



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

PROPUESTA DE DISEÑO HIDROSANITARIO PARA
LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS PROVENIENTES DE
LA CONDENSACIÓN DE AIRES
ACONDICIONADOS: UN ESTUDIO DE CASO EN UN
EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE 4 PISOS EN LA
COSTA ATLÁNTICA.

DIEGO ALEJANDRO REY CASTRO

DIRECTOR

PHD LUIS JAVIER MONTOYA JARAMILLO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

LÍNEA DE ÉNFASIS

RECURSOS HÍDRICOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

11 DE DICIEMBRE DE 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer esta tesis a Dios, quien me guió en cada paso y en cada momento, para avanzar y terminar con éxito esta maestría. A mi querida esposa Candy Lorena Chamorro González quien me impulsó, confió y fue de gran apoyo al inicio, a lo largo y al final de este proceso. A mis padres Miguel Ángel Rey Romero y Emma Castro Salazar, quienes me apoyaron en este proceso de aprendizaje y a mis futuros hijos que seguramente estarán orgullosos de mí.

Infinitas gracias a cada uno de los miembros de mi familia, en especial a mi hermano Miguel Rey Castro, a mis compañeros y profesores de la Universidad. A mi tutor Luis Javier Montoya, quien fue de gran apoyo a lo largo de la maestría, me aportó de su tiempo, esfuerzo y sabiduría para sacar este proyecto de grado.

Por último, un agradecimiento muy especial a la Universidad de Medellín, por brindarme los espacios y el tiempo para realizar mi maestría.

RESUMEN

Las edificaciones de vivienda de la Costa Atlántica cuentan con un sistema de aire acondicionado que condensa gran parte de la humedad ubicada en el aire atmosférico de los apartamentos, sin embargo, estas aguas son desperdiciadas. Por ende, esta investigación propone un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a un edificio multifamiliar de 4 pisos en la Costa Atlántica. El estudio fue desarrollado bajo un enfoque investigativo mixto que reúne un aspecto cuantitativo, debido a los datos que se necesitan para la ejecución de diseño hidrosanitarios y a nivel cualitativo se recurrió a técnicas de observación y entrevistas que permitieron una interpretación de esa realidad. Los resultados destacan que la propuesta del diseño hidrosanitario presenta beneficios positivos para su ejecución materializado en dos escenarios, el 1er escenario consideró el uso de los aires 6 horas por día y 6 veces la descarga de los sanitarios, lo que produjo una condensación del 43% disponible para el uso de los sanitarios. Posteriormente el 2do escenario conserva las mismas características, pero considera 10 horas y 25 veces en descarga promedio, condensando un 17%. Se concluye, que el diseño hidrosanitario propuesto ofrece beneficios técnicos y económicos a la constructora, propietarios y diseñadores, además reduce el impacto ambiental y económico que generan los inodoros debido a la utilización de la condensación de aires acondicionados.

Palabras claves: Reúso del agua, diseño hidrosanitario, recurso hídrico, condensación, eficiencia, optimización hidrosanitaria.

ABSTRACT

The housing buildings on the Atlantic Coast have an air conditioning system that condenses a large part of the humidity located in the atmospheric air of the apartments, however, this water is wasted. Therefore, this research proposes a hydrosanitary design that allows the reuse of water from the condensation of air conditioners, applied to a 4-story multifamily building on the Atlantic Coast. The study was developed under a mixed investigative approach that brings together a quantitative aspect, due to the data needed for the execution of hydrosanitary design, and at a qualitative level, observation and interview techniques were used that allowed an interpretation of that reality. The results highlight that the hydrosanitary design proposal presents positive benefits for its execution materialized in two scenarios, the 1st scenario considered the use of air 6 hours per day and 6 times the discharge of the toilets, which produced a condensation of 43% available for toilet use. Subsequently, