valor de la potencia más el valor de las pérdidas. Con éste resultado se calcula el número de paneles requeridos, así como las conexiones y el número de acumuladores (p.80). De esta manera es posible determinar, para un requerimiento energético en los subsistemas de iluminación y refrigeración, el requerimiento en el subsistema de alimentación mediante paneles fotovoltaicos.

La energía que es posible utilizar depende de las características del material que constituye la célula: la eficiencia de conversión (porcentaje de energía contenida en las radiaciones solares que es transformada en energía eléctrica disponible a los bornes) de las células al silicio disponibles en el mercado normalmente está comprendido entre el 13% y el 17%, mientras que especiales productos de laboratorio han alcanzado el 32,5% (E.point, s.f., p.1).

#### **2.2.4. Reutilización de aguas grises con el uso de energía solar.**

Según Kestler (2004) la idea de la reutilización convierte el gasto en Tratamientos en una inversión productiva, pues en lugar de desechar el agua Residual, es posible retornar al proceso productivo una fracción del agua residual tratada para que sea acondicionada apropiadamente para su reutilización. Este hecho tiene un efecto benéfico desde el punto de vista del consumo de agua potable. Al reusar agua residual tratada, las necesidades de entrada al proceso disminuyen y, por lo tanto, también la cantidad descargada.

Aunque es necesario encontrar la tecnología apropiada que alcance el nivel de eficiencia requerido, es posible, en la mayoría de los casos, encontrar esquemas de tratamiento orientados al reúso que sean rentables, en los cuales se logren ahorros considerables por un menor consumo de agua fresca. Es decir, la reutilización y tratamiento de aguas grises producto de la condensación de aires acondicionados convierte esto en una inversión positiva y productiva debido a que se va a experimentar un efecto benéfico desde el punto de vista de consumo, permitiendo reducir la necesidad volumétrica de agua potable desencadenando con esto una cadena de ahorros derivados de estos hechos considerando los factores económico-ambientales.

En la Universidad de México (Olivares, 2015, p.1) se ha desarrollado una planta de energía solar para tratar agua, mediante el uso de reactores fotoquímicos y fotocatalizadores (óxidos y sulfuros) se pretende acabar con los contaminantes, generando especies químicas llamadas radicales hidroxilo, que oxidan el material orgánico para limpiar el líquido residual y el potable. Pues se ha demostrado que en el agua, incluso en la potable, hay materiales orgánicos como triclosán (presente en algunos desinfectantes de manos, pastas dentales y champús), resorcinol, edulcorantes y fármacos, como naproxeno e ibuprofeno, que pueden perjudicar la salud de los seres vivos.

En este proceso, a través del cual la energía ultravioleta activa el fotocatalizador, que –a su vez– generan especies químicas altamente reactivas llamadas radicales hidroxilo; éstos oxidan los contaminantes orgánicos y así se limpia el agua residual, como la potable.

Morales Mejía (2015) explicó que:

“Básicamente trabajan con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como fotocatalizador, semiconductor activado con fotones ultravioleta, que pueden provenir de la radiación solar. Entre las ventajas están su alta estabilidad química, el bajo costo y la aceptable inocuidad para los seres vivos, en especial si se utiliza como partículas micrométricas o como películas depositadas sobre materiales que pueden ser tezontle, esferas de vidrio, tubos y vidrios planos, entre otros.”(p.1)

Además explica que la descontaminación del agua mediante radiación solar podría ser aplicable de forma casera, en el ámbito industrial o en el comercial. Así se mejoraría la calidad del líquido, pues se eliminarían remanentes diluidos y contaminantes que muchas veces escapan a la potabilización.

### **2.3. Marco legal**

Para el marco normativo de esta investigación se partirá desde la Resolución 2115 de 2007, la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1500 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2000 hasta la Resolución 1207 de 2014

Sobre la Resolución 2115 de 2007 por la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. En esta resolución se expone que el tratamiento o potabilización es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

Respecto a la NTC 1500 sobre el Código Colombiano de Fontanería la cual tiene como objeto establecer los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de abastecimiento de agua potable, sistemas de desagüe de aguas negras y lluvias y aparatos y equipos necesarios para el funcionamiento de estos sistemas-

Por su parte el RAS 2000 el cual tiene como objetivo el desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

En la Resolución 1207 de 2014 promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se presentan las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Esta Resolución en su artículo 2 define de manera específica de los tipos de aguas residuales, entre las que están:

- *Aguas residuales*: son aquellas que han sido sometidas a operaciones o proceso unitario de tratamiento que permita cumplir con los criterios de calidad requerido para su rehusó
- *Criterio de calidad*: es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles, que se establecen para su uso definido.
- *Punto de entrega de las aguas residuales*: lugar donde el usuario generador entrega al usuario receptor las aguas residuales tratadas.
- *Rehusó*. es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va destinar.
- *Usuario generador de agua residual tratada*. Es la persona natural que o jurídica que genera las aguas residuales.

En el artículo 3. Del rehusó: cuando el usuario receptor es el mismo usuario generador, se requerirá efectuar las modificaciones de la concesión de aguas, de la licencia ambiental o del plan de manejo ambiental cuando estos instrumentos incluyan la concesión de aguas. En su artículo 6°, parágrafo 1° se expresa que “Cuando el agua residual tratada se utilice en la descarga de aparatos sanitarios, las aguas residuales resultantes deberán someterse a tratamiento como agua residual no doméstica.”



## Capítulo 3

### Marco metodológico

#### 3.1. Diseño metodológico

La investigación se planteó en tres etapas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos por la misma, con estas se podrá caracterizar la fuente hídrica y teniendo en cuenta sus características se diseñará el sistema para finalmente hacer un análisis de la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua. Las etapas son las siguientes:

##### 3.1.1. Etapa 1. Caracterización de la fuente hídrica.

En esta fase tiene lugar el estudio de las condiciones en las que se encuentra el agua que se condensa en los evaporadores de los aires acondicionados, así como el caudal promedio que se produce durante un día todo esto con el fin de dimensionar el sistema. Durante se busca hacer:

- Toma de muestras.
- Cálculo de distribución de los caudales diarios.
- Caracterización físico química y microbiológica del agua de condensación.

##### 3.1.2. Etapa 2. Diseño del sistema.

A esta fase corresponde el diseño a nivel conceptual del sistema de pretratamiento, almacenamiento, tratamiento y distribución del recurso hídrico. Se incluye además el diseño de los subsistemas y la selección de componentes específicos de cada uno, así como su dimensionamiento, la integración de los mismos, dimensionamiento detallado de los

componentes, utilizando software especializado como AutoCAD o Solidworks. Para ellos se siguieron las siguientes actividades:

- Definición de especificaciones objetivo del sistema.
- Generación y evaluación de alternativas de configuración de componentes dentro del sistema.
- Selección de la alternativa de configuración más adecuada.
- Selección de los equipos, tuberías y accesorios.
- Dimensionamiento del subsistema de alimentación energética con paneles fotovoltaicos.
- Dimensionamiento de los equipos en una Hoja de Cálculo, haciendo énfasis en la maximización del desempeño y la minimización del consumo energético.
- Dimensionamiento de la tubería en una Hoja de Cálculo, haciendo énfasis en la minimización del consumo energético.
- Elaboración de planos de montaje.
- Elaboración de listado de materiales y equipos.

### **3.1.3. Etapa 3. Análisis económico del sistema.**

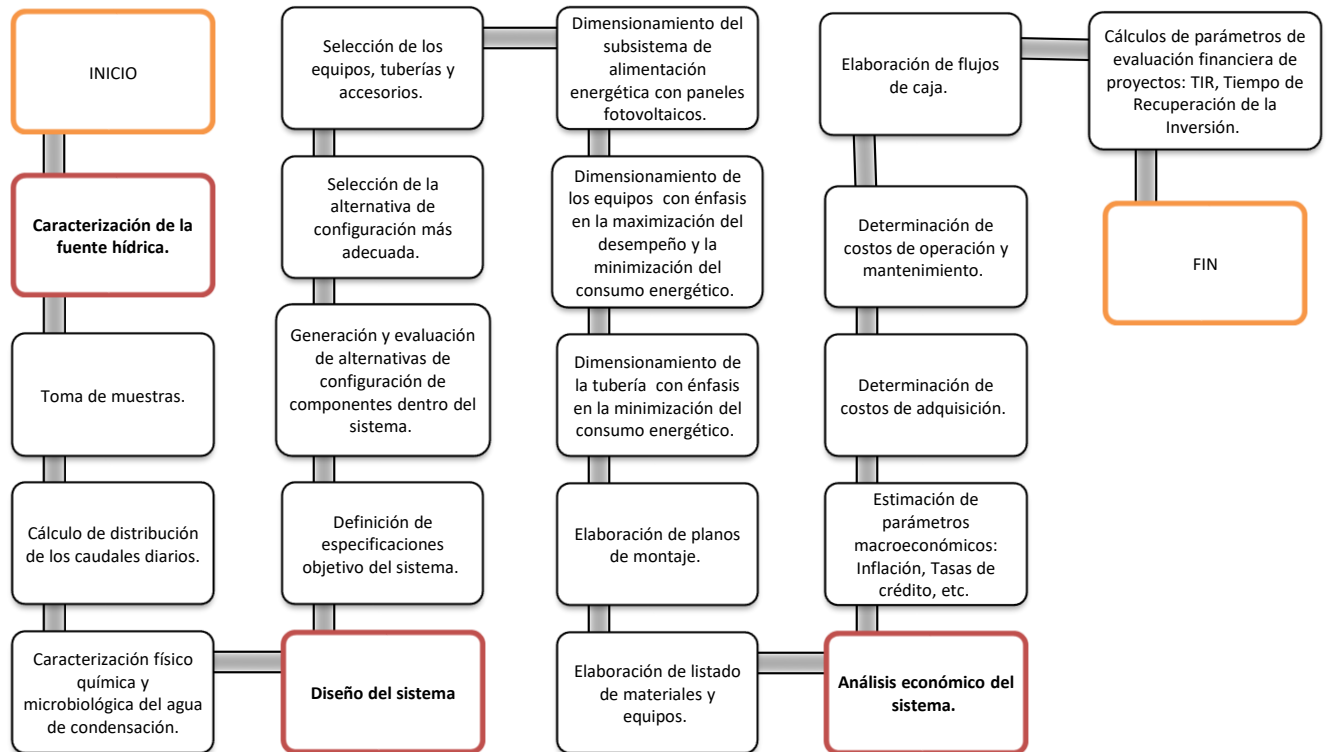
En esta etapa se busca determinar la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua mediante el cálculo de parámetros financieros como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión. Para ello se proponen las siguientes actividades:

- Estimación de parámetros macroeconómicos: Inflación, Tasas de crédito, etc.
- Determinación de costos de adquisición.
- Determinación de costos de operación y mantenimiento.

- Elaboración de flujos de caja.
- Cálculos de parámetros de evaluación financiera de proyectos: TIR, Tiempo de Recuperación de la Inversión.

En la siguiente figura se puede observar la ruta metodológica a seguir:

Figura 9.



Nota. Eelaboración propia 2017.

## Capítulo 4

### Caracterización de la fuente hídrica

En este capítulo se expondrán los resultados sobre la caracterización físico químico y microbiológico de la fuente hídrica ubicada en el bloque 10 de la CUC. En esta fase se expondrán las condiciones iniciales en las que se encuentra el agua que se condensa en los evaporadores de los aires acondicionados del bloque, así como el caudal que producen el conjunto de aires acondicionados en sus jornadas de trabajo diarias, como mediadas primarias para el diseño del sistema. Las etapas fueron las siguientes:

#### 4.1. Toma de las muestras

En esta primera etapa se localizó una posible fuente hídrica dentro de las instalaciones CUC, una vez localizada se procedió a la toma de un gran número de muestras para la determinación de los caudales diarios producidos por la fuente y la calidad del agua que es producida por esta fuente. La toma de muestras se dividió en dos tipos:

##### 4.1.1. Toma de muestra para determinación de caudales

Con el fin de determinar el caudal de abastecimiento para los tanques recolectores se hizo un muestreo del caudal que circula por las tuberías de desagüe de los aires acondicionados del bloque 10. Para ello se tomó una muestra de 100 ml de agua en una probeta graduada y se registró el tiempo en el que se llenó este volumen de agua. Este procedimiento se repitió durante varias veces en el día entre las 7:00 a.m. y las 9:00 p.m. El periodo de tiempo para la toma de los datos de caudal fue de una semana típica del semestre académico 2016-II comprendida entre el 26 y el 30 Septiembre de 2016 (ver Anexo 1).

## 4.2. Distribución de caudales diarios

Después de haber realizado el seguimiento día a día con la obtención de volúmenes y tiempos se procedió a calcular el caudal diario y se determinó con la fórmula 4.1

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Formula 4.1}$$

Dónde:

Q = Caudal.

V= volumen

t= tiempo.

### 4.2.1. Determinación estadística del caudal de diseño

Una vez se completó la toma de datos, se procedió a procesar estadísticamente los datos empleando el software de procesamiento estadístico STATGRAPHICS®. Mediante la función *Análisis de una variable* del menú *Descripción* se llevó a cabo el cálculo de los parámetros estadísticos que describen el conjunto de datos y se hizo la prueba de normalidad de los mismos empleando un método gráfico y una prueba de bondad y ajuste con ayuda del software.

La Tabla 2 muestra los estadísticos de resumen para los datos de caudales del bloque 10, donde se incluyen medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés es el sesgo estandarizado, el cual puede utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de este estadístico fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal.

Tabla 2.

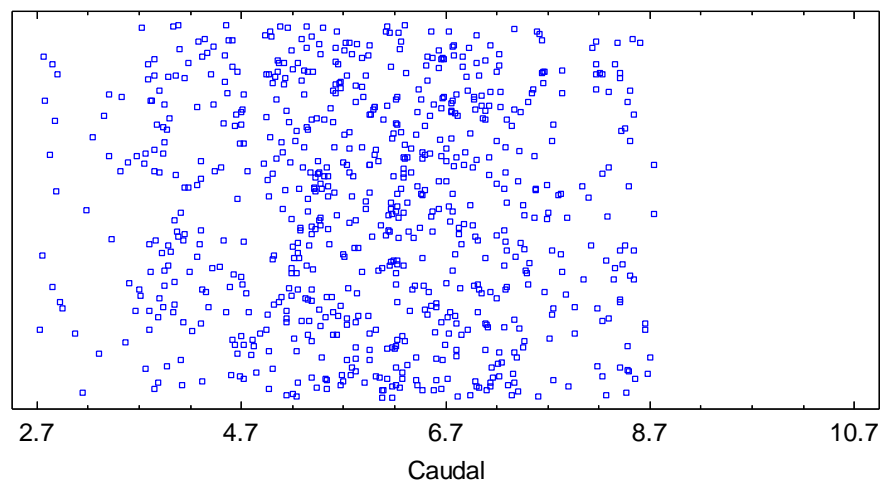
*Resumen Estadístico para los datos de caudales del bloque 10.*

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Recuento                  | 749      |
| Promedio                  | 5.97374  |
| Desviación Estándar       | 1.33863  |
| Coefficiente de Variación | 22.4086% |
| Mínimo                    | 2.72257  |
| Máximo                    | 8.73362  |
| Rango                     | 6.01105  |
| Sesgo Estandarizado       | -1.18405 |

*Nota: elaboración propia.*

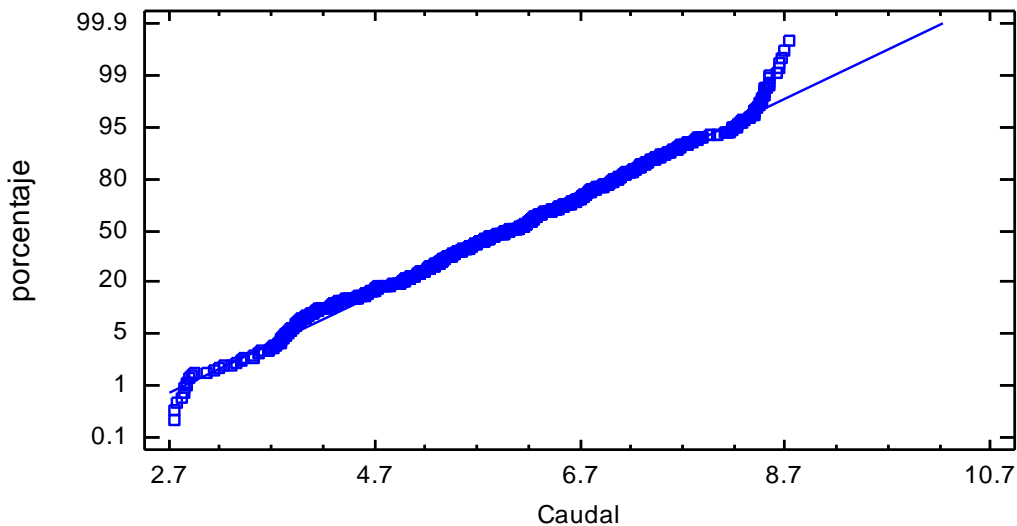
La Figura 10 muestra la dispersión de los caudales del bloque 10, indicando un comportamiento totalmente aleatorio de los datos y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.11** muestra el gráfico de probabilidad normal, de acuerdo a esta gráfica no existe evidencia estadística de que los datos no se ajusten a una distribución normal.

Figura 10.



*Nota: Elaboración propia con datos de STATGRAPHICS®.*

Figura 11.



*Nota: Elaboración propia con datos de STATGRAPHICS ®.*

#### 4.2.2. Intervalos de Confianza para Caudal

La Tabla 3 muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de los caudales del bloque 10. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza que la media verdadera de Caudal se encuentra en algún lugar entre 5.87787 y 6.06961 unidades de caudal en ml/s, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 1.2741 y 1.41009.

Tabla 3.

*Intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de los caudales del bloque 10.*

| Variable estadística | Valor inferior | Valor superior |
|----------------------|----------------|----------------|
| Media                | 5.87787        | 6.06961        |
| Desviación estándar  | 1.2741         | 1.41009        |

*Nota: elaboración propia 2017.*

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

#### 4.2.3. Prueba de hipótesis para el caudal

La Tabla 4 muestra los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de los caudales. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de los caudales sea igual a 6.0 ml/s versus la hipótesis alterna de que no sea igual a 6.0 ml/s. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 4.

*Prueba de hipótesis para la media de los caudales del bloque 10.*

|                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| Tipo de estadístico utilizado: | Prueba t                     |
| Hipótesis nula:                | Caudal igual a 6.0 ml/s      |
| Hipótesis alternativa:         | Caudal diferente de 6.0 ml/s |
| Estadístico t                  | -0.536878                    |
| Valor P                        | 0.591349                     |
| Nivel de significancia:        | 5%                           |

*Nota: elaboración propia.*



#### **4.2.4. Toma de muestra para análisis físico químico**

El muestreo se realizó con el fin de demostrar que las condiciones iniciales del agua cumplen con las condiciones mínimas requeridas por las autoridades ambientales colombianas, para esto es necesario tomar una parte representativa de la totalidad del agua producto de la condensación para la cual se analizan las variables fisicoquímicas y características microbiológicas de interés. La cantidad de agua captada se transportó en 2 recipientes esterilizados para no alterar la muestra hasta el laboratorio, allí se almacenó (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.) para luego ser analizada, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original.

#### **4.3. Caracterización físico química y microbiológica**

Para tener conocimiento del estado inicial del agua producida por la fuente de abastecimiento se realizaron los muestreos respectivos, los cuales fueron llevados al laboratorio para realizar las prácticas sobre los parámetros físicos y químicos del agua, tanto los cualitativos como los cuantitativos. Dentro de estos se pudo apreciar: Color, olor, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza y conductividad.

Para llevar a cabo las prácticas se necesitó equipos de laboratorios tales como Turbidímetro, colorímetro y Conductímetro. Dentro de los resultados comparativos el olor se percibió como inodora o falta del olor a cloro u otros aromas característicos y un promedio de color aparente 5 UPC. Según la comparación de la norma 2115 de 2007 (ver Anexo 3), tanto la conductividad como su turbiedad como otros parámetros están dentro de la cantidad permisible el cual podemos evidenciar en las siguientes tablas.

Tabla 5.

*Caracterización físico química y microbiológica*

| # | OLOR<br>FRIO | OLOR<br>CALIENTE | COLOR |
|---|--------------|------------------|-------|
| 1 | SIN OLOR     | SIN OLOR         | 5 UPC |
| 2 | SIN OLOR     | SIN OLOR         | 4 UPC |
| 3 | SIN OLOR     | SIN OLOR         | 6 UPC |

*Nota: elaboración propia.*

La tabla anterior nos muestra que dentro de las propiedades organolépticas que tiene el agua se puede evidenciar que es un agua carente de olores característicos como el cloro. Por otro lado, el color del agua por inspección visual es transparente lo cual va acorde con el estudio que se hizo ya que arrojó un promedio total de 5 UPC que está dentro de los parámetros establecidos por la resolución 2115 del año 2007. Además de las pruebas organolépticas se obtuvo la siguiente información del análisis físico del agua (ver Tabla 6).

Tabla 6.

*Calidad de la muestra.*

| PARAMETRO        | LECTURA   |           | UNIDAD |
|------------------|-----------|-----------|--------|
|                  | Muestra1º | Muestra2º |        |
| Conductividad    | 68.3      | 61.1      | US/CM  |
| Turbiedad        | 0.54      | 0.54      | NTU    |
| PH               | 7.38      | 7.13      |        |
| Solid. sus Total | 57.8      | 57.8      | mg/L   |
| Alcalinidad      | 0.5       | 0.5       | MI     |
| Oxigeno dis.     | 4.42      | 3.67      |        |
| Salinidad        | 0         | 0         |        |
| Color            | 5         | 5         | UPC    |

*Nota: Elaboración propia.*

En base a la norma establecida en Colombia se determinó la calidad de la muestra de agua producto de la condensación tomada del bloque 10 de la CUC. Teniendo en cuenta los valores ya obtenidos en laboratorio y comparándolos con los establecidos por la resolución 2115 de 2007, el cual establece que las unidades permisibles para la conductividad del agua es de 50-1000 US/CM, y según lo evaluado en el laboratorio, tanto la conductividad como la turbiedad de esta muestra está dentro de los parámetros establecidos por la norma para el agua potable. Esto refleja que no carece de sales nutritivas en el cuerpo de agua además de poseer bajos niveles de turbiedad de los cuales solo se permiten 2 unidades UNT para el agua potable, reafirmando así que nuestra agua es de tonalidad cristalina.

## Capítulo 5

### Diseño del sistema de recolección, tratamiento y distribución de agua

En este capítulo se abordará la elaboración de un sistema para la recolección, tratamiento y distribución de aguas grises, de esta manera es importante determinar los componentes básicos en los siguientes procesos al interior del mismo, entre los que están:

- a) Recolección y conducción.
- b) Almacenamiento.
- c) Tratamiento.
- d) Transporte y alimentación energética.

#### 5.1. Definición de los componentes del sistema

##### 5.1.1. Recolección y Conducción.

Para el proceso de recolección del agua de condensación, el sistema parte de las tuberías de desagüe de los evaporadores de los aires acondicionados situadas en la parte posterior del bloque 10 de la CUC. En este sentido, se propone adicionar un nuevo trazado de tubería en PVC con el objetivo transportar el agua de condensación hasta un tanque de almacenamiento, de tal manera que no haya necesidad de usar una bomba para su transporte. En la Figura 12 se observa el actual sistema de red de tubería de PVC existente en el bloque 10 de la CUC.

Figura 12.



*Nota. Sistema de red de tubería de PVC existente en el bloque 10 de la CUC. Elaboración propia.*

### **5.1.2. Almacenamiento.**

Este es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua condensada por los aires acondicionados. Esta unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Debe ser impermeable para evitar la pérdida de agua por filtración, por goteo o por transpiración.
- De no más de 1 metro de altura para minimizar las sobre-presiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, material granular e insectos.
- Poseer un sistema de fácil lavado para que permita la limpieza y reparaciones

necesarias.

Además, los tipos de tanques de almacenamiento para aguas, pueden ser construidos con los siguientes materiales: Acero inoxidable, Polipropileno (ver Figura 13) y Concreto.

Figura 13.



*Nota. Tanque de almacenamiento de polipropileno. Elaboración propia.*

El tanque de almacenamiento debe contar con una válvula de flotador (ver Figura 14) que permita su llenado, cuando este alcance el nivel deseado la válvula impedirá el paso del agua cuando el tanque este en el nivel deseado. Adicionalmente debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer su respectivo mantenimiento.

Figura 14.



*Nota. Válvula flotadora. Nota: Google imágenes.*

### **5.1.3. Tratamiento.**

Esta es la etapa donde toda el agua captada y almacenada es impulsada mediante una bomba pedrollo PK-60, a un sistema donde será tratada el cual se encarga de limpiar y retirar los sedimentos que el agua posee. Para la selección del sistema de tratamiento se tuvo en cuenta tres tipos de mecanismo los cuales eran encargados de tratar este tipo de fluidos aunque la diferencia estaba en sus técnicas.

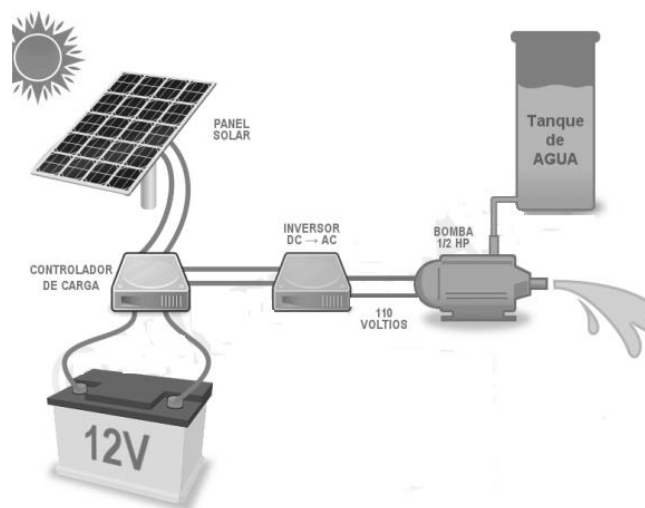
Luego de analizar sus características se procederá a seleccionar un solo método basado en los parámetros físico-químicos del agua y todos los factores que esta presenta, se escogerá el que mejor se adapte y limpie un porcentaje admitido dejando el agua según la normativa lo exige. Para la elección del sistema se debe tener en cuenta la purificación, la eliminación de micro organismos y la retención de todos los sólidos, para esto se evaluarán los conceptos y las características de las bombas de cloro, las luces ultra violeta y los filtros multimedia.

#### 5.1.4. Transporte y alimentación energética

El sistema de transporte y alimentación energética consiste en un sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos. Para su diseño se debe determinar la energía diaria en vatios-hora (Wh) necesaria para operar los equipos del sistema, y a partir de ella seleccionar la potencia y número de paneles fotovoltaicos que se requieren para garantizar la autonomía energética del sistema.

El sistema de bombeo enviará el agua desde el tanque de almacenamiento hacia los sistemas de filtración, por lo que debe tener presente que la tubería empleada debe ser lo más corta posible para disminuir las pérdidas por fricción en el transporte del fluido.

Figura 15.



*Nota. Sistema de bombeo con paneles solares. Google imágenes.*

## 5.2. Sistemas propuestos para el tratamiento del agua

Para la selección del sistema es muy importante tener claro los conceptos de cada uno de los sistemas que serán evaluados, para luego elegir el más apropiado que cumpla con la eliminación de micro organismos y sólidos.

### 5.2.1. Tratamiento de agua por luz ultra violeta.

El tratamiento o purificación de agua mediante sistemas de luz ultra violeta (UV) es una excelente opción ya que gracias a la luz UV garantiza por lo menos el 99,9% de la eliminación de microorganismos presentes en el agua. Esto se debe a que la luz UV funciona mediante la "radiación" e "iluminación" del flujo de agua.

Entre la variedad de estos sistemas que se analizaron todos basado en el uso de la luz UV, se escogió la planta más acorde a pesar de su tamaño cuenta con una unidad Purificadora de Agua con micro-filtración de partículas superiores a 120 Mesh (0.12 mm) que elimina el 99.9% de virus, bacterias y algas, reduciendo además metales pesados y olores extraños presente en el agua. Dentro de sus cualidades prevé un bajo peso para facilitar el transporte e instalación además de que no necesita el uso de cloro en su sistema el cual produciría un gasto adicional y constante

#### 5.2.1.1. Componentes del sistema.

- **Filtro de malla:** Filtro con malla de acero para la separación de partículas superiores a 0.12mm
- **Ionizador KDF:** Para la reducción de metales pesados y químicos como: Hierro, mercurio, plomo, calcio, magnesio. Además de la eliminación de olores y



sabores.

- **Filtro ultravioleta:** Filtro con capacidad de eliminar el 99.9% de virus y bacterias.

Teniendo en cuenta las características del sistema de purificación de agua por luz ultravioleta podemos evidenciar que es un sistema muy compacto y complejo que modificaría a nivel físico químico y microbiológico las características del agua. Además, basados en los estudios realizados por la CUC al agua producto de la condensación en el bloque 10 donde se le realizó una caracterización del agua y se compararon con los datos de referencias mínimas aportado por la normatividad colombiana definidas mediante la resolución 2115 del año 2007, se puede establecer que el sistema pretende modificar características en el agua que resultaría beneficioso en caso de que el agua presentase otros resultados en la caracterización. Sin embargo en el agua presente son procesos que están haciéndose sin necesidad aumentando así costos innecesarios para el tipo de purificación necesaria para el presente proyecto.

### **5.2.2. Sistema de bomba de cloro.**

El sistema a base de cloro como desinfectante es uno de los sistemas más utilizados para la purificación del agua que será usada para el consumo humano ya que este agente desinfectante elimina los microorganismos incluyendo bacterias, virus y hongos, aunque su tiempo de desinfección o eliminación de los organismos en el agua esté directamente relacionada con el PH a tratar.

Cuanto mayor sea el PH mayor es el tiempo que necesita el agente desinfectante para destruir los organismos a eliminar. Es aquí donde se evidencian los beneficios de este agente

aunque estos son solo beneficios a nivel microbiológico dejando un gran vacío en las calidades físicas mínimas requeridas para el agua potable.

#### *5.2.2.1. Componentes del sistema.*

- **Bomba de dosificación:** Usado para inyectar cloro en un volumen de agua establecido
- **Conjunto de aspiración:** Usado para transportar flujo del tanque a la bomba de dosificación.
- **Llave de purga:** Esta es usada solo para la limpieza del depósito dosificador.
- **Agitador:** Para revolver u homogenizar dos fluidos
- **Temporizador:** Para tomar el tiempo de uso del agitador.
- **Válvula de contra presión:** Válvula de retención para evitar el basado de la tubería por perdida de flujo cuando el sistema no está en uso
- **Válvula de dosificación:** Para evitar reflujos al conectar la tubería de dosificación

Basándonos en las características del sistema que básicamente solo ataca los problemas a nivel microbiológico sin modificar las características físicas del agua producto de la condensación en los aires acondicionado del bloque 10 de la CUC y los estudios de caracterización del agua hechos anteriormente en los laboratorios de la misma, se puede concluir que este sistema de purificación es insuficiente para las necesidades del proyecto ya que no hará una purificación que alcance o sobre pase los parámetros mínimos establecido por la normatividad colombiana definidas por Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante la resolución 2115 del año 2007, Para la purificación y consumo del agua.

### **5.2.3. Tratamiento de agua por filtro multimedia**

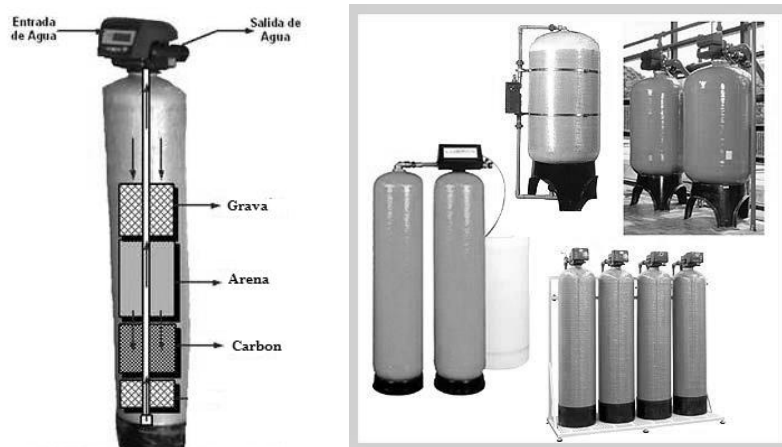
El sistema de purificación de agua por filtro multimedia o también llamado lecho profundo es un sistema de camas o lechos compuesto por arena sílice, grava sílice y carbón activado los cuales retienen y eliminan olores además de una gran cantidad de patógenos y sólidos, atrapando cada una de estas partículas en las diversas capas. Todo esto gracias a la fricción y la decantación que tienen como funcionalidad remover una amplia gama de particularidades físicas y orgánicas que están presentes en el agua, entre estos están: los sólidos suspendidos, cloro, mal olor, sabor, compuestos orgánicos y algunos metales entre otros. Este sistema de tratamiento demuestra que es un sistema compacto de purificación.

El filtro multimedia puede poseer en su interior las siguientes tipos de capas filtrantes: Carbón activado, arena y grava. La filtración es una operación unitaria de gran importancia dentro de un sistema de tratamiento y acondicionamiento de aguas, generalmente esta se efectúa después de la separación de la mayoría de los sólidos suspendidos por sedimentación, aunque dependiendo de las características del agua es posible que esta entre directamente a la etapa de filtración, sin ser sedimentada previamente.

En este tipo de filtros el agua fluye a través de un lecho de carbón activado, grava y arena. Las propiedades del medio causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, y con el medio formado en la superficie del gránulo del carbón de la grava o arena, siendo de esta manera retenido entre el material filtrante.

Para una filtración o separación de sólidos más eficiente, también es conveniente darle un tratamiento previo al agua a tratar, agregándole sustancias químicas que causen la coagulación y floculación de las partículas, sustancia como el cloro, ya que es más probable que el coágulo o floculo sea retenido en el lecho del filtro que una sola partícula en estado coloidal.

Figura 16.



Nota. Filtros multimedia. Google imágenes

#### 5.2.3.1. Componentes del sistema.

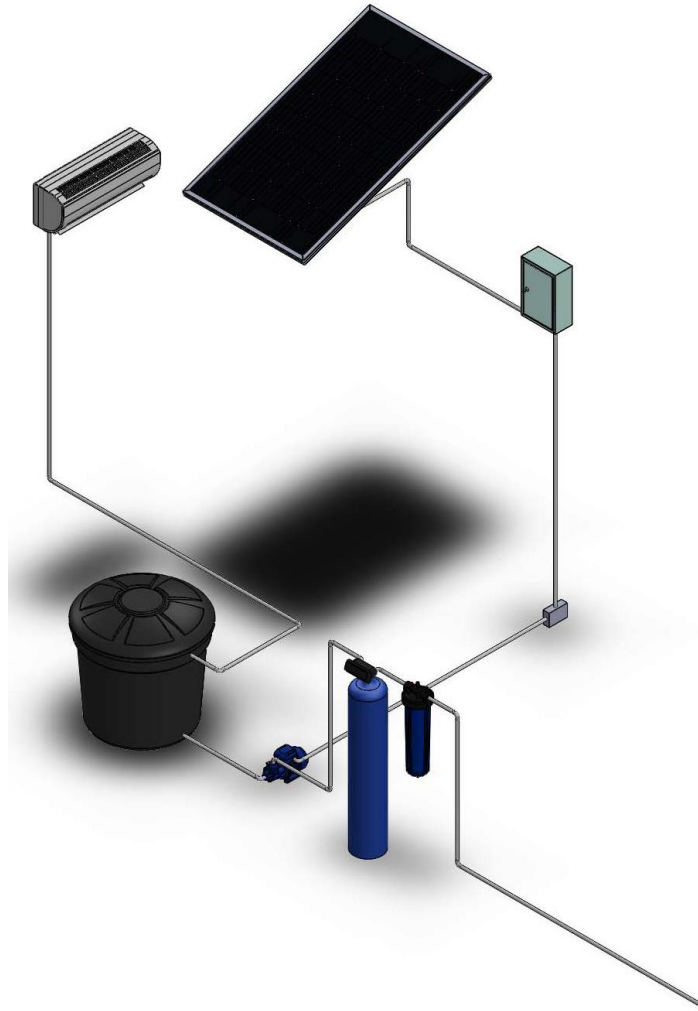
- **Arena silica:** Es usado como lecho filtrante separando los floculos de tamaño pequeño por decantación.
- **Grava silica:** Se utiliza como filtro separando sólidos suspendidos en el fluido filtrado.
- **Carbón activado:** Se usa para la retención de compuestos principalmente orgánicos, aceites, detergentes y toxinas.
- **Válvula de control:** La válvula es usada para automatizar el ciclo de tiempo o demanda según se requiera el uso del filtro multimedia.

#### 5.2.4. Selección del sistema de purificación de agua.

Para la selección del sistema de purificación se tuvieron en cuenta la complejidad y beneficios aportados por el sistema a la purificación del fluido a tratar, y las características objetivo a las que se quería llegar con ese tratamiento las cuales fueron definidas por Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante la resolución 2115 del año 2007, Para la purificación y consumo del agua (ver Anexo 4).

Teniendo en cuenta los criterios anteriores se seleccionó el sistema de *filtros multimedia* debido a que es sistema muy versátil y completo, con el cual se pueden cubrir todas las necesidades físico-químicas del proyecto en materia de purificación y extracción de partículas sólidas presentes en el agua que se va a utilizar para el abastecimiento y aprovechamiento (Ver figura 17) (Ver Anexo 5).

Figura 17.



*Nota. Diseño propuesto. Elaboración propia.*

Para la construcción del diseño del sistema, fue muy importante la selección del material de la tubería, en este caso se escogió el PVC ya que es muy económico, duradero y es el más utilizado en este tipo de procesos, su rugosidad nos permite que el fluido tenga un tránsito sin ningún problema por todo el sistema además genera menos pérdidas en todo su trayecto. La longitud de tubería de PVC utilizada fue de 5,4 metros que estará distribuida por secciones en todo el sistema.

### **5.3. Diseño hidráulico del sistema**

El diseño hidráulico del sistema hace referencia al cálculo de las dimensiones del tanque, la selección del diámetro de la tubería, el cálculo de las pérdidas totales del sistema, la potencia requerida por el fluido y la selección de la bomba a emplear. Un esquema del sistema a diseñar se encuentra en la Figura 17.

El sistema consta de los siguientes elementos:

- **Tubería o sistema de desagüe:** Es la tubería que transporta el agua condensada en los evaporadores hacia el tanque de almacenamiento.
- **Tanque de captación:** Corresponde al tanque de almacenamiento que recopila el agua proveniente de la condensación en los evaporadores.
- **Bomba.**
- **Panel:** Sistema fotovoltaico para el suministro energético a la bomba.
- **Sistema de filtración:** Consiste en un filtro multimedia y un filtro pulidor para remoción de sólidos en suspensión.
- **Pozo de almacenamiento:** Hace referencia al tanque de almacenamiento con el que cuenta el edificio del bloque 10 y suministra el agua para los baños del bloque.

### 5.3.1. Selección del tanque de captación

Para la selección del tanque de captación se calculó inicialmente el tiempo de retención que se requiere para llenar tanques de distintas capacidades y así seleccionar la opción que arroje un tiempo inferior a un día con el fin de garantizar un cambio diario del agua del tanque y evitar el crecimiento de agentes microbiológico debido a la retención de agua y así permitir un movimiento continuo del fluido. El tiempo de retención para cada tanque se calculó de acuerdo con la ecuación (5.1).

$$T_{ret} = \frac{A_{ret}}{Q} (H - h) \quad (5.1)$$

Dónde:

$T_{ret}$ : Tiempo de retención.

$A_{ret}$ : Área plana del tanque.

$H$ : Altura total de la lámina de agua.

$h$ : Altura de la lámina de agua a despreciar.

La Tabla 7 muestra los tiempos de retención de los tanques considerados. De acuerdo con la información de la tabla, los tanques de 1000 y 500 litros arrojan tiempos de retención superiores a un día debido al bajo caudal que se obtiene de los evaporadores, cercano a 6 ml/s. Para este bajo caudal un tanque de 250 litros es suficiente para garantizar un tiempo de retención inferior a un día.

Tabla 7.

*Tiempos de retención para tres capacidades de tanques para almacenamiento de agua de condensación.*

| <b>Volumen del tanque (L)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Diámetro (m)</b> | <b>Tiempo de retención (días)</b> |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|
| <b>1000</b>                   | 1,32              | 1,03                | 3,7                               |
| <b>500</b>                    | 0,8               | 0,92                | 1,5                               |
| <b>250</b>                    | 0,75              | 0,70                | 0,8                               |

*Nota: elaboración propia 2017.*

Los tres tanques analizados son de color negro y están hechos con material higiénico que no se corrompen ni se corroen, no sueltan partículas, tienen superficies lisas y fáciles de limpiar, son resistentes y su material está especificado para estar expuestos a la intemperie, resisten



fuertes cambios de clima y ataques de agentes atmosféricos. Permiten ser encajados unos entre otros mejorando su condición de transporte y almacenamiento.

### **5.3.2. Determinación de las pérdidas del sistema.**

#### **5.3.2.1. Velocidad del sistema.**

En esta sección se describe el procedimiento empleado para determinar la velocidad en las tuberías PVC del sistema de tuberías que conecta el tanque de captación y el pozo. Se utiliza como apoyo el *Código Colombiano de Fontanería NTC 15000*, para determinar la velocidad permitida. Para la obtención de la velocidad, se define de acuerdo a la ecuación (5.2.):

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5.2)$$

Dónde:

$V$ : es la velocidad del sistema

$Q$ : es el caudal de diseño.

$A$ : Área de la tubería.

#### **5.3.2.2. Número de Reynolds.**

Para la tubería de PVC que conecta el tanque de captación y el pozo, el número de Reynolds se determinó de acuerdo con la ecuación (5.3.). Es importante resaltar que el diseño del sistema busca garantizar que el régimen presente en todo momento sea turbulento y evitar precipitación por pérdida de la capacidad de arrastre del agua transportada.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (5.3)$$

Donde:

$V$ : es la velocidad del sistema.

$D$ : Diámetro de la tubería.

$\rho$ : Densidad del fluido. (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido. (0,001 Pa.s)

### 5.3.2.3. Número de Reynolds modificado.

Este número de Reynolds es modificado debido a que se agregó la porosidad de la cama, con el fin de cumplir con las necesidades de poder determinar las caídas de presión debido a filtros multimedia que puede ser asumido como un lecho poroso fijo. Gracias a este se puede caracterizar el movimiento del fluido y se puede determinar la relación entre masa y velocidad del movimiento en el filtro. Se determinó de acuerdo con la ecuación (5.4):

$$Gr_p = \frac{\rho V_s D_p}{(1 - \epsilon)\mu} \quad (5.4)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido. (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$V_s$ : Velocidad superficial.

$D_p$ : Diámetro del filtro.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido. (0,001 Pa.s)

$\epsilon$ : Porosidad de la cama.

### 5.3.2.4. Pérdidas mayores.

Debido a que se busca garantizar que el flujo sea siempre turbulento, se empleó la ecuación de Halland para el cálculo del factor de fricción utilizado para determinar las pérdidas de carga en las tuberías rectas del sistema. Para este cálculo se empleó la ecuación (5.5):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \text{Log} \left[ \frac{6.9}{\text{Re}} + \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (5.5)$$

Donde:

$f$ : Factor fricción de Darcy.

Re: número de Reynolds.

$\epsilon$ : Rugosidad de la tubería (0,0015 mm para el PVC)

$D$ : Diámetro de la tubería.

Las pérdidas en tramos rectos fueron determinadas de acuerdo con la ecuación (5.6):

$$H_l = f \left( \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (5.6)$$

Donde:

$f$ : Factor fricción de Darcy.

$g$ : Gravedad tomada como (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$V$ : es la velocidad del sistema.

$D$ : Diámetro de la tubería.

$L$ : Longitud total de la tubería. (5,4 m)

#### **5.3.2.5. Pérdidas menores.**

Estas pérdidas representan las pérdidas locales dadas por accesorios que se encuentran a lo largo del sistema propuesto. Se determinó de acuerdo con la ecuación (5.7.):

$$H_m = k \frac{V^2}{2g} \quad (5.7)$$

Donde:

$H_m$ : Pérdidas por accesorios

$k$ : Coeficiente de pérdida del accesorio.

$g$ : Gravedad tomada como (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$V$ : es la velocidad del sistema.

Para los valores de  $K$  se emplearon los valores de la Tabla 8 y las Figuras 18 y 19.

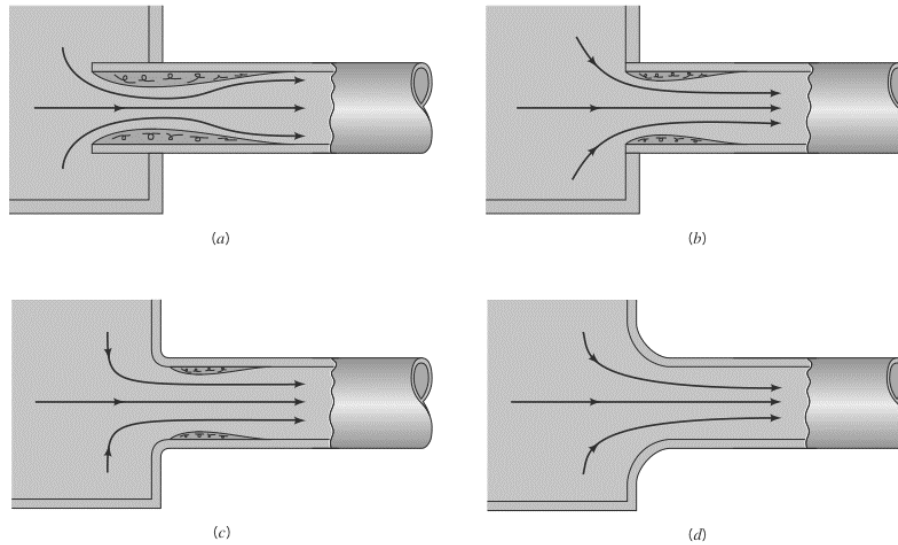
Tabla 8.

*Coefficiente de perdida  $K$  para válvulas, codos y Tés.*

|                      | Diámetro nominal (pulgadas) |      |      |      |          |      |      |      |      |
|----------------------|-----------------------------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
|                      | Roscado                     |      |      |      | Acoplado |      |      |      |      |
|                      | 1/2                         | 1    | 2    | 4    | 1        | 2    | 4    | 8    | 20   |
| Válvulas (abiertas)  |                             |      |      |      |          |      |      |      |      |
| <b>Globo</b>         | 14                          | 8,2  | 6,9  | 5,7  | 13       | 8,5  | 6,0  | 5,8  | 5,5  |
| <b>Compuerta</b>     | 0,30                        | 0,24 | 0,16 | 0,11 | 0,80     | 0,35 | 0,16 | 0,07 | 0,03 |
| <b>De retención</b>  | 5,1                         | 2,9  | 2,1  | 2,0  | 2,0      | 2,0  | 2,0  | 2,0  | 2,0  |
| <b>De ángulo</b>     | 9,0                         | 4,7  | 2,0  | 1,0  | 4,5      | 2,4  | 2,0  | 2,0  | 2,0  |
| Codos                |                             |      |      |      |          |      |      |      |      |
| <b>45° Normal</b>    | 0,39                        | 0,32 | 0,30 | 0,29 |          |      |      |      |      |
| <b>45° Suave</b>     |                             |      |      |      | 0,21     | 0,20 | 0,19 | 0,16 | 0,14 |
| <b>90° Normal</b>    | 2,0                         | 1,5  | 0,95 | 0,64 | 0,50     | 0,39 | 0,30 | 0,26 | 0,21 |
| <b>90° Suave</b>     | 1,0                         | 0,72 | 0,41 | 0,23 | 0,40     | 0,30 | 0,19 | 0,15 | 0,10 |
| <b>180° Normal</b>   | 2,0                         | 1,5  | 0,95 | 0,64 | 0,41     | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| <b>180° Suave</b>    |                             |      |      |      | 0,40     | 0,30 | 0,21 | 0,15 | 0,10 |
| Tés                  |                             |      |      |      |          |      |      |      |      |
| <b>Flujo directo</b> | 0,90                        | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,24     | 0,19 | 0,14 | 0,10 | 0,07 |
| <b>Flujo lateral</b> | 2,4                         | 1,8  | 1,4  | 1,1  | 1,0      | 0,80 | 0,64 | 0,58 | 0,41 |

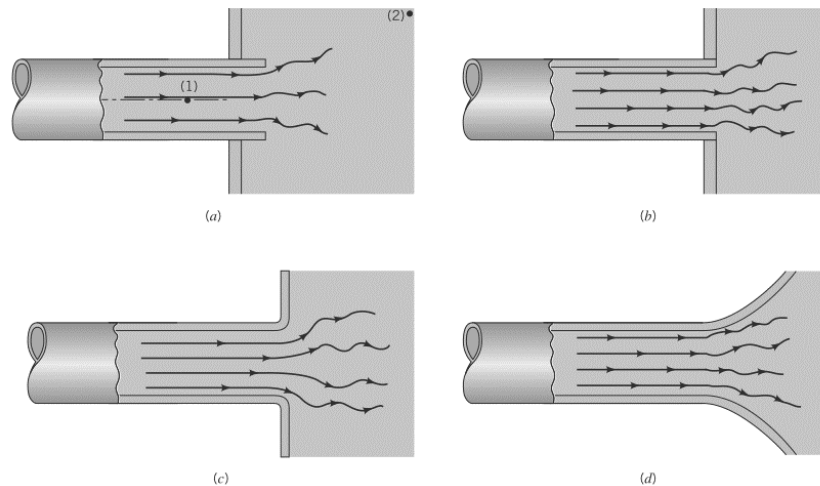
*Nota: Mecánica de fluido Frank White 5 edición.*

Figura 18.



Nota. Condiciones de flujo de entrada y coeficiente de pérdida. (a) Reentrantes  $K=0,8$ ; (b) Afilado  $K= 0,5$ ; (c) Levemente redondeado  $K=0,2$ ; (d) Redondeado  $K= 0,04$ . Adaptado de Munson. Young. *Fundamentals of Fluid Mechanics* 6 edición. Okiishi. Huebsch.

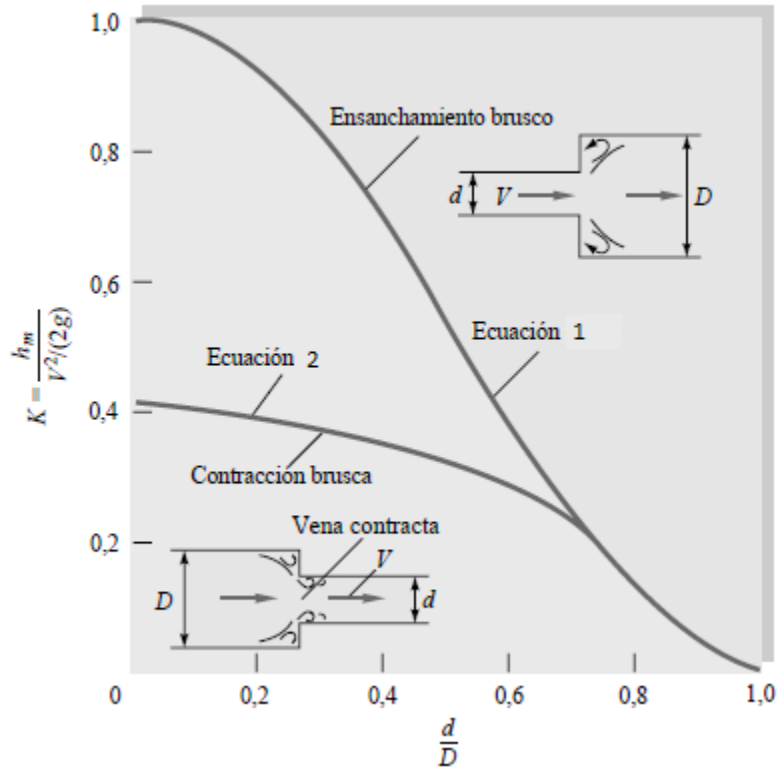
Figura 19.



Nota. Condiciones de flujo de salida y coeficiente de pérdida. (a) Reentrantes  $K=1$ ; (b) Afilado  $K= 1$ ; (c) Levemente redondeado  $K=1$ ; (d) Redondeado  $K=1$ . Adaptado de Munson. Young. *Fundamentals of Fluid Mechanics* 6 edición. Okiishi. Huebsch.

Para el cálculo de las pérdidas en contracciones y ampliaciones debido a diferencias entre el diámetro de la tubería y las conexiones de los demás equipos se empleó la Figura 20 y las ecuaciones (5.8) y (5.9).

Figura 20.



Nota. Pérdidas en ensanchamientos y contracciones bruscas. Adaptado de Mecánica de fluido Frank White Quinta edición.

$$K = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (5.8)$$

$$K = 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (5.9)$$

La tabla 9 se encuentra la información del coeficiente  $k$  de cada accesorio:

Tabla 9.

*Valores de  $k$  para los accesorios del sistema*

| <b>Accesorio</b>   | <b>Coefficiente de pérdida <math>k</math></b> | <b>Número de accesorios</b> |
|--------------------|---|-----------------------------|
| <b>Válvula</b>     | 14,0  | 3                           |
| <b>Contracción</b> | 0,6   | 4                           |
| <b>Codo 90°</b>    | 2,0   | 4                           |
| <b>Entrada</b>     | 0,8   | 2                           |
| <b>Salida</b>      | 1,0   | 1                           |

. Nota. Elaboración propia.

### 5.3.2.6. Pérdidas equipos de filtración.

Para el filtro multimedia se empleó la ecuación (5.10), la cual recibe el nombre de la ecuación de Ergún.

$$\Delta P = \frac{150\mu V_0 L_b (1 - e)^2}{D_p^2 E^3} + \frac{1,75\rho V_0^2 L_b (1 - E)}{D_p E^3} \quad (5.10)$$

Dónde:

$\Delta P$ : Caída de presión

L: Altura de la capa

$\mu$ : Viscosidad del fluido

E: Espacio de la capa

$V_0$ : Velocidad superficial del fluido

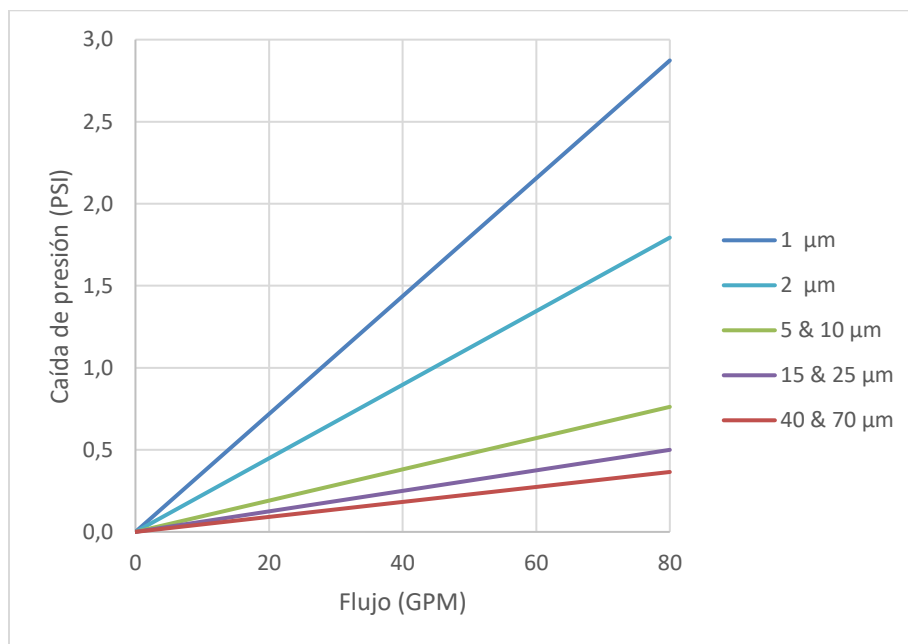
$D_p$ : Diámetro de partículas.

$\rho$ : Densidad del fluido

Para este paso fue muy importante determinar por separado la caída de presión que generaba el filtro multimedia con carbón activado y grava con los diferentes caudales de prueba,

para luego seleccionar el caudal más apto y de inmediato se adicionan las pérdidas generadas por el filtro multimedia a las perdidas menores (Ver Tabla 9).

Para el filtro pulidor de 5  $\mu\text{m}$ , el cual es el encargado de sustraer aquellas partículas pequeñas que el filtro multimedia no pudo remover, su caída de presión se calculó empleando la Figura 21.



*Nota. Caída de presión vs. Caudal para cartuchos de filtro pulidor, serie 740. Elaboración propia. \*GPM: Galones por minuto.*

#### 5.4. Sistema de bombeo

Se presenta a continuación el procedimiento del cálculo hidráulico de la bomba requerida para el tanque de almacenamiento. Para llevar a cabo dicho procedimiento se tendrá en cuenta el material y características de la bomba, el motor, la tubería de impulsión y de succión; así como las cotas entre los puntos de inicio (tanque de almacenamiento).



#### 5.4.1. Cálculo de la tubería de succión.

Para el cálculo de la tubería de succión se determinó un diámetro de tubería de ½", luego se verificó las velocidades de acuerdo con el caudal que se va a transportar. Asumiendo un diámetro de succión de la bomba, el área y la velocidad calculada, se procede al cálculo del área de la tubería según a ecuación (5.11):

$$A = \frac{\pi\varphi^2}{4} \quad (5.11)$$

Donde:

A= Área de la tubería (m<sup>2</sup>)

$\varphi$  = Diámetro de la tubería (m)

De acuerdo con el caudal obtenido para el abastecimiento de las unidades sanitarias, despejando la ecuación (5.12) se determina el valor de la velocidad de succión:

$$Q = A \cdot V \quad (5.12)$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad (m/s)

A: Área de la tubería (m<sup>2</sup>)

#### 5.4.2. Chequeo de la tubería de impulsión.

Para este caso, se determinó un valor para el diámetro de impulsión igual a ½" y se calcula de nuevo el área y la velocidad de la tubería de impulsión con las ecuaciones 5.11. y 5.12. El valor obtenido para la velocidad de impulsión debe cumplir el rango establecido en el literal B.8.5.6.2 del RAS, en el cual se establece que ésta debe estar entre 1 y 3 m/s.

### 5.5.Cabeza de bomba

La potencia de la bomba se determinó a partir de la construcción de la curva del sistema. Para ello se elaboró una curva de cabeza de bomba versus caudal. La cabeza de la bomba se determinó aplicando la ecuación de la energía al desprestigiar las velocidades de salida y entrada, y tomar las presiones en estos puntos como iguales a la presión atmosférica (5.13):

$$H_b = z_f - z_i + H_m + H_l \quad (5.13)$$

Donde:

$H_b$ : Cabeza de la bomba (m).

$z_f$ : Altura geodésica del punto de salida del sistema de bombeo (m).

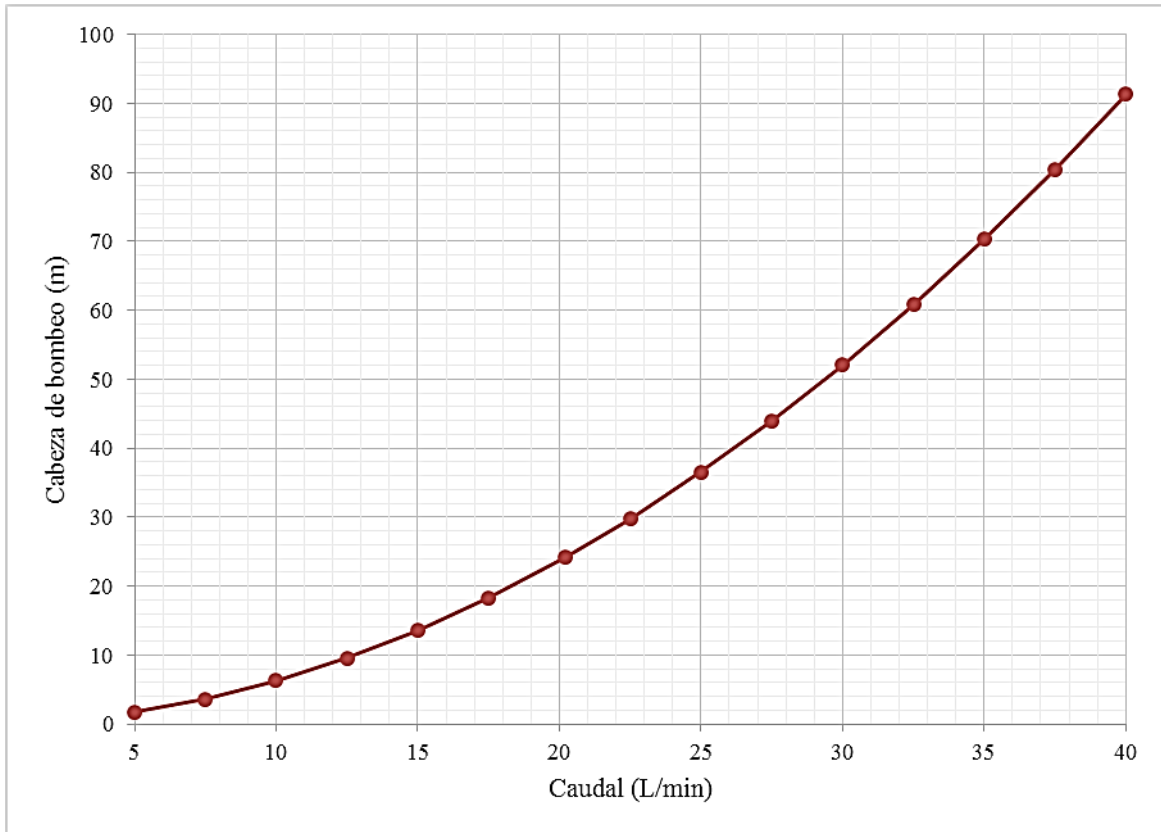
$z_i$ : Altura geodésica del punto de entrada del sistema de bombeo (m).

$H_m$ : Pérdidas menores del sistema de bombeo y filtración (m).

$H_l$ : Pérdidas mayores del sistema de bombeo (m).

A partir de la información de las pérdidas mayores, pérdidas por accesorios, y pérdidas por el sistema de filtración, se elaboró la curva correspondiente a la energía requerida por el sistema hidráulico, en metros de columna de agua, o cabeza de bomba. La Figura 22 muestra la cabeza de la bomba, en metros de columna de agua, para un rango de caudales entre 5 y 40 litros/min. Los datos de esta curva son mostrados en la Tabla 10.

Figura 22.



Nota. Cabeza de bomba vs. Caudal del sistema. Elaboración Propia.

Tabla 10.

Cabeza de bomba vs. Caudal del sistema.

| Caudal (L/min) | Velocidad (m/s) | Re    | $f$   | Hm (m) | Ha (m) | FM grava (m) | FM carbón (m) | FP (m) | $H_b$ (m) |
|----------------|-----------------|-------|-------|--------|--------|--------------|---------------|--------|-----------|
| 5.0            | 0.7             | 8355  | 0.033 | 0.3    | 1.2    | 0.005        | 0.19          | 0.009  | 1.7       |
| 7.5            | 1.0             | 12532 | 0.029 | 0.6    | 2.7    | 0.007        | 0.29          | 0.013  | 3.6       |
| 10.0           | 1.3             | 16709 | 0.027 | 1.0    | 4.8    | 0.010        | 0.38          | 0.018  | 6.3       |
| 12.5           | 1.6             | 20886 | 0.026 | 1.5    | 7.6    | 0.014        | 0.48          | 0.022  | 9.6       |
| 15.0           | 2.0             | 25064 | 0.025 | 2.1    | 10.9   | 0.017        | 0.59          | 0.027  | 13.6      |
| 17.5           | 2.3             | 29241 | 0.024 | 2.7    | 14.8   | 0.021        | 0.69          | 0.031  | 18.3      |
| 20.2           | 2.7             | 33753 | 0.023 | 3.5    | 19.8   | 0.026        | 0.80          | 0.036  | 24.2      |
| 22.5           | 3.0             | 37596 | 0.022 | 4.3    | 24.5   | 0.030        | 0.90          | 0.040  | 29.8      |

|             |     |       |       |      |      |       |      |       |      |
|-------------|-----|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|
| <b>25.0</b> | 3.3 | 41773 | 0.022 | 5.1  | 30.3 | 0.035 | 1.01 | 0.044 | 36.5 |
| <b>27.5</b> | 3.6 | 45950 | 0.021 | 6.1  | 36.7 | 0.040 | 1.12 | 0.049 | 44.0 |
| <b>30.0</b> | 3.9 | 50128 | 0.021 | 7.1  | 43.6 | 0.046 | 1.24 | 0.053 | 52.1 |
| <b>32.5</b> | 4.3 | 54305 | 0.021 | 8.2  | 51.2 | 0.052 | 1.35 | 0.057 | 60.9 |
| <b>35.0</b> | 4.6 | 58482 | 0.020 | 9.4  | 59.4 | 0.058 | 1.47 | 0.062 | 70.3 |
| <b>37.5</b> | 4.9 | 62659 | 0.020 | 10.6 | 68.2 | 0.065 | 1.58 | 0.066 | 80.5 |
| <b>40.0</b> | 5.3 | 66837 | 0.020 | 11.9 | 77.5 | 0.071 | 1.70 | 0.071 | 91.3 |

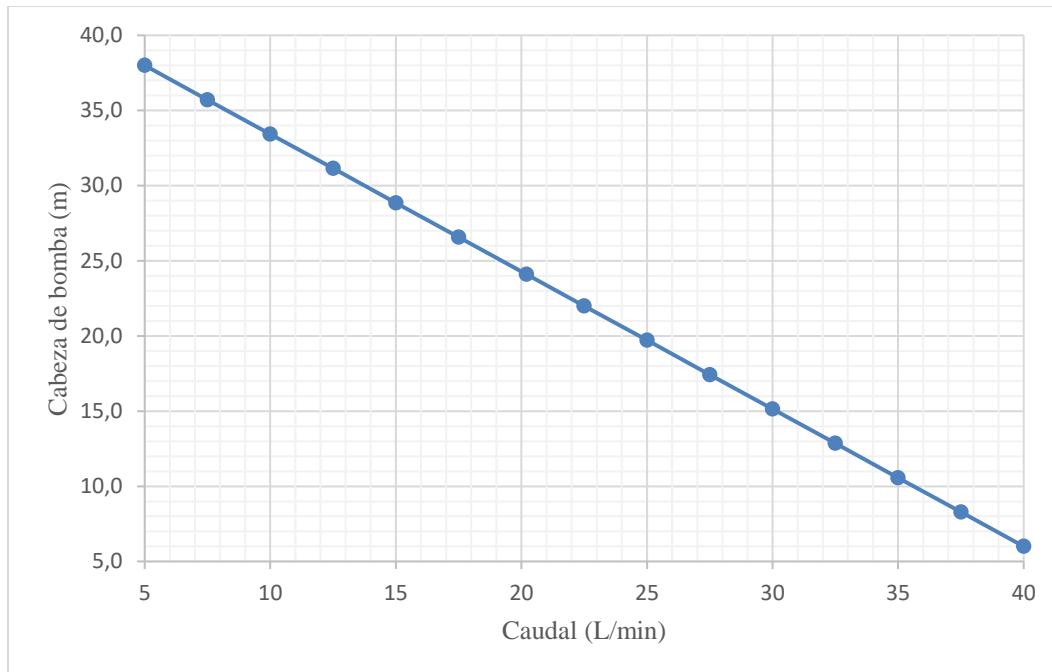
**Convenciones de la tabla-** Hm: Pérdidas mayores. Ha: Pérdidas accesorios. FM grava: Caída de presión filtro multimedia (lecho de grava). FM carbón: Caída de presión filtro multimedia (lecho de carbón activado). FP: Caída de presión filtro pulidor.

*Nota: elaboración propia 2017.*

## 5.6. Determinación del caudal de diseño

Debido a que caudales inferiores a 40 L/min son suficientes para transportar el agua del tanque de captación hacia el pozo de almacenamiento, se optó por emplear una bomba Pedrollo PK-60, la cual es una bomba de bajo caudal y bajo consumo energético. Los datos de cabeza entregada por la bomba para cada caudal entre 5 y 40 litros/min se encuentran en la Figura 23.

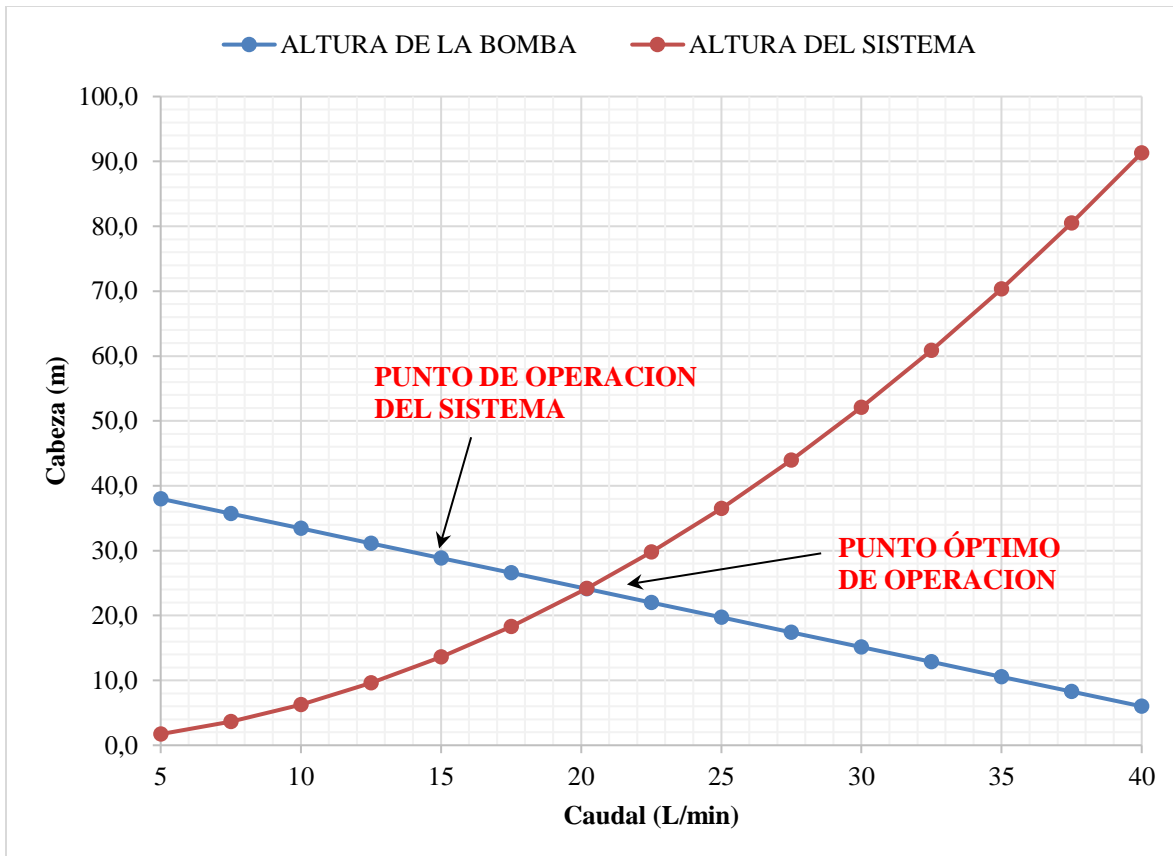
Figura 23.



*Nota. Cabeza entregada por la bomba vs. Caudal del sistema. (Modelo: Pedrollo PK-60). Elaboración propia.*

A partir de la información de las Figuras 22 y 23 se obtiene que el punto óptimo de operación del sistema corresponde a un caudal de 20.2 litros/min, tal y como se muestra en la Figura 24. Sin embargo, al consultar la Tabla 10 se observa que este caudal requiere una velocidad de 2.7 m/s, la cual no cumple con lo establecido en el código colombiano de fontanería NTC 1500, el cual exige una velocidad de suministro de agua no mayor a 2 m/s para tubería de diámetros inferiores a 3 pulgadas. A partir de la Tabla 10 se concluye que un caudal de 15 litros/min requiere un valor aceptable de velocidad (2 m/s).

Figura 24.



Nota. Curva del sistema vs. Curva de la bomba Pedrollo PK-60. Elaboración propia.

Cabe resaltar que la cabeza de la bomba Pedrollo PK-60 es mayor a la requerida por el sistema, por lo que incrementará la velocidad a la salida del pozo de almacenamiento, por lo que se propone utilizar una válvula para regular la caída de presión del sistema y asegurar una velocidad adecuada.

## 5.7. Diseño del sistema de alimentación con paneles solares

### 5.7.1. Coordenadas y datos del proyecto.

El proyecto se ubicará en la Universidad de la Costa y los datos de latitud, longitud, orientación e inclinación se encuentran en la Tabla 11.

Tabla 11.

*Datos de ubicación del proyecto.*

| <b>Parámetro</b>                         | <b>Unidad</b> | <b>Valor</b> |
|--|---------------|--------------|
| <b>Latitud</b>                           | °             | 10,995225    |
| <b>Longitud</b>                          | °             | -74,789734   |
| <b>Inclinación (<math>\beta</math>)</b>  | °             | 20,0         |
| <b>Orientación (<math>\alpha</math>)</b> | °             | 10,0         |

*Nota: elaboración propia.*

### 5.7.2. Determinación de la declinación solar mensual.

Para la determinación de la declinación solar de cada mes, se empleó la ecuación 5.14.

Los valores de la declinación solar para cada mes se encuentran en la Tabla 12.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + \delta_n}{365}\right) \quad (5.14)$$

Donde:

$\delta$ : Declinación mensual (grados).

$\delta_n$ : Día típico del mes (el 1 de enero se toma como el día 1, y el 31 de diciembre se toma como el día 365).

Tabla 12.

*Declinación solar mensual.*

| <b>Mes</b>        | <b>Días por mes</b> | <b>Día típico (<math>\delta_n</math>)</b> | <b><math>\delta</math> (°)</b> |
|-------------------|---------------------|---|--------------------------------|
| <b>Enero</b>      | 31                  | 16  | 12.45                          |
| <b>Febrero</b>    | 28                  | 45  | 7.15                           |
| <b>Marzo</b>      | 31                  | 75  | 1.21                           |
| <b>Abril</b>      | 30                  | 105                                       | -4.81                          |
| <b>Mayo</b>       | 31                  | 136                                       | -10.69                         |
| <b>Junio</b>      | 30                  | 166                                       | -15.67                         |
| <b>Julio</b>      | 31                  | 197                                       | -19.71                         |
| <b>Agosto</b>     | 31                  | 228                                       | -22.36                         |
| <b>Septiembre</b> | 30                  | 258                                       | -23.42                         |
| <b>Octubre</b>    | 31                  | 289                                       | -22.89                         |

|                  |    |     |        |
|------------------|----|-----|--------|
| <b>Noviembre</b> | 30 | 319 | -20.82 |
| <b>Diciembre</b> | 31 | 350 | -17.25 |

*Nota: elaboración propia.*

### 5.7.3. Cálculo inclinación óptima mensual.

Para el cálculo de la inclinación óptima mensual se empleó la ecuación 5.15 y los valores de la declinación solar mensual. Los valores de la inclinación óptima para cada mes se encuentran en la Tabla 13.

$$\beta_{opt} = \text{Latitud} - \delta \quad (5.15)$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : Inclinación óptima mensual (grados).

$\delta$ : Declinación mensual (grados).

Tabla 13.

*Inclinación óptima mensual.*

| <b>Mes</b>        | <b><math>\beta_{opt}</math> (°)</b> |
|-------------------|-------------------------------------|
| <b>Enero</b>      | -1.45                               |
| <b>Febrero</b>    | 3.84                                |
| <b>Marzo</b>      | 9.78                                |
| <b>Abril</b>      | 15.80                               |
| <b>Mayo</b>       | 21.69                               |
| <b>Junio</b>      | 26.66                               |
| <b>Julio</b>      | 30.71                               |
| <b>Agosto</b>     | 33.36                               |
| <b>Septiembre</b> | 34.42                               |
| <b>Octubre</b>    | 33.88                               |
| <b>Noviembre</b>  | 31.82                               |
| <b>Diciembre</b>  | 28.24                               |

*Nota: elaboración propia.*

### 5.7.4. Determinación de la radiación global sobre la superficie inclinada del panel.



Para la obtención de la radiación global diaria óptima sobre una superficie inclinada, se empleó la ecuación 5.16 y los valores de la radiación solar horizontal. Los valores de radiación solar horizontal fueron consultados para la latitud y longitud del proyecto en las bases de datos del National Renewable Energy Laboratory (NREL) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA)<sup>1</sup> los cuales se encuentran en la Tabla 14. Por otra parte, los valores de radiación global óptima se encuentran en la Tabla 15.

$$G_{\alpha}(\beta_{opt}) = \frac{G_{\alpha}(0)}{1 - 4,46 \times 10^{-4} \cdot \beta_{opt} - 1,19 \times 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2} \quad (5.16)$$

Donde:

$G_{\alpha}(\beta_{opt})$ : Radiación global diaria óptima (kWh/m<sup>2</sup>/día).

$G_{\alpha}(0)$ : Radiación global horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/día).

$\beta_{opt}$ : Inclinación óptima mensual (grados).

Tabla 14.

*Valores de radiación global horizontal y radiación global para el ángulo óptimo para la ubicación del proyecto.*

| <b>Mes</b>     | <b><math>G_{\alpha}(0)</math><br/>Kwh/m<sup>2</sup>/día</b> | <b><math>G_{\alpha}(\beta_{opt})</math><br/>Kwh/m<sup>2</sup>/día</b> |
|----------------|---|---|
| <b>Enero</b>   | 5.58  | 5.58  |
| <b>Febrero</b> | 5.64  | 5.66  |
| <b>Marzo</b>   | 5.82  | 5.91  |
| <b>Abril</b>   | 5.42  | 5.63  |
| <b>Mayo</b>    | 4.98  | 5.33  |
| <b>Junio</b>   | 5.13  | 5.68  |
| <b>Julio</b>   | 5.31  | 6.07  |

<sup>1</sup> [https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=106101&lat=10.995&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid\\_id&p=ret\\_tlt0&step=2&lon=-74.79](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=106101&lat=10.995&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=ret_tlt0&step=2&lon=-74.79)

|                   |      |      |
|-------------------|------|------|
| <b>Agosto</b>     | 5.27 | 6.18 |
| <b>Septiembre</b> | 4.90 | 5.81 |
| <b>Octubre</b>    | 4.63 | 5.46 |
| <b>Noviembre</b>  | 4.68 | 5.41 |
| <b>Diciembre</b>  | 5.00 | 5.60 |

Nota: NREL-NASA.

### 5.7.5. Cálculo de horas solares pico

Para determinar las horas solares pico sobre un panel inclinado, se procedió primero a calcular el factor de irradiancia con la ecuación 5.17. A partir del factor de irradiancia y la radiación global diaria para el ángulo óptimo,  $G_{\alpha}(\beta_{opt})$ , se determinaron las horas solares pico por día (HSP/día) mediante la ecuación 5.5.7.

$$FI = 1 - \left[ 1,12 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} (\alpha^2) \right] \quad (5.17)$$

Donde:

$FI$ : Factor de irradiancia.

$\beta_{opt}$ : Inclinación óptima (grados).

$\beta$ : Inclinación panel (grados).

$\alpha$ : Orientación del panel (grados).

$$HSP/día = FI \cdot G_{\alpha}(\beta_{opt}) \quad (5.18)$$

Donde:

$G_{\alpha}(\beta_{opt})$ : Radiación global diaria para el ángulo óptimo (kWh/m<sup>2</sup>/día).

Tabla 15.

Factor de irradiancia y horas solares pico (HSP) por día.

| <b>Mes</b>     | <b>FI</b> | <b>HSP/día</b> |
|----------------|-----------|----------------|
| <b>Enero</b>   | 0.972     | 5.42           |
| <b>Febrero</b> | 0.972     | 5.50           |
| <b>Marzo</b>   | 0.973     | 5.75           |

|                   |       |      |
|-------------------|-------|------|
| <b>Abril</b>      | 0.972 | 5.47 |
| <b>Mayo</b>       | 0.971 | 5.17 |
| <b>Junio</b>      | 0.972 | 5.52 |
| <b>Julio</b>      | 0.973 | 5.91 |
| <b>Agosto</b>     | 0.974 | 6.02 |
| <b>Septiembre</b> | 0.972 | 5.65 |
| <b>Octubre</b>    | 0.971 | 5.30 |
| <b>Noviembre</b>  | 0.971 | 5.25 |
| <b>Diciembre</b>  | 0.972 | 5.44 |

*Nota: elaboración propia.*

### 5.7.6. Consumo diario

De acuerdo al diseño del sistema, el único equipo que consume energía es la bomba. La energía consumida por la bomba es suficiente para mantener el fluido en operación ya que la válvula del filtro multimedia se escogió para operación manual y no electrónica. Los valores de potencia, tiempo de operación y energía consumida se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16.

*Consumo energético diario.*

| <b>Descripción</b>              | <b>Potencia<br/>(W)</b> | <b>Tiempo de<br/>operación<br/>(h)</b> | <b>Tensión<br/>AC (v)</b> | <b>Tensión<br/>DC (v)</b> | <b>Consumo<br/>diario<br/>(Wh)</b> |
|---------------------------------|-------------------------|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Bomba Pedrollo PK<br/>60</b> | 373                     | 0,75                                   | 110                       | 12                        | 279,75                             |

*Nota: elaboración propia.*

### 5.7.7. Dimensionamiento campo fotovoltaico

De acuerdo a la Tabla 17, el mes más desfavorable es el mes de Mayo con tan solo 5,17 HSP/día. Con la información de la Tabla 15 y la Tabla 16 se procede a determinar la potencia pico requerida mediante la ecuación 5.19.

$$W_p = \frac{Wh}{HSP \cdot \eta_R} \quad (5.19)$$

Donde:

Wh: Consumo diario (Wh)

HSP: Horas solares pico por día para el mes más desfavorable.

$\eta_R$ : Eficiencia típica del regulador (80%).

Tabla 17.

*Dimensionamiento del campo fotovoltaico.*

| <b>Emplazamiento instalación</b>               | <b>Lugar</b> | <b>Universidad de la Costa</b> |
|--|--------------|--------------------------------|
| <b>Mes más desfavorable</b>                    | Mes          | Mayo                           |
| <b>Horas sol pico mes más desfavorable</b>     | HSP          | 5,17                           |
| <b>Temperatura media mensual máxima diurna</b> | °C           | 42,8                           |
| <b>Eficiencia del regulador</b>                | %            | 80                             |
| <b>Energía consumo diario</b>                  | Wh           | 279,75                         |
| <b>Potencia pico módulos calculada</b>         | Wp           | 67,6                           |
| <b>Voltaje batería</b>                         | V            | 12,0                           |

*Nota: elaboración propia.*

De acuerdo a la información de la Tabla 17, la potencia pico requerida es de 67,6 W. De acuerdo a esta información, una instalación fotovoltaica de 100 W con almacenamiento será suficiente para mantener operando el sistema y almacenar energía para los días nublados y lluviosos. A partir de este dato se procedió a buscar un proveedor de kit de paneles fotovoltaicos. La información del kit seleccionado se encuentra en la Tabla 18.

Tabla 18.

*Información kit seleccionado.*

| <b>Marca</b>                             | <b>Eco Worthy</b>     |             |
|--|-----------------------|-------------|
| <b>Tipo</b>                              | <b>Policristalino</b> |             |
| <b>Voltaje a circuito abierto</b>        | Voc                   | 22,41 V     |
| <b>Voltaje a maxima potencia</b>         | Vmp                   | 17,9 V      |
| <b>Corriente de corto circuito</b>       | Isc                   | 6,2 A       |
| <b>Corriente de potencia maxima</b>      | Imp                   | 5,59 A      |
| <b>Potencia máxima</b>                   | Pmax                  | 100.061 W   |
| <b>Coefficiente de temperatura a isc</b> | %/C                   | 0,10+/-0,01 |

---

|   |          |             |
|---|----------|-------------|
| <b>Coefficiente de temperatura a voc</b>    | %/C      | 0,38+/-0,01 |
| <b>Coefficiente de temperatura a pmax</b>   | %/C      | -0,47       |
| <b>Total de modulos recomendados</b>        | Nmod     | 1           |
| <b>Potencia pico modulos total</b>          | Pp total | 100,061     |
| <b>Optimización instalación/necesidades</b> | OPTM     | 148%        |
| <b>Precio</b>                               | COP      | 652.000     |

---

*Nota: elaboración propia.*

## Capítulo 6

### Análisis económico

#### 6.1. Capital total a invertir

De acuerdo con Bejan (s.f.) el punto de inicio del análisis económico es el cálculo del costo total del capital a invertir (TCI, por sus siglas en inglés), el cual se descompone en:

- ***Inversión en activos fijos*** (FCI, por sus siglas en inglés): Corresponde a los costos de los activos fijos del sistema térmico.
- ***Costos de arranque*** (SUC, por sus siglas en inglés): Se refiere a los costos de puesta en marcha del equipo.
- ***Capital de trabajo*** (WC, por sus siglas en inglés): Hace referencia al costo del capital inicial de trabajo del sistema térmico.
- ***Investigación y desarrollo*** (LRD, por sus siglas en inglés): Corresponde a los costos asociados a patentes, y otros productos de I&D.
- ***Disponibilidad de fondos usados durante la construcción*** (AFUDC, por sus siglas en inglés): Hace referencia a los costos relacionados con garantizar el dinero a invertir en las etapas de construcción del sistema térmico.

### 6.1.1. Inversión en activos Fijos

Los activos fijos corresponden a los costos directos de los equipos, instrumentación y demás componentes del sistema, así como los costos indirectos de los servicios asociados a la instalación del mismo. En la Tabla 19 se presenta el presupuesto de adquisición de equipos y materiales, en el cual se especifica el costo discriminado por subsistemas: Tanque de almacenamiento, sistema de bombeo, sistema de filtración, sistema de suministro energético.

Tabla 19.

*Costo de los componentes del sistema de reutilización de agua con energía solar.*

| ITEM | DESCRIPCION   | CANTIDAD | VALOR UNITARIO(\$) | VALOR TOTAL (\$) |
|------|---|----------|--------------------|------------------|
| 1    | <b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>                       |          |                    |                  |
| 1.1  | Tanque Eternit 250Lt                                  | 1        | \$ 104.900,00      | \$ 104.900,00    |
| 1.2  | Válvula flotadora                                     | 1        | \$ 43.970,00       | \$ 43.970,00     |
| 2    | <b>SISTEMA DE BOMBEO</b>                              |          |                    |                  |
| 2.1  | Electrobomba Pedrollo 1/2 Hp Pedrollo PKM60           | 1        | \$ 231.700,00      | \$ 231.700,00    |
| 3    | <b>SISTEMA DE FILTRACION</b>                          |          |                    |                  |
| 3.1  | Tanque en poliglass 9"x48" capacidad de 1pie cúbicos. | 1        | \$ 500.000,00      | \$ 500.000,00    |
| 3.2  | Válvula automática de retro-lavado capacidad 1gpm.    | 1        | \$ 350.000,00      | \$ 350.000,00    |
| 3.3  | Bolsa de 60kg arena para filtración                   | 1        | \$ 60.000,00       | \$ 60.000,00     |
| 3.4  | Bolsa de 50kg de grava granulometría #4-#8            | 1        | \$ 115.000,00      | \$ 115.000,00    |
| 3.5  | Distribuidor tipo canastilla para capacidad de 1gpm   | 1        | \$ 40.000,00       | \$ 40.000,00     |
| 3.6  | Bolsa de 25kg de carbón activado granular JACOBI      | 1        | \$ 450.000,00      | \$ 450.000,00    |
| 3.7  | Filtro de polipropileno en cartucho spun y carcaza    | 1        | \$ 60.000,00       | \$ 60.000,00     |
| 3.8  | SKID en acero al carbón                               | 1        | \$ 300.000,00      | \$ 300.000,00    |
| 4    | <b>PANELES SOLARES</b>                                |          |                    |                  |
| 4.1  | Kit energía solar 100W más instalación                | 1        | \$ 1.650.000,00    | \$ 1.650.000,00  |

*Nota: elaboración propia.*

### 6.1.2. Costos de instalación

#### Tubería y accesorios

En esta categoría hace referencia a los costos del acople entre los componentes del sistema: bomba, paneles, filtros, entre otros. Aquí se incluye tubería, accesorios, soportes y consumibles, aislamiento, entre otros.

### **Instalación y montaje**

Este ítem se refiere a los costos asociados con envío de los equipos, seguros, legalización, fundaciones, entre otros. En el caso de la mano de obra asociada al montaje de los paneles fotovoltaicos, se requieren 2 operarios y un ingeniero supervisor de montaje, y un tiempo de montaje de 2 días para el panel fotovoltaico (Aristizabal y Arbelaez, 2013). El costo por día de cada operario es un salario mínimo legal diario (\$ 26.041) y para el supervisor dos salarios mínimos legales diarios (\$52.082).

### **Equipos y materiales eléctricos**

Hace referencia a los costos de los equipos y accesorios para la acometida eléctrica para la operación y transporte de la electricidad producida.

### **Trabajo civil y estructural**

Estos costos hacen referencias a trabajos de adecuación de edificios y estructura civil para la ubicación de los equipos.

### **Ingeniería y supervisión**

Los costos de ingeniería y supervisión hacen referencia los costos del equipo de diseño básico y de detalle del equipo, el acople con la fuente de calor. Se incluyen además los costos de administración y utilidad del fabricante, viajes, consultorías, inspección, entre otros.

### **Imprevistos**



Los imprevistos oscilan entre 5 y 20% del costo de los activos fijos (FCI) dependiendo de la complejidad del proyecto. Para este proyecto se toma un valor de 5%. El resumen de los costos de instalación se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20.

*Costo de instalación para el sistema de reutilización de agua con energía solar sin imprevistos.*

| ITEM     | DESCRIPCION  | CANTIDAD | VALOR UNITARIO(\$) | VALOR TOTAL (\$) |
|----------|--|----------|--------------------|------------------|
| <b>1</b> | <b>TUBERIA Y ACCESORIOS</b>                                |          |                    |                  |
| 1.1      | Válvula de retención 1/2" Pavco PVC                        | 3 und    | \$ 4.200,00        | \$ 12.600,00     |
| 1.2      | Buje soldado 1/2" a 1"Pavco PVC                            | 4 und    | \$ 1.100,00        | \$ 4.400,00      |
| 1.3      | Codo 90° Pavco PVC.  | 4 und    | \$ 3.400,00        | \$ 13.600,00     |
| 1.4      | Tubería de 1/2 X 6mt Pavco PVC.                            | 2 und    | \$ 9.900,00        | \$ 19.800,00     |
| <b>2</b> | <b>INSTALACIÓN Y MONTAJE</b>                               |          |                    |                  |
| 2.1      | Removedor PVC 1/4 galón.                                   | 1 und    | \$ 34.900,00       | \$ 34.900,00     |
| 2.2      | Soldadura PVC 1/4 galón                                    | 1 und    | \$ 48.900,00       | \$ 48.900,00     |
| 2.3      | Cinta teflón.  | 2 und    | \$ 1.400,00        | \$ 2.800,00      |
| 2.4      | Hoja de segueta.   | 1 und    | \$ 11.200,00       | \$ 11.200,00     |
| 2.5      | Mano de obra calificada: Nivel técnico (2 técnicos)        | 2 días   | \$ 52.082,00       | \$ 104.164,00    |
| 2.6      | Mano de obra calificada: Nivel profesional (1 profesional) | 2 días   | \$ 52.082,00       | \$ 104.164,00    |
| <b>3</b> | <b>EQUIPOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS</b>                     |          |                    |                  |
| 3.1      | Cableado Calibre 14 AWG                                    | 10 m     | \$ 1.100,00        | \$ 11.000,00     |
| 3.2      | Cableado Calibre 11 AWG                                    | 10 m     | \$ 1.730,00        | \$ 17.300,00     |
| 3.2      | Breaker  | 2        | \$ 26.000,00       | \$ 52.000,00     |
| 3.3      | Conducto metálico  | 10 m     | \$ 13.500,00       | \$ 135.000,00    |
| 3.4      | Tablero  |          |                    |                  |
| 3.5      | Prensa estopa  |          |                    |                  |
| <b>4</b> | <b>INGENIERIA Y SUPERVISIÓN</b>                            |          |                    |                  |

|     |  |          |                 |                  |
|-----|--|----------|-----------------|------------------|
| 4.1 | Diseño hidráulico y energético del sistema                   | 20 horas | \$<br>25.000,00 | \$<br>500.000,00 |
| 5   | <b>TRABAJO CIVIL Y ESTRUCTURAL</b>                           |          |                 |                  |
| 5.1 | Transporte, construcción y montaje de estructura de soporte. | 1 m2     | \$<br>50.000,00 | \$<br>50.000,00  |
| 5.2 | Perfil angular acero para soporte x 6m                       | 1        | \$<br>60.000,00 | \$<br>60.000,00  |

*Nota: elaboración propia.*

### 6.1.3. Costos misceláneos

#### Costos de I&D

Para el presente trabajo, debido a únicamente se trata de aplicar una tecnología existente y no se pretenden obtener nuevos desarrollos, los costos de I&D se asumen despreciables.

#### Provisión para fondos usados durante la construcción (AFUDC)

El costo asociado a la provisión para fondos usados durante la construcción se refiere al costo de la financiación de los proyectos de construcción bien sea a través de préstamos o inversión de parte del patrimonio de la empresa. Éste ítem permite compensar la variación del dinero en el tiempo por el interés que se debe cancelar a las fuentes de financiamiento. Bejan [79] propone que los costos de AFUDC se estimen como un 15% del costo de los activos fijos (FCI).

### 6.2. Costos de operación y mantenimiento

En cuanto a los costos del mantenimiento del sistema fotovoltaico, la Tabla 21 muestra la frecuencia de mantenimiento que debe seguirse de acuerdo con la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), mientras que la Tabla 22 muestra la frecuencia de cambio de los componentes mayores del sistema energético (CREG, 2012).

Tabla 21.

*Frecuencia de mantenimiento para el sistema fotovoltaico.*

| Componente                | Acción mantenimiento          | Periodicidad |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|
| <b>Modulo solar</b>       | Limpieza                      | Trimestral   |
| <b>Regulador de carga</b> | Ajuste de terminales          | Semestral    |
| <b>Baterías</b>           | Recargar agua desmineralizada | Mensual      |
| <b>Inversor</b>           | Ajuste de terminales          | Semestral    |

*Nota: CREG.*

Tabla 22.

*Frecuencia de reemplazo de componentes del sistema fotovoltaico.*

| Componente                | Reemplazos mayores  |
|---------------------------|---------------------|
| <b>Modulo solar</b>       | Cada 20 años máximo |
| <b>Regulador de carga</b> | Cada 10 años máximo |
| <b>Baterías</b>           | Cada 5 años máximo  |
| <b>Inversor</b>           | Cada 10 años máximo |

*Nota: CREG.*

Tabla 23.

*Costo anual de mantenimiento y reemplazo de componentes del sistema fotovoltaico, corregidos de acuerdo a la variación del IPC entre los años 2012 a 2017.*

| Costo reemplazo              | Costo anual   |
|------------------------------|---------------|
| <b>Mantenimiento general</b> | \$ 182.562,59 |
| <b>Regulador de carga</b>    | \$ 26.080,37  |
| <b>Inversor</b>              | \$ 74.515,34  |

*Nota: CREG*

Para el caso del mantenimiento de las instalaciones sanitarias, se toma como base el manual de mantenimiento de la Universidad de Antioquia (s.f.), el cual establece que el equipo de mantenimiento del sistema de bombeo requiere el personal y dedicación mostrado en la Tabla 24. El tiempo de intervención del sistema será semestral.

Tabla 24.

*Personal y dedicación para labores de mantenimiento del sistema de bombeo.*

| Personal | Cantidad | Salario mensual | Dedicación | Costo diario |
|----------|----------|-----------------|------------|--------------|
|----------|----------|-----------------|------------|--------------|

|   |   |                 |      |              |
|---|---|-----------------|------|--------------|
| <b>Ingeniero Mecánico o Electromecánico</b> | 1 | \$ 3.038.160,00 | 25%  | \$ 25.318,00 |
| <b>Oficial Mecánico o Electromecánico</b>   | 1 | \$ 1.302.090,00 | 100% | \$ 43.403,00 |
| <b>Ayudante Mecánico o Electromecánico</b>  | 1 | \$ 781.242,00   | 100% | \$ 26.041,00 |

*Nota: Universidad de Antioquia.*

Se tomará como tiempo de intervención 1 día de trabajo, por lo que el costo de mano de obra de mantenimiento será, de acuerdo al tiempo de intervención mostrado en la Tabla 24, los valores de la mano de obra para el mantenimiento del sistema de bombeo también se muestran en dicha Tabla.

El costo del mantenimiento del sistema de bombeo es difícil de determinar debido al comportamiento aleatorio del tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés), no obstante, la Agencia de Reciclaje de Estados Unidos (US Bureau of Reclamation), recomienda tomar un valor del 5% del costo de inversión (US Bureau of Reclamation, s.f.).

### 6.3. Parámetros de evaluación económica

#### 6.3.1. Valor Presente Neto (VPN)

Para comparar la rentabilidad del sistema uno de los parámetros a emplear el Valor Presente Neto (VPN), que se define como el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión, y se calcula como:

$$VPN = \sum_{n=1}^N Y_n(1+r)^n - I_0$$

Donde  $Y_n$  es el flujo de caja del año de operación  $n$ ,  $I_0$  es el valor de la inversión inicial, y  $r$  es la tasa de rentabilidad deseada. Los parámetros económicos asumidos en la evaluación económica son:

- El periodo de vida del proyecto es 20 años
- La inflación general promedio de los últimos 5 en Colombia es 4.44% (DANE, 2017).
- La tasa de rentabilidad deseada anual es 20% y la tasa de interés del crédito es de 30%
- La depreciación del equipo es lineal y se proyecta sobre toda la vida útil de los equipos.

### 6.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de rendimiento (TIR) es una métrica que mide la rentabilidad de las inversiones potenciales. La tasa interna de rendimiento es una tasa de descuento que hace que el valor presente neto (VPN) de todos los flujos de efectivo de un proyecto en particular sea igual a cero. Los cálculos de TIR dependen de la misma fórmula que NPV.

Esto quiere decir que la TIR es la tasa de rentabilidad ( $r$ ) deseada en la ecuación del VPN, que permite recuperar la inversión inicial en el tiempo de duración del proyecto. En términos generales, cuanto mayor es la tasa interna de rendimiento del proyecto, más deseable es emprender el proyecto.

$$0 = \sum_{n=1}^N Y_n(1 + TIR)^n - I_0$$

Donde  $Y_n$  es el flujo de caja del año de operación  $n$ ,  $I_0$  es el valor de la inversión inicial,  $N$  es el tiempo de duración del proyecto.

La TIR es uniforme para las inversiones de distintos tipos y, como tal, la TIR puede utilizarse para clasificar múltiples proyectos prospectivos que una empresa está considerando de

forma relativamente pareja. Suponiendo que los costos de inversión son iguales entre los diversos proyectos, el proyecto con la mayor TIR probablemente se considere el mejor y se realice primero.

#### **6.4. Evaluación económica**

La Tabla 25 muestra el estado de resultados del primer escenario, en el cual se considera que el mantenimiento hidráulico y eléctrico sea realizado por personal externo a la Universidad de la Costa. Bajo este escenario se observa que en toda la vida útil del proyecto el ahorro de energía y de agua no cubre los gastos operacionales del mismo debido a que sólo se producen cerca de 200 kWh por año mediante el uso del panel de 100 Wp, y el caudal de agua que se obtiene de la condensación es de sólo 6 ml/s en promedio, además de que los aires acondicionados son usados en promedio 14 horas al día de lunes a viernes, y cerca de 9 horas el día sábado, durante 40 semanas al año.

Tabla 25.

*Estado de resultados para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.*

| AÑO DE OPERACIÓN                           | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VENTAS ANUALES                             | 315.283,<br>1 | 329.281,<br>7 | 343.901,<br>8 | 359.171,<br>0 | 375.118,<br>2 | 391.773,<br>5 | 409.168,<br>2 | 427.335,<br>3 | 446.309,<br>0 | 466.125,<br>1 |
| GASTOS DE OPERACIÓN                        |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| <b>Mantenimiento hidráulico y mecánico</b> | 149.027,<br>0 | 155.643,<br>8 | 162.554,<br>4 | 169.771,<br>8 | 177.309,<br>7 | 185.182,<br>2 | 193.404,<br>3 | 201.991,<br>5 | 210.959,<br>9 | 220.326,<br>5 |
| <b>Mantenimiento solar</b>                 | 283.158,<br>3 | 295.730,<br>5 | 308.861,<br>0 | 322.574,<br>4 | 336.896,<br>7 | 351.854,<br>9 | 367.477,<br>3 | 383.793,<br>3 | 400.833,<br>7 | 418.630,<br>7 |
| <b>Depreciación Maquinaria</b>             | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 | 104.330,<br>0 |
| TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN                  | 536.515,<br>3 | 555.704,<br>3 | 575.745,<br>3 | 596.676,<br>2 | 618.536,<br>4 | 641.367,<br>1 | 665.211,<br>6 | 690.114,<br>7 | 716.123,<br>6 | 743.287,<br>2 |
| UTILIDAD OPERACIONAL                       | 221.232,<br>2 | 226.422,<br>7 | 231.843,<br>6 | 237.505,<br>2 | 243.418,<br>2 | 249.593,<br>7 | 256.043,<br>4 | 262.779,<br>4 | 269.814,<br>6 | 277.162,<br>1 |
| <b>Gasto financiero</b>                    | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           |
| OTROS INGRESOS Y EGRESOS                   | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS                | 221.232,<br>2 | 226.422,<br>7 | 231.843,<br>6 | 237.505,<br>2 | 243.418,<br>2 | 249.593,<br>7 | 256.043,<br>4 | 262.779,<br>4 | 269.814,<br>6 | 277.162,<br>1 |
| <b>Provisión para impuestos</b>            | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           |
| UTILIDAD NETA ANUAL                        | 221.232,<br>2 | 226.422,<br>7 | 231.843,<br>6 | 237.505,<br>2 | 243.418,<br>2 | 249.593,<br>7 | 256.043,<br>4 | 262.779,<br>4 | 269.814,<br>6 | 277.162,<br>1 |

*Nota:* elaboración propia.



Tabla 26.

*Estado de resultados para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación)*

| AÑO DE OPERACIÓN                           | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18          | 19          | 20          |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| VENTAS ANUALES                             | 486.821,0 | 508.435,9 | 531.010,4 | 554.587,3 | 579.211,0 | 604.927,9 | 631.786,7 | 659.838,1   | 689.134,9   | 719.732,5   |
| GASTOS DE OPERACIÓN                        |           |           |           |           |           |           |           |             |             |             |
| <b>Mantenimiento hidráulico y mecánico</b> | 230.109,0 | 240.325,8 | 250.996,3 | 262.140,5 | 273.779,6 | 285.935,4 | 298.630,9 | 311.890,1   | 325.738,1   | 340.200,8   |
| <b>Mantenimiento solar</b>                 | 437.217,9 | 456.630,4 | 476.904,8 | 498.079,3 | 520.194,0 | 543.290,7 | 567.412,8 | 592.605,9   | 618.917,6   | 646.397,5   |
| <b>Depreciación Maquinaria</b>             | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0   | 104.330,0   | 104.330,0   |
| TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN                  | 771.656,9 | 801.286,2 | 832.231,1 | 864.549,9 | 898.303,6 | 933.556,1 | 970.373,7 | 1.008.826,0 | 1.048.985,7 | 1.090.928,4 |
| UTILIDAD OPERACIONAL                       | 284.835,9 | 292.850,3 | 301.220,6 | 309.962,6 | 319.092,7 | 328.628,1 | 338.587,0 | 348.988,0   | 359.850,8   | 371.195,9   |
| <b>Gasto financiero</b>                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| OTROS INGRESOS Y EGRESOS                   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS                | 284.835,9 | 292.850,3 | 301.220,6 | 309.962,6 | 319.092,7 | 328.628,1 | 338.587,0 | 348.988,0   | 359.850,8   | 371.195,9   |
| <b>Provisión para impuestos</b>            | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
| UTILIDAD NETA ANUAL                        | 284.835,9 | 292.850,3 | 301.220,6 | 309.962,6 | 319.092,7 | 328.628,1 | 338.587,0 | 348.988,0   | 359.850,8   | 371.195,9   |

*Nota: elaboración propia.*

Tabla 27

*Flujos de caja para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.*

| AÑO DE OPERACIÓN                            | 0               | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             |
|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>INGRESOS</b>                             |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| <b>Por ventas</b>                           |                 | 315.283        | 329.281        | 343.901        | 359.171        | 375.118        | 391.773        | 409.168        | 427.335        | 446.309        | 466.125        |
|   |                 | ,1             | ,7             | ,8             | ,0             | ,2             | ,5             | ,2             | ,3             | ,0             | ,1             |
| <b>TOTAL INGRESOS</b>                       |                 | 315.283        | 329.281        | 343.901        | 359.171        | 375.118        | 391.773        | 409.168        | 427.335        | 446.309        | 466.125        |
|   |                 | ,1             | ,7             | ,8             | ,0             | ,2             | ,5             | ,2             | ,3             | ,0             | ,1             |
| <b>EGRESOS</b>                              |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| <b>Inversión inicial</b>                    | 5.213.27        | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            |
|   | 5,0             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| <b>Mantenimiento hidráulico y eléctrico</b> |                 | 149.027        | 155.643        | 162.554        | 169.771        | 177.309        | 185.182        | 193.404        | 201.991        | 210.959        | 220.326        |
|   |                 | ,0             | ,8             | ,4             | ,8             | ,7             | ,2             | ,3             | ,5             | ,9             | ,5             |
| <b>Mantenimiento solar</b>                  |                 | 283.158        | 295.730        | 308.861        | 322.574        | 336.896        | 351.854        | 367.477        | 383.793        | 400.833        | 418.630        |
|   |                 | ,3             | ,5             | ,0             | ,4             | ,7             | ,9             | ,3             | ,3             | ,7             | ,7             |
| <b>Gasto financiero</b>                     |                 | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            |
| <b>Pago de Impuestos</b>                    |                 | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            | 0,0            |
| <b>TOTAL EGRESOS</b>                        | 5.213.27        | 432.185        | 451.374        | 471.415        | 492.346        | 514.206        | 537.037        | 560.881        | 585.784        | 611.793        | 638.957        |
|   | 5,0             | ,3             | ,3             | ,3             | ,2             | ,4             | ,1             | ,6             | ,7             | ,6             | ,2             |
| <b>FLUJO NETO</b>                           | <b>5.213.27</b> | <b>116.902</b> | <b>122.092</b> | <b>127.513</b> | <b>133.175</b> | <b>139.088</b> | <b>145.263</b> | <b>151.713</b> | <b>158.449</b> | <b>165.484</b> | <b>172.832</b> |
|   | <b>5,0</b>      | <b>,2</b>      | <b>,7</b>      | <b>,6</b>      | <b>,2</b>      | <b>,2</b>      | <b>,7</b>      | <b>,4</b>      | <b>,4</b>      | <b>,6</b>      | <b>,1</b>      |

*Nota: elaboración propia.*

Tabla 28.

*Flujos de caja para el primer escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación).*

| AÑO DE OPERACIÓN                            | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>INGRESOS</b>                             |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>Por ventas</b>                           | 486.82 | 508.43 | 531.01 | 554.58 | 579.21 | 604.92 | 631.78 | 659.83 | 689.13 | 719.73 |
|   | 1,0    | 5,9    | 0,4    | 7,3    | 1,0    | 7,9    | 6,7    | 8,1    | 4,9    | 2,5    |
| <b>TOTAL INGRESOS</b>                       | 486.82 | 508.43 | 531.01 | 554.58 | 579.21 | 604.92 | 631.78 | 659.83 | 689.13 | 719.73 |
|   | 1,0    | 5,9    | 0,4    | 7,3    | 1,0    | 7,9    | 6,7    | 8,1    | 4,9    | 2,5    |
| <b>EGRESOS</b>                              |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>Inversión inicial</b>                    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| <b>Mantenimiento hidráulico y eléctrico</b> | 230.10 | 240.32 | 250.99 | 262.14 | 273.77 | 285.93 | 298.63 | 311.89 | 325.73 | 340.20 |
|   | 9,0    | 5,8    | 6,3    | 0,5    | 9,6    | 5,4    | 0,9    | 0,1    | 8,1    | 0,8    |
| <b>Mantenimiento solar</b>                  | 437.21 | 456.63 | 476.90 | 498.07 | 520.19 | 543.29 | 567.41 | 592.60 | 618.91 | 646.39 |
|   | 7,9    | 0,4    | 4,8    | 9,3    | 4,0    | 0,7    | 2,8    | 5,9    | 7,6    | 7,5    |
| <b>Gasto financiero</b>                     | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| <b>Pago de Impuestos</b>                    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| <b>TOTAL EGRESOS</b>                        | 667.32 | 696.95 | 727.90 | 760.21 | 793.97 | 829.22 | 866.04 | 904.49 | 944.65 | 986.59 |
|   | 6,9    | 6,2    | 1,1    | 9,9    | 3,6    | 6,1    | 3,7    | 6,0    | 5,7    | 8,4    |
| <b>FLUJO NETO</b>                           | 180.50 | 188.52 | 196.89 | 205.63 | 214.76 | 224.29 | 234.25 | 244.65 | 255.52 | 266.86 |
|   | 5,9    | 0,3    | 0,6    | 2,6    | 2,7    | 8,1    | 7,0    | 8,0    | 0,8    | 5,9    |

*Nota: elaboración propia.*

Tabla 29.

*Estado de resultados para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.*

| AÑO DE OPERACIÓN                           | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| VENTAS ANUALES                             | 315.283,1 | 329.281,7 | 343.901,8 | 359.171,0 | 375.118,2 | 391.773,5 | 409.168,2 | 427.335,3 | 446.309,0 | 466.125,1 |
| GASTOS DE OPERACIÓN                        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Mantenimiento hidráulico y mecánico</b> | 11.585,0  | 12.099,4  | 12.636,6  | 13.197,7  | 13.783,6  | 14.395,6  | 15.034,8  | 15.702,3  | 16.399,5  | 17.127,7  |
| <b>Mantenimiento solar</b>                 | 283.158,3 | 295.730,5 | 308.861,0 | 322.574,4 | 336.896,7 | 351.854,9 | 367.477,3 | 383.793,3 | 400.833,7 | 418.630,7 |
| <b>Depreciación Maquinaria</b>             | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 |
| TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN                  | 399.073,3 | 412.159,9 | 425.827,6 | 440.102,0 | 455.010,3 | 470.580,5 | 486.842,0 | 503.825,6 | 521.563,2 | 540.088,3 |
| UTILIDAD OPERACIONAL                       | 83.790,2  | 82.878,2  | 81.925,8  | 80.931,0  | 79.892,1  | 78.807,1  | 77.673,9  | 76.490,3  | 75.254,2  | 73.963,3  |
| <b>Gasto financiero</b>                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| OTROS INGRESOS Y EGRESOS                   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS                | 83.790,2  | 82.878,2  | 81.925,8  | 80.931,0  | 79.892,1  | 78.807,1  | 77.673,9  | 76.490,3  | 75.254,2  | 73.963,3  |
| <b>Provisión para impuestos</b>            | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| UTILIDAD NETA ANUAL                        | 83.790,2  | 82.878,2  | 81.925,8  | 80.931,0  | 79.892,1  | 78.807,1  | 77.673,9  | 76.490,3  | 75.254,2  | 73.963,3  |

*Nota: elaboración propia.*

Tabla 30.

*Estado de resultados para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación).*

| AÑO DE OPERACIÓN                           | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        | 19        | 20        |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| VENTAS ANUALES                             | 486.821,0 | 508.435,9 | 531.010,4 | 554.587,3 | 579.211,0 | 604.927,9 | 631.786,7 | 659.838,1 | 689.134,9 | 719.732,5 |
| GASTOS DE OPERACIÓN                        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Mantenimiento hidráulico y mecánico</b> | 17.888,1  | 18.682,4  | 19.511,8  | 20.378,2  | 21.283,0  | 22.227,9  | 23.214,8  | 24.245,6  | 25.322,1  | 26.446,4  |
| <b>Mantenimiento solar</b>                 | 437.217,9 | 456.630,4 | 476.904,8 | 498.079,3 | 520.194,0 | 543.290,7 | 567.412,8 | 592.605,9 | 618.917,6 | 646.397,5 |
| <b>Depreciación Maquinaria</b>             | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 | 104.330,0 |
| TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN                  | 559.436,0 | 579.642,7 | 600.746,6 | 622.787,5 | 645.807,0 | 669.848,6 | 694.957,6 | 721.181,5 | 748.569,7 | 777.173,9 |
| UTILIDAD OPERACIONAL                       | 72.615,0  | 71.206,8  | 69.736,2  | 68.200,2  | 66.596,0  | 64.920,7  | 63.170,9  | 61.343,4  | 59.434,8  | 57.441,5  |
| <b>Gasto financiero</b>                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| OTROS INGRESOS Y EGRESOS                   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS                | 72.615,0  | 71.206,8  | 69.736,2  | 68.200,2  | 66.596,0  | 64.920,7  | 63.170,9  | 61.343,4  | 59.434,8  | 57.441,5  |
| <b>Provisión para impuestos</b>            | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| UTILIDAD NETA ANUAL                        | 72.615,0  | 71.206,8  | 69.736,2  | 68.200,2  | 66.596,0  | 64.920,7  | 63.170,9  | 61.343,4  | 59.434,8  | 57.441,5  |

*Nota: elaboración propia.*

Tabla 31.

*Flujos de caja para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP.*

| AÑO DE OPERACIÓN                            | 0                  | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|---|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>INGRESOS</b>                             |                    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Por ventas</b>                           |                    | 315.283   | 329.281   | 343.901   | 359.171   | 375.118   | 391.773   | 409.168   | 427.335   | 446.309   | 466.125   |
|   |                    | ,1        | ,7        | ,8        | ,0        | ,2        | ,5        | ,2        | ,3        | ,0        | ,1        |
| <b>TOTAL INGRESOS</b>                       |                    | 315.283   | 329.281   | 343.901   | 359.171   | 375.118   | 391.773   | 409.168   | 427.335   | 446.309   | 466.125   |
|   |                    | ,1        | ,7        | ,8        | ,0        | ,2        | ,5        | ,2        | ,3        | ,0        | ,1        |
| <b>EGRESOS</b>                              |                    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Inversión inicial</b>                    | 5.213.275,0        | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>Mantenimiento hidráulico y eléctrico</b> |                    | 11.585,0  | 12.099,4  | 12.636,6  | 13.197,7  | 13.783,6  | 14.395,6  | 15.034,8  | 15.702,3  | 16.399,5  | 17.127,7  |
| <b>Mantenimiento solar</b>                  |                    | 283.158,3 | 295.730,5 | 308.861,0 | 322.574,4 | 336.896,7 | 351.854,9 | 367.477,3 | 383.793,3 | 400.833,7 | 418.630,7 |
| <b>Gasto financiero</b>                     |                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>Pago de Impuestos</b>                    |                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>TOTAL EGRESOS</b>                        | 5.213.275,0        | 294.743,3 | 307.829,9 | 321.497,6 | 335.772,0 | 350.680,3 | 366.250,5 | 382.512,0 | 399.495,6 | 417.233,2 | 435.758,3 |
| <b>FLUJO NETO</b>                           | <b>5.213.275,0</b> | 20.539,8  | 21.451,8  | 22.404,2  | 23.399,0  | 24.437,9  | 25.522,9  | 26.656,1  | 27.839,7  | 29.075,8  | 30.366,7  |

*Nota: elaboración propia.*



Tabla 32.

*Flujos de caja para el segundo escenario. Valores en rojo indican valores negativos. Valores en COP. (Continuación)*

| AÑO DE OPERACIÓN                            | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        | 19        | 20        |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>INGRESOS</b>                             |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Por ventas</b>                           | 486.821,0 | 508.435,9 | 531.010,4 | 554.587,3 | 579.211,0 | 604.927,9 | 631.786,7 | 659.838,1 | 689.134,9 | 719.732,5 |
| <b>TOTAL INGRESOS</b>                       | 486.821,0 | 508.435,9 | 531.010,4 | 554.587,3 | 579.211,0 | 604.927,9 | 631.786,7 | 659.838,1 | 689.134,9 | 719.732,5 |
| <b>EGRESOS</b>                              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>Inversión inicial</b>                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>Mantenimiento hidráulico y eléctrico</b> | 17.888,1  | 18.682,4  | 19.511,8  | 20.378,2  | 21.283,0  | 22.227,9  | 23.214,8  | 24.245,6  | 25.322,1  | 26.446,4  |
| <b>Mantenimiento solar</b>                  | 437.217,9 | 456.630,4 | 476.904,8 | 498.079,3 | 520.194,0 | 543.290,7 | 567.412,8 | 592.605,9 | 618.917,6 | 646.397,5 |
| <b>Gasto financiero</b>                     | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>Pago de Impuestos</b>                    | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       |
| <b>TOTAL EGRESOS</b>                        | 455.106,0 | 475.312,7 | 496.416,6 | 518.457,5 | 541.477,0 | 565.518,6 | 590.627,6 | 616.851,5 | 644.239,7 | 672.843,9 |
| <b>FLUJO NETO</b>                           | 31.715,0  | 33.123,2  | 34.593,8  | 36.129,8  | 37.734,0  | 39.409,3  | 41.159,1  | 42.986,6  | 44.895,2  | 46.888,5  |

*Nota: elaboración propia.*

En vista de que el primer escenario arroja flujos de caja negativos, como se observa en la Tabla 26, se propone otro escenario en el cual la Universidad de la Costa asumiría con su personal de planta la mano de obra para el mantenimiento hidráulico y eléctrico. Con esto el gasto del mantenimiento hidráulico y eléctrico se reduciría al 5% del costo de inversión en el sistema de bombeo. Bajo este escenario se observa que después del primer año de operación el flujo de caja es positivo, indicando un ahorro anual progresivo en cada año de operación. Sin embargo, la TIR de este escenario es de -34,1% indicando que en el tiempo de operación del proyecto no se logra recuperar la inversión inicial de \$5.213.275 COP que cuesta el proyecto.

A partir de los resultados del análisis económico se puede afirmar que no es suficiente con analizar el proyecto de forma aislada. La instalación en este edificio en particular no arroja los suficientes beneficios para recuperar el costo de la inversión inicial. Se hace necesario analizar las opciones de reducción de los costos de mantenimiento al aprovechar el recurso humano que ya tiene la Universidad para hacer los mantenimientos en la parte eléctrica e hidráulica dado que el mantenimiento de los paneles, el regulador de carga, el inversor y la batería, correspondiente al sistema de alimentación energética lo hace un personal externo.

Por otra parte se hace necesario extender el ejercicio de ahorro de agua a toda la Universidad e incorporar el ahorro en la contabilidad general de la misma con el fin de incluir los incentivos de la ley 1715 de 2014 por este tipo de inversiones y determinar si es viable financieramente gracias a las deducciones para el impuesto de renta o bien la depreciación acelerada de los equipos, la cual no puede superar el 20% por año. En ambos escenarios la depreciación no supera el 5% del valor de los equipos puesto que se cumple con lo dispuesto en la ley 1715 de 2014.

## Conclusiones

Luego de la toma de muestras se procedió a la caracterización físico químico y microbiológico de la fuente hídrica ubicada en el bloque 10 de la CUC, con el fin de demostrar que estas cumplen con las condiciones mínimas requerida por las autoridades colombianas. Entre las características destacadas está el hecho de que las propiedades organolépticas que poseía el agua es un líquido carente de olores como el cloro y que su color es transparente, lo cual comparado con la norma establecida en Colombia, la resolución 2115 de 2007, se demuestra que tanto la conductividad como la turbiedad de esta muestra está dentro de los parámetros establecidos por la norma para el agua potable, reafirmando así que nuestra agua es de tonalidad cristalina.

Posteriormente se llegó al diseño del sistema de recolección, tratamiento y distribución de agua, el cual estaba compuesta por la recolección y conducción del agua, almacenamiento, tratamiento y transporte y alimentación energética. De este modo, se presentaron algunos sistemas de tratamiento de agua que pueden servir como base para el diseño del sistema deseado, de los cuales se escogió el tratamiento de agua por filtro multimedia o también llamado lecho profundo compuesto por sílice, grava sílice y carbón activado los cuales retienen y eliminan olores además de una gran cantidad de patógenos y sólidos, atrapando cada una de estas partículas en las diversas capas.

Este se eligió debido ya que es sistema muy versátil y completo que podía cumplir todas las necesidades físico-químicas del proyecto en materia de purificación y extracción de partículas sólidas presentes en el agua. Se procedió a realizar el diseño hidráulico del sistema, el tanque elegido era de color negra, de material higiénico y no se corrompen, también se determinaron las

perdida del sistema con el fin de determinar la velocidad tubería de PVC que conecta el tanque de captación y el pozo. Por otra parte se determinó el sistema de bombeo y el sistema de alimentación con paneles solares, donde se analizó la declinación solar mensual y la inclinación óptima mensual para la obtención de la radiación global diaria óptima sobre una superficie inclinada. También se determinaron las horas solares pico por día (HSP/día) con el fin de determinar que la única energía consumida en el sistema es la bomba y es suficiente para mantener el fluido en operación ya que la válvula del filtro multimedia se escogió para operación manual y no electrónica.

Finalmente se procedió al análisis económico del sistema a través del cálculo del costo total del capital a invertir, entre los activos fijos que corresponden a los costos directos de los equipos, instrumentación y demás componentes del sistema, así como los costos indirectos de los servicios asociados a la instalación del mismo, estuvieron el Tanque de almacenamiento, sistema de bombeo, sistema de filtración, sistema de suministro energético. Sobre los costos de la operación como instalación y montaje el costo por día de cada operario es un salario mínimo legal diario (\$ 26.041) y para el supervisor dos salarios mínimos legales diarios (\$52.082).

Según el TIR, para que el proyecto sea viable se hace necesario analizar las opciones de reducción de los costos de mantenimiento al aprovechar el recurso humano que ya tiene la Universidad para hacer los mantenimientos en la parte eléctrica e hidráulica dado que el mantenimiento de los paneles, el regulador de carga, el inversor y la batería, correspondiente al sistema de alimentación energética lo hace un personal externo. Además de esto, es necesario que se extiende el ahorro de agua a toda la Universidad con el fin de que este tipo de inversiones sean viables financieramente gracias a las deducciones para el impuesto de renta o bien la

depreciación acelerada de los equipos, la cual no puede superar el 20% por año, según la ley 1715 de 2014.

### Recomendaciones

- Se recomienda un estudio simultáneo para la reducción del consumo de energía de los aires acondicionados.
- Se recomienda hacer un estudio para eliminar el consumo de agua de la red.
- También se recomienda que el sistema de recolección, tratamiento y distribución de agua sea aplicado a otras edificaciones de la misma universidad o incluso de otras, ya que en la actualidad el ahorro de agua es un elemento vital para las personas.
- Finalmente se recomienda que los futuros investigadores tomen como punto de partida esta investigación sobre el diseño de sistemas de recolección, tratamiento y distribución de aguas grises, como una forma de contribución al campo educativo de la ingeniería en esta área.

### Bibliografía

- Acevedo, F. (20016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Universidad nacional abierta y a distancia José Acevedo y Gómez.  
Recuperado de  
<http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/11352/1/10097742.pdf>
- Aguasistec. (2017). *Filtro de Carbón Activado*. Recuperado de <http://www.aguasistec.com/filtro-de-carbon-activado.php>
- Aristizabal, S. y Arbeláez, S. (2013). *Configuración de la cadena de suministro para la comercialización de sistemas de energía fotovoltaicos en Colombia*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Trabajo de grado. Recuperado de:  
<https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/319/1/INDU0208.pdf>
- Bejan, Tsatsaronis & Moran. (s.f.). *Thermal Analysis and optimization*. Wiley.
- Cabas, G., y Garrido, M. (2011). *Análisis comparativo de costos para un proyecto de hotel y oficinas leed certificado 3.0-2009 en la ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Alcalá, España: Elecé Industria Gráfica.

Chávez Márquez, Manuel; 2005, “Dinámicas de interdependencia y seguridad: Población, desarrollo y agua en la política pública en la frontera Estados Unidos- México”, en: Cortez Lara, Alfonso Andrés; Whiteford, Scott; Chávez Márquez, Manuel, 2005, *Seguridad, agua y desarrollo. El futuro de la frontera México- Estados Unidos.* , Colegio de la Frontera Norte, Tijuana B.C.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (s.f.). *Programa LEED en Colombia.*

Recuperado de <https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-leed/>

Consejo de Construcción Sostenible de Paraguay. (2015). *Crece certificación LEED en*

*Latinoamérica.* Recuperado de <http://www.paraguaygbc.org/2013/07/crece-certificacion-leed-en-latinoamerica/>

CREG. (2012). *Inversiones y gastos de AOM para la actividad de generación en zonas no interconectadas utilizando recursos renovables.*

[http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/corpoema\\_zni\\_aom.pdf](http://www.creg.gov.co/phocadownload/presentaciones/corpoema_zni_aom.pdf)

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). *Índice de Precios al*

*Consumidor (IPC). Variaciones porcentuales 2002-2017.* Recuperado de

<http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc>

E. POINT. Recuperado de [http://www.enerpoint.es/photovoltaic\\_technology\\_2.php](http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_2.php).

Escuela Superior de Administración Pública ESAP. (2016). *Diseño del plan de uso eficiente y*

*ahorro de agua de la escuela superior de administración pública – ESAP.* Recuperado de



[http://www.esap.edu.co/portal/download/plan\\_ambiental/5.Programa-de-Uso-Eficiente-y-Ahorro-de-Agua-PUEAA.pdf](http://www.esap.edu.co/portal/download/plan_ambiental/5.Programa-de-Uso-Eficiente-y-Ahorro-de-Agua-PUEAA.pdf)

Espinal, C. Ocampo, D. Rojas, J. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Universidad tecnológica de Pereira*. Recuperado de

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4349/62167E77C.pdf;jsessionid=599A6E33A21972B84930736A36ADA053?sequence=1>

Facultad de minas. (2016). *“SARA”, el proyecto que busca reutilizar las aguas grises*.

Recuperado de <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/facultad/764-sara-el-proyecto-que-busca-reutilizar-las-aguas-grises>

Franco, M. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación caso en Chile*.

Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.

Gutiérrez, N. (2005). *Foro proyecto de ley de aguas*. Recuperado de:

[http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/memorias\\_ley%20del%20agua%20foro\\_congreso%20de%20la%20rep%C3%BAblica\\_marzo\\_2005.pdf](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/memorias_ley%20del%20agua%20foro_congreso%20de%20la%20rep%C3%BAblica_marzo_2005.pdf)

Google Patents, 2005, p.1).

<https://patents.google.com/patent/ES2307355A1/es2011https://www.google.com/patents/WO2011144779A1?cl=es&dq=WO2011144779A1&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiRtfOQt5HWAhVL4yYKHUToAwYQ6AEIKDAA>

Kestler, P. (2004). *Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda*. Universidad Rafael Landívar.

Instituto Tecnológico y de Energías. *Energía solar fotovoltaica*. Recuperado de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf)

Leal, M. (s.f.). *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones*. Ciudad de México, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

León, E. (2008). “Guía del agua y construcción sustentable” Ciudad de México, México: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental AC.

López, J. Burgos, A. Del río, H y otros. (s.F). *El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural*.

Montaño, J. (2002). *Guía de ahorro y uso eficiente del agua*. Centro nacional de Producción Más Limpia y tecnología Ambientales Ministerio del Medio Ambiente (CNPMLTA).  
Recuperado de [http://crc.gov.co/files/GestionAmbiental/RHidrico/Guia\\_MAVDT.pdf](http://crc.gov.co/files/GestionAmbiental/RHidrico/Guia_MAVDT.pdf)

MacGill, I., and Watt, M., 2015, “Chapter 10 - Economics of Solar PV Systems with Storage, in Main Grid and Mini-Grid Settings A2 - Sørensen, Bent,” Solar Energy Storage, Academic Press, Boston, pp. 225–244.

Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).  
Recuperado de [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5.\\_Sistemas\\_de\\_potabilizacion.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacion.pdf)

---

. (2014).

*Disposiciones y normativas para el uso de aguas residuales: Resolución 1207.*

Recuperado de

[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_1207\\_2014.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf)

Ministerio de protección social y de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial. (2007). *La*

*Resolución 2115 de 2007.* Recuperado de

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>

INCONTEC. (2004). NTC 1500 sobre el Código Colombiano de Fontanería. Recuperado de

<https://es.slideshare.net/farnebar70/ntc-1500-codigo-colombiano-de-fontanera>

Olivares, Emir (2015). Desarrolla la UNAM planta de energía solar para tratar agua. *La Jornada.*

Recuperado de

<http://www.jornada.unam.mx/2015/01/22/index.php?section=ciencias&article=a02n1cie&partner=rss>

Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como*

*alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María*

*Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Gestión y Ambiente, 13(2), 25-40.* Recuperado de

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392>

Plante, R. H., 2014, "Chapter Five - Solar Photovoltaic Systems," *Solar Energy, Photovoltaics, and Domestic Hot Water...*, R.H. Plante, ed., Academic Press, Boston, pp. 75–92.

PROCARSA. (2004). *Concepto fundamental de acondicionamiento de aire*. Recuperado de [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjw\\_oyogrrWAhXMOCYKHS7AaUQFggwMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F14629%2F5%2FCap1.doc&usg=AFQjCNFyZFUdRU0cNhAqgLt91rL5ODMuEg](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjw_oyogrrWAhXMOCYKHS7AaUQFggwMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.dspace.espol.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F14629%2F5%2FCap1.doc&usg=AFQjCNFyZFUdRU0cNhAqgLt91rL5ODMuEg)

Robles, M. (2013). *Reutilización de aguas residuales. Aplicación al riego de campos de golf*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70486/fichero/TFM+MARINA+ROBLES+GARCIA+FINAL.pdf>

Susunaga, J. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica De Colombia. Recuperado de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1727/1/CONSTRUCCI%C3%93N%20SOSTENIBLE%2C%20UNA%20ALTERNATIVA%20PARA%20LA%20EDIFICACI%C3%93N%20DE%20VIVIENDAS%20DE%20INTERES%20SOCIAL%20Y%20PRIORITARIO.pdf>

Trujillo, D. (s, f). *Sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. Recuperado de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/6/inicio.html>

Universidad de Antioquia. (s.f.). *Dirección de gestión de logística y de infraestructura. Especificaciones técnicas mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de bombeo de agua de las sedes de la Universidad de Antioquia*. Recuperado de

<http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/ebde3562-ffaa-44dc-9553-2379c8f2f5ca/especificaciones-tecnicas.pdf?MOD=AJPERES>

US Bureau of Reclamation. (s.f.). *Park City & Snyderville Basin Water Supply Study*.

Recuperado de <https://www.usbr.gov/uc/provo/rm/snyderville/pdfs/appdx.pdf>

## Anexos

## Anexo 1. Tiempo que se obtuvieron en determinadas horas del día.

Tabla 1.

Tiempos tomados el día lunes. Fuente propia.

| Hora         | HOJA DE TRABAJO ( tiempo medido en segundos) |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|              | tiempo 1                                     | tiempo 2 | tiempo 3 | tiempo 4 | tiempo 5 | tiempo 6 | tiempo 7 | tiempo 8 | tiempo 9 | tiempo 10 |
| <b>LUNES</b> |  |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| <b>07:00</b> | 24,67  | 26,02    | 25,32    | 24,91    | 26,02    | 27,01    | 26,63    | 25,72    | 25,41    | 25,82     |
| <b>08:00</b> | 15,25  | 15,21    | 14,97    | 15,27    | 14,99    | 14,77    | 14,96    | 15,44    | 14,58    | 15,35     |
| <b>09:00</b> | 15,8   | 16,23    | 16,06    | 16,33    | 16,36    | 15,96    | 15,9     | 16,11    | 16,02    | 15,91     |
| <b>10:00</b> | 15,58  | 14,63    | 14,95    | 15,02    | 15,28    | 15,26    | 14,74    | 15,4     | 15,33    | 15,39     |
| <b>11:00</b> | 16,15  | 15,59    | 15,13    | 15,54    | 15,87    | 16,07    | 15,07    | 15,45    | 15,86    | 14,85     |
| <b>12:00</b> | 16,66  | 15,91    | 16,45    | 16,08    | 15,5     | 16,19    | 16,3     | 15,79    | 15,94    | 16,07     |
| <b>13:00</b> | 17,46  | 17,87    | 16,45    | 16,55    | 17,35    | 17,48    | 16,28    | 17,34    | 15,89    | 16,08     |
| <b>14:00</b> | 15,34  | 15,66    | 16,02    | 16,8     | 15,88    | 15,72    | 16,23    | 16,31    | 16,23    | 15,96     |
| <b>15:00</b> | 14,61  | 14,6     | 15,01    | 14,86    | 15,03    | 14,79    | 14,43    | 14,7     | 15       | 14,54     |
| <b>16:00</b> | 16,89  | 16,2     | 16,52    | 16,49    | 15,87    | 16,78    | 16,61    | 15,91    | 16,34    | 16,22     |
| <b>17:00</b> | 15,8   | 15,46    | 15,32    | 14,89    | 14,74    | 15,23    | 15,12    | 14,88    | 14,67    | 14,69     |
| <b>18:00</b> | 14,12  | 14,3     | 14,28    | 14,34    | 14,76    | 14,32    | 15,01    | 14,85    | 14,77    | 14,12     |
| <b>19:00</b> | 13,23  | 13,6     | 14,3     | 14,03    | 13,89    | 13,7     | 13,62    | 13,47    | 14,11    | 13,81     |
| <b>20:00</b> | 13,46  | 13,87    | 14,09    | 13,36    | 14,23    | 13,56    | 14,78    | 13,34    | 14,1     | 14,65     |
| <b>21:00</b> | 13,08  | 12,78    | 12,56    | 13,01    | 11,78    | 12,15    | 11,45    | 12,43    | 12,23    | 11,5      |

Nota: elaboración propia.

Tabla 2.

Tiempos tomados el día martes.

| <b>Hora</b><br><b>MARTES</b> | <b>HOJA DE TRABAJO ( tiempo medido en segundos)</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                              | tiempo 1  | tiempo 2 | tiempo 3 | tiempo 4 | tiempo 5 | tiempo 6 | tiempo 7 | tiempo 8 | tiempo 9 | tiempo 10 |
| <b>07:00</b>                 | 34,45   | 36,15    | 36,41    | 33,92    | 34,62    | 35,4     | 35,1     | 34,21    | 35,02    | 34,76     |
| <b>08:00</b>                 | 16,77   | 17,36    | 16,1     | 15,96    | 15,94    | 16,45    | 18,3     | 18,07    | 17,44    | 19,09     |
| <b>09:00</b>                 | 14,02   | 13,71    | 13,85    | 13,8     | 13,71    | 14,12    | 13,07    | 13,56    | 12,77    | 14,02     |
| <b>10:00</b>                 | 13,45   | 14,18    | 14,12    | 13,85    | 14,8     | 14,68    | 13,99    | 14,82    | 15       | 14,03     |
| <b>11:00</b>                 | 15,99   | 17,51    | 18,08    | 17,7     | 17,51    | 17,12    | 16,78    | 17,62    | 15,81    | 18,8      |
| <b>12:00</b>                 | 20,64   | 19,7     | 19,45    | 19,5     | 20,13    | 20,77    | 21,16    | 21,46    | 21,59    | 22,08     |
| <b>13:00</b>                 | 21,28   | 21,21    | 21,52    | 21,72    | 21,28    | 21,35    | 21,58    | 21,66    | 21,96    | 21,9      |
| <b>14:00</b>                 | 19,45   | 18,89    | 19,22    | 17,76    | 18,44    | 18,81    | 16,82    | 17,67    | 20,04    | 19,1      |
| <b>15:00</b>                 | 21,48   | 20,5     | 19,1     | 17,54    | 23,19    | 24,24    | 27,76    | 22,51    | 22,73    | 25,2      |
| <b>16:00</b>                 | 18,45   | 19,06    | 18,94    | 18,55    | 18,69    | 18,53    | 19,19    | 19,06    | 19,52    | 19,01     |
| <b>17:00</b>                 | 30,28   | 36,73    | 29,2     | 29,8     | 36,01    | 30,83    | 29,4     | 32,54    | 28,04    | 29,33     |
| <b>18:00</b>                 | 14,36   | 15,09    | 15,47    | 16,07    | 14,9     | 14,78    | 15,59    | 14,46    | 15,46    | 14,56     |
| <b>19:00</b>                 | 13,49   | 14,09    | 14,37    | 15,02    | 13,7     | 13,9     | 14,69    | 13,76    | 14,02    | 14,56     |
| <b>20:00</b>                 | 12,91   | 13,09    | 12,98    | 13,33    | 12,67    | 13,17    | 12,89    | 13,76    | 12,56    | 13,67     |
| <b>21:00</b>                 | 12,89   | 13,76    | 14,16    | 14,69    | 13,97    | 14,9     | 14,27    | 13,48    | 14,27    | 13,56     |

*Nota:* elaboración propia.

*Tabla 3.*

Tiempos tomados el día miércoles.

| <b>Hora<br/>MIÉ<br/>R.</b> | <b>HOJA DE TRABAJO ( tiempo medido en segundos)</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|----------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                            | tiempo 1  | tiempo 2 | tiempo 3 | tiempo 4 | tiempo 5 | tiempo 6 | tiempo 7 | tiempo 8 | tiempo 9 | tiempo 10 |
| <b>07:00</b>               | 23,24   | 28,38    | 21,26    | 20,72    | 25,03    | 24,61    | 24,51    | 27,31    | 23,26    | 24,76     |
| <b>08:00</b>               | 19,45   | 18,89    | 19,04    | 18,78    | 19,28    | 18,69    | 19,26    | 17,79    | 18,09    | 17,6      |
| <b>09:00</b>               | 22  | 21,65    | 19,43    | 19,35    | 17,78    | 19,97    | 19,92    | 24,11    | 21,09    | 22,2      |
| <b>10:00</b>               | 21,16   | 20,12    | 18,74    | 21,34    | 18,27    | 18,57    | 21,47    | 18,92    | 18,47    | 19,71     |
| <b>11:00</b>               | 21,7  | 19,4     | 20,1     | 19       | 21,3     | 18,4     | 19,2     | 21       | 19,8     | 18,7      |
| <b>12:00</b>               | 22,01   | 20,2     | 22,06    | 21,66    | 21,15    | 22,28    | 20,29    | 20,18    | 19,93    | 20,84     |
| <b>13:00</b>               | 31,43   | 27,21    | 26,43    | 28,44    | 27,89    | 31,84    | 26,01    | 26,56    | 25,35    | 26,35     |
| <b>14:00</b>               | 25,4  | 24,79    | 24,57    | 25,35    | 25,98    | 24,75    | 24,16    | 25,13    | 25,42    | 24,37     |
| <b>15:00</b>               | 20,22   | 21,18    | 20,15    | 22,08    | 21,19    | 20,32    | 20,05    | 21,24    | 20,1     | 21,86     |
| <b>16:00</b>               | 19,78   | 19,97    | 18,35    | 17,8     | 18,56    | 19,21    | 19,07    | 18,68    | 19,43    | 18,12     |
| <b>17:00</b>               | 17,45   | 16,06    | 18,23    | 19,37    | 15,21    | 17,55    | 18,37    | 17,29    | 18,28    | 16,09     |
| <b>18:00</b>               | 15,56   | 17,62    | 14,55    | 13,42    | 15,6     | 14,22    | 14,77    | 13,88    | 16,27    | 17,01     |
| <b>19:00</b>               | 14,81   | 13,74    | 14,26    | 13,42    | 13,9     | 13,72    | 13,19    | 13,33    | 13,85    | 14,18     |
| <b>20:00</b>               | 14,25   | 13,38    | 13,49    | 15,46    | 14       | 14,03    | 13,56    | 13,83    | 13,88    | 14,41     |
| <b>21:00</b>               | 13,2  | 13,56    | 14,23    | 13,61    | 14,7     | 15,09    | 13,55    | 15,07    | 14,28    | 13,38     |

*Nota:* elaboración propia.

*Tabla 4.*



Tiempos tomados el día jueves.

| <b>Hora</b>   | <b>HOJA DE TRABAJO ( tiempo medido en segundos)</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|---------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|               | tiempo 1  | tiempo 2 | tiempo 3 | tiempo 4 | tiempo 5 | tiempo 6 | tiempo 7 | tiempo 8 | tiempo 9 | tiempo 10 |
| <b>JUEVES</b> |   |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| <b>07:00</b>  | 26,28   | 25,68    | 26,23    | 26,28    | 24,72    | 25,66    | 25,07    | 26,24    | 25,31    | 25,94     |
| <b>08:00</b>  | 22,9  | 22,57    | 23,45    | 21,78    | 23,41    | 25,48    | 20,95    | 22,65    | 23,2     | 22,61     |
| <b>09:00</b>  | 19,96   | 18,68    | 19,6     | 20,24    | 19,26    | 17,81    | 19,28    | 17,88    | 18,25    | 16,43     |
| <b>10:00</b>  | 17,41   | 16,78    | 15,41    | 16,43    | 17,28    | 17,83    | 15,05    | 15,68    | 15,18    | 18,55     |
| <b>11:00</b>  | 17,18   | 16,7     | 16,65    | 17,18    | 16,61    | 18,03    | 18,3     | 17,71    | 17,18    | 17,55     |
| <b>12:00</b>  | 17,11   | 14,83    | 17,31    | 16,63    | 15,83    | 17,15    | 17,01    | 18,28    | 18,05    | 16,89     |
| <b>13:00</b>  | 17,35   | 15,16    | 17,8     | 16,9     | 17,52    | 17,14    | 17,74    | 17,88    | 18,01    | 17,9      |
| <b>14:00</b>  | 15,49   | 16,01    | 15,14    | 16,06    | 16,8     | 15,26    | 15,4     | 16,06    | 15,71    | 15,95     |
| <b>15:00</b>  | 17,02   | 16,94    | 16,1     | 16,97    | 17,19    | 15,4     | 16,06    | 16,65    | 18,04    | 17,63     |
| <b>16:00</b>  | 17,18   | 18,95    | 18,06    | 19,16    | 18,57    | 18,02    | 18,32    | 19,63    | 17,95    | 20,06     |
| <b>17:00</b>  | 19,81   | 19,9     | 19,96    | 19,72    | 19,48    | 19,28    | 19,55    | 19,66    | 19,83    | 19,61     |
| <b>18:00</b>  | 16,15   | 16,18    | 16,2     | 16,13    | 16,11    | 16,31    | 16,04    | 15,56    | 16,2     | 15,92     |
| <b>19:00</b>  | 12,18   | 11,81    | 11,86    | 12,65    | 12,23    | 11,56    | 11,76    | 11,53    | 11,7     | 11,78     |
| <b>20:00</b>  | 11,7  | 12,06    | 11,88    | 11,56    | 11,79    | 12,14    | 12,34    | 11,83    | 12,15    | 12,1      |
| <b>21:00</b>  | 12,3  | 13,25    | 11,83    | 12,75    | 11,89    | 12,07    | 13,01    | 11,89    | 12,97    | 12,24     |

*Nota:* elaboración propia.

*Tabla 5.*

Tiempos tomados el día viernes.

| <b>Hora</b>  | <b>HOJA DE TRABAJO ( tiempo medido en segundos)</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|              | <b>VIERNES</b>                                      | tiempo 1 | tiempo 2 | tiempo 3 | tiempo 4 | tiempo 5 | tiempo 6 | tiempo 7 | tiempo 8 | tiempo 9 | tiempo 10 |
| <b>07:00</b> |   | 25,13    | 25,75    | 26,12    | 26,89    | 26,02    | 25,65    | 26,84    | 25.17    | 26.57    | 26.41     |
| <b>08:00</b> |   | 23.87    | 24,1     | 24,47    | 23,91    | 24,22    | 24,41    | 24,37    | 23,91    | 24,19    | 24,75     |
| <b>09:00</b> |   | 22,85    | 23,7     | 23,25    | 23,42    | 22,98    | 23,15    | 23,31    | 23,02    | 23,37    | 23,23     |
| <b>10:00</b> |   | 19,05    | 19,3     | 18,87    | 18,75    | 18,71    | 18,3     | 18,38    | 18,26    | 18,62    | 18,49     |
| <b>11:00</b> |   | 16,33    | 18,23    | 17,25    | 18,66    | 18,68    | 18,13    | 19,12    | 18,8     | 17,19    | 17,35     |
| <b>12:00</b> |   | 18,19    | 18,43    | 18,13    | 18,57    | 18,55    | 18,52    | 18,56    | 18,65    | 19,06    | 18,75     |
| <b>13:00</b> |   | 16,78    | 16,8     | 17,46    | 17,38    | 16,84    | 17,02    | 17,75    | 17,21    | 16,54    | 16,74     |
| <b>14:00</b> |   | 17,2     | 16,1     | 16,27    | 16,24    | 17,43    | 17,62    | 17,85    | 17,98    | 16,78    | 16,16     |
| <b>15:00</b> |   | 14,71    | 13,84    | 1,09     | 13,29    | 13,52    | 13,72    | 14,07    | 14,5     | 14,33    | 13,73     |
| <b>16:00</b> |   | 15,64    | 15,31    | 15,74    | 14,9     | 14,41    | 14,25    | 14,49    | 14,45    | 14,41    | 14,72     |
| <b>17:00</b> |   | 15.18    | 14.81    | 14.31    | 13.12    | 13.06    | 14.18    | 14.71    | 14.01    | 15.13    | 14.92     |
| <b>18:00</b> |   | 13,21    | 13,04    | 12,22    | 12,91    | 13,72    | 13,38    | 12,89    | 13,04    | 12,92    | 12,75     |
| <b>19:00</b> |   | 12,22    | 12,45    | 11,9     | 11,97    | 12,06    | 12,81    | 13,22    | 13,15    | 12,7     | 12,76     |
| <b>20:00</b> |   | 11,9     | 12,23    | 12,31    | 11,97    | 12,09    | 11,76    | 12,14    | 12,05    | 11,98    | 11,89     |
| <b>21:00</b> |   | 11,8     | 11,9     | 11,79    | 11,93    | 11,45    | 11,7     | 11,73    | 11,69    | 11,76    | 11,62     |

*Nota:* elaboración propia.

**Anexo 2. Informe de caracterización fisicoquímica del agua que se genera de los condensadores de los aires acondicionados ubicados en el bloque 10 de la Universidad De La Costa (CUC)**

**REALIZACIÓN: 02 - 10 - 2017**

### **1. Resumen**

Se realizaron las prácticas sobre los parámetros físicos del agua tanto los cualitativos como los cuantitativos dentro de los cuales se pueden apreciar: Color, olor, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza y conductividad. Para llevar a cabo las prácticas se necesitó equipos de laboratorios tales como Turbidímetro, colorímetro y Conductímetro. Dentro de los resultados comparativos el olor se percato falta del olor a cloro u otros aromas característicos y un promedio de color aparente 5 UPC. Según la comparación de la norma 2115 de 2007, tanto la conductividad como su turbiedad sobrepasan la cantidad permisible.

### **2. Introducción**

El agua producto de la condensación posee características muy singulares y puede variar su composición según el origen del ambiente donde se extrajo, debido a que esto se comporta como un disolvente especial de compuestos orgánicos e inorgánicos lo que permite que nos encontremos con una cantidad de sustancias sólidas y gaseosas que modifican sus propiedades. Teniendo en cuenta esto, es necesario estudiar de manera cualitativa y cuantitativa con el fin de conocer o dar un diagnóstico de los daños padecido o características de la reserva donde se extrae el agua analizada, de igual forma revisar las modificaciones de sus propiedades para usos posteriores.

Los parámetros organolépticos en donde podemos medir el color, sabor, olor y temperatura de una muestra de agua, aunque son más subjetivos, son mediciones cualitativas de gran importancia porque nos permite saber un diagnóstico inicial sobre la calidad del agua (Lapeña, 1989), además de otros parámetros físicos como la turbiedad, la salinidad, los sólidos, temperatura y la conductividad.

En este sentido, se hace necesario definir estos parámetros de la calidad del agua para identificar las variaciones que se pueda presentar en los cuerpos de agua. La conductividad y la turbidez destacan la presencia de sólidos disueltos y de sólidos en suspensión respectivamente, a medida que estos aumentan, la calidad del agua disminuye (Alzar, 2000).

La alteración del agua puede ser provocada por efectos naturales o antropogénico, ya sean: industriales, agropecuarias, domésticas entre otros; en este caso agua producto de la condensación es por ello que el análisis de los parámetros físicos y químicos se deba realizar a cualquier tipo de agua del cual se desee conocer su calidad.

### **3. Resultados y discusión**

Para un mejor análisis comparativo se usó de referencia la norma 2115 de 2007 la cual establece los parámetros permisibles para el agua potable.

#### **4.1. Parámetros organolépticos**

Dentro de los parámetros organolépticos se encontro que:

*Tabla 1.*

Caracterización de colores y olores de 3 muestras tomadas del agua producto de la condensación.

| # | OLOR | OLOR | COLOR |
|---|------|------|-------|
|---|------|------|-------|

|          | <b>FRIO</b> | <b>CALIENTE</b> |       |
|----------|-------------|-----------------|-------|
| <b>1</b> | SIN OLOR    | SIN OLOR        | 5 UPC |
| <b>2</b> | SIN OLOR    | SIN OLOR        | 4 UPC |
| <b>3</b> | SIN OLOR    | SIN OLOR        | 6 UPC |

*Nota:* elaboración propia.

Promedio:

Color aparente: 5 UPC

En la Tabla 1 se notó que todas las muestras concluyeron que el olor en frio era completamente neutral, uno de los factores que influyeron para que se generara esta problemática es que el agua es producto de la condensación del medio ambiente. Para el olor en caliente se coincidió con el olor en frio. En este procedimiento fue más sencillo identificar el olor ya que se realizó aumentando la temperatura de la muestra permitiendo que su olor emanara de él.

Con respecto a su color: El color del agua presente en la tabla depende exclusivamente del tipo de sustancias contenidas en la muestra, denotamos que los valores del color variar.

#### 4.2. Parámetros Físicos y microbiológicos

*Tabla 2.*

Muestra.

| PARAMETRO        | LECTURA    |            | UNIDAD    |
|------------------|------------|------------|-----------|
|                  | Muestra 1° | Muestra 2° |           |
| Conductividad    | 68.3       | 61.1       | US/CM     |
| Turbiedad        | 0.54       | 0.54       | NTU       |
| PH               | 7.38       | 7.13       |           |
| Solid. Suspendi  | 57.8       | 57.8       | mg/L      |
| Alcalinidad      | 0.5        | 0.5        | mg/L      |
| Oxigeno Dis.     | 4.42       | 3.67       | mg/L      |
| Salinidad        | 0          | 0          |           |
| Coliformes total | 0          | 0          | UFC/100ml |

*Nota:* elaboración propia.

En base a la norma establecida por la nación Colombia se determinará la calidad de la muestra de agua producto de la condensación tomada del bloque 10 de la CUC. Teniendo en cuenta los valores ya obtenidos en laboratorio y comparándolos con los establecidos por la resolución 2115 de 2007 y el decreto 475 de 1998 estos establecen que las unidades permisibles para la conductividad del agua es de 50-1000 US/CM, y según lo evaluado en el laboratorio la conductividad de esta muestra está dentro de los parámetros establecidos por la norma para el agua potable, esto refleja que no carece de sales nutritivas en el cuerpo de agua.

Otro parámetro medido fue el de turbiedad los cuales la nación colombiana solo permite 2 unidades UNT para el agua potable afirmando que nuestra agua es de tonalidad cristalina la norma Colombia no permite ninguna clase de sólidos suspendidos en el agua potable por ende los niveles permisibles de cualquier tipo de solido es de 0mg/l.

#### **4. Conclusiones**

Con respecto al resultado de las prácticas, propiedades físicas del agua se concluyó que la mayoría de los parámetros medidos cumplen la normativa vigente para agua potable (2115 2007). Además, se determinó que los métodos utilizados fueron eficaces para la medición de los parámetros arrojando resultados rápidos y precisos, precisa tener el cuenta que la cantidad de solidos es demasiado alta y se debe determinar un plan de contingencia para tratar esta problemática.

#### **5. Referencias**

Alzar, J. (2000). *Determinación de los parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas*. Recuperado de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

- Análisis del agua. (2017). *Química analítica*. Recuperado de [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia\\_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf)
- Klaassen, P. (2017). *CANNA the leading brand in plant nutrients, additives and potting mixes*. Recuperado de from [http://www.canna.es/importancia\\_conductividad\\_electrica](http://www.canna.es/importancia_conductividad_electrica)
- Lapeña, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Marcombo
- Mosquera, M. (2017). *Informe Análisis de Aguas*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/97937733/Informe-Analisis-de-Aguas>
- Playeras, A. (2017). *Parámetros de Calidad de las Aguas*. Recuperado de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Swanson, H., y Baldwin, H. (2017). *La Ciencia del Agua para Escuelas: Mediciones del Agua*. Recuperado de <https://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>
- Yvetta, M., Pérez, V., y Pérez, V. (2017). *inodoro o inoloro*. Recuperado de <https://forum.wordreference.com/threads/inodoro-o-inoloro.480307/>

### Anexo 3. Parametrización físico química usada para la fuente de abastecimiento

Para la Parametrización del agua obtenida de la fuente de abastecimiento establecida en capítulos anteriores se utilizaron los parámetros establecidos por la resolución 2115 en el año 2007 emitido por el MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Donde nos dice que los parámetros como: **Conductividad, Turbiedad, olor, PH, Alcalinidad, Oxígeno disuelto, Salinidad y color aparente.**

Según el capítulo II-CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. El agua para consumo humano no puede tener valores mayores a los establecidos por los artículos contenidos tales como:

**Cuadro N°. 1 Características Físicas**

| Características físicas | Expresadas como                            | Valor máximo aceptable |
|-------------------------|--|------------------------|
| Color aparente          | Unidades de Platino Cobalto (UPC)          | 15                     |
| Olor y Sabor            | Aceptable ó no aceptable                   | Aceptable              |
| Turbiedad               | Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) | 2                      |

Los parámetros que no están incluidos en la tabla anterior están contenidos en los artículos::

Artículo 3° - CONDUCTIVIDAD. Nos establece que el valor máximo de conductividad puede ser de hasta 1000 microsiemens/cm.

Artículo 4° - POTENCIAL DE HIDROGENO. Nos indican que el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.



Por otro lado los parámetros Químicos establecidos en el mismo capítulo de la resolución 2115 del 2007 en el artículo 7° - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN CONSECUENCIAS ECONÓMICAS E INDIRECTAS SOBRE LA SALUD HUMANA. Nos indica según el cuadro N°4 que el valor máximo permitido para la Alcalinidad es de 200 mg/L

## Anexo 4. Cálculos para la selección del caudal de diseño.

Tabla 1.

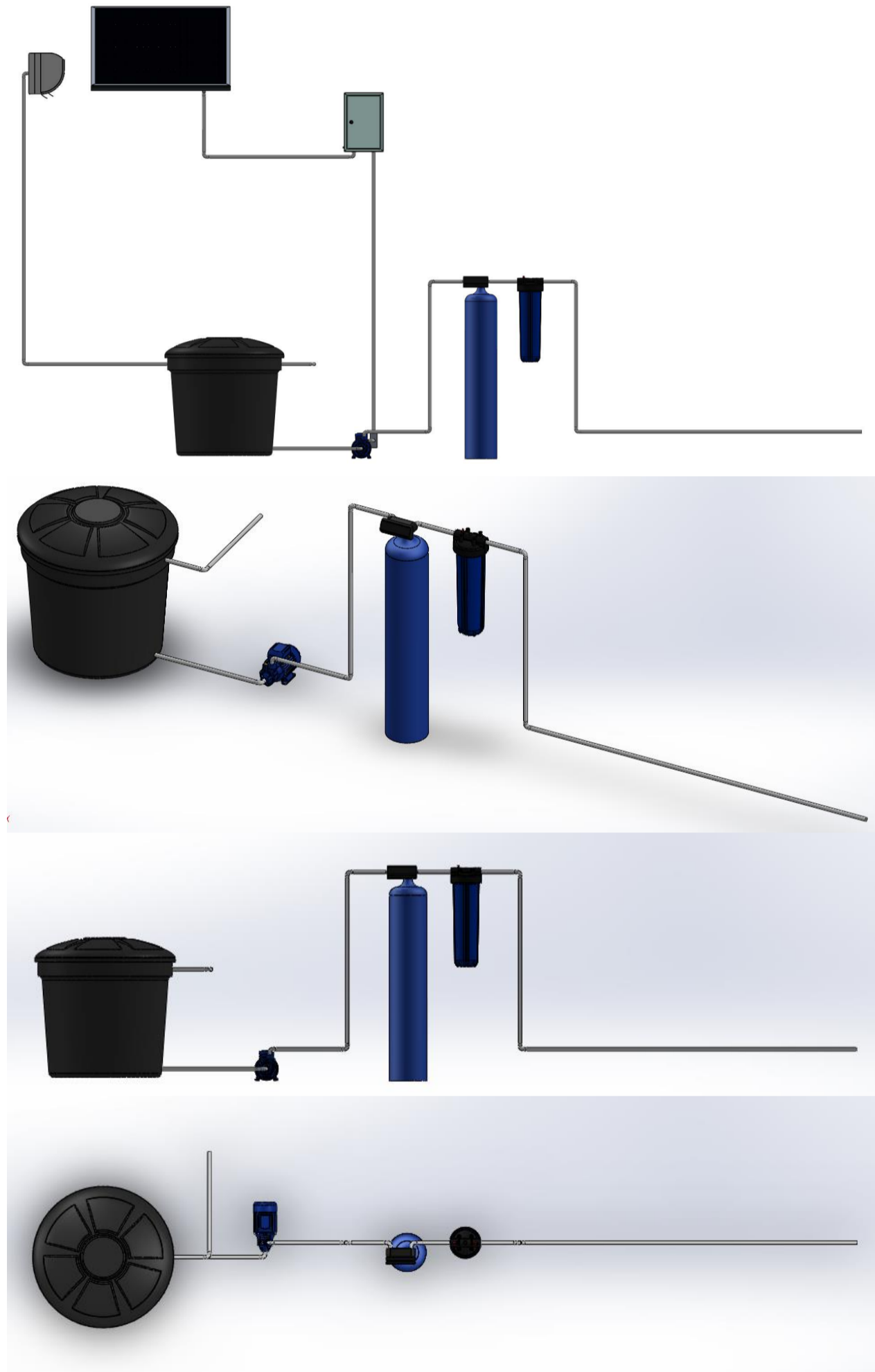
Cálculos para la selección del caudal de diseño.

| Q<br>(L/min) | V (m/s)    | Re          | f           | $f(L/D)V^2/2g$ | $KV^2/2g$   | filtro<br>multimedia<br>grava | filtro<br>multimedia<br>carbón<br>activado | filtro<br>pulidor | hL+ha   | W         | H    | $\Delta$ ALTURA<br>NECESITADA Y<br>LA ALTURA<br>OFRECIDA. |
|--------------|------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------------------------|--|-------------------|---------|-----------|------|---|
| 5            | 0,65784175 | 8354,590189 | 0,032583135 | 0,305893113    | 1,21171614  | 0,004547451                   | 0,18851224                                 | 0,008838925       | 1,71951 | 1,4042648 | 38,0 | 36,2804921  |
| 7,5          | 0,98676262 | 12531,88528 | 0,029199363 | 0,61678347     | 2,726361315 | 0,007290078                   | 0,285397786                                | 0,013258388       | 3,64909 | 4,4701365 | 35,7 | 32,0651947  |
| 10           | 1,31568349 | 16709,18038 | 0,027120459 | 1,018436248    | 4,84686456  | 0,010345305                   | 0,384036284                                | 0,01767785        | 6,27736 | 10,253022 | 33,4 | 27,1512112  |
| 12,5         | 1,64460437 | 20886,47547 | 0,025665603 | 1,505942268    | 7,573225875 | 0,013713132                   | 0,484427733                                | 0,022097313       | 9,59941 | 19,598788 | 31,1 | 21,5434508  |
| 15           | 1,97352524 | 25063,77057 | 0,024568486 | 2,075858431    | 10,90544526 | 0,01739356                    | 0,586572133                                | 0,026516776       | 13,6118 | 33,348876 | 28,9 | 15,2453567  |
| 17,5         | 2,30244611 | 29241,06566 | 0,023699923 | 2,725585822    | 14,84352271 | 0,021386589                   | 0,690469484                                | 0,030936238       | 18,3119 | 52,341517 | 26,6 | 8,25952772  |
| 20,2         | 2,65768066 | 33752,54436 | 0,022936814 | 3,514573741    | 19,77714615 | 0,026050173                   | 0,804647537                                | 0,035709258       | 24,1581 | 79,705713 | 24,1 | 0,05526972  |
| 22,5         | 2,96028786 | 37595,65585 | 0,022390492 | 4,256626074    | 24,53725183 | 0,030310448                   | 0,903523039                                | 0,039775163       | 29,7675 | 109,39551 | 22,0 | 7,76748656  |
| 25           | 3,28920874 | 41772,95094 | 0,021878172 | 5,1348513      | 30,2929035  | 0,035241278                   | 1,012679243                                | 0,044194626       | 36,5199 | 149,1228  | 19,7 | 16,8055842  |
| 27,5         | 3,61812961 | 45950,24604 | 0,021432288 | 6,086543718    | 36,65441323 | 0,040484709                   | 1,123588399                                | 0,048614088       | 43,9536 | 197,42512 | 17,4 | 26,5250727  |
| 30           | 3,94705048 | 50127,54113 | 0,021039278 | 7,11066391     | 43,62178104 | 0,046040741                   | 1,236250505                                | 0,053033551       | 52,0678 | 255,13207 | 15,1 | 36,9249126  |
| 32,5         | 4,27597136 | 54304,83623 | 0,02068921  | 8,206301009    | 51,19500691 | 0,051909373                   | 1,350665563                                | 0,057453014       | 60,8613 | 323,07226 | 12,9 | 48,004193   |
| 35           | 4,60489223 | 58482,13132 | 0,020374616 | 9,372648769    | 59,37409086 | 0,058090606                   | 1,466833572                                | 0,061872476       | 70,3335 | 402,07338 | 10,6 | 59,7621077  |
| 37,5         | 4,9338131  | 62659,42641 | 0,020089752 | 10,6089875     | 68,15903287 | 0,064584439                   | 1,584754532                                | 0,066291939       | 80,4837 | 492,96236 | 8,3  | 72,197937   |
| 40           | 5,26273398 | 66836,72151 | 0,019830114 | 11,9146701     | 77,54983296 | 0,071390873                   | 1,704428443                                | 0,070711401       | 91,311  | 596,56542 | 6,0  | 85,3110338  |

Nota: elaboración propia.



Anexo 5. Imágenes del sistema propuesto.



Elaboración propia.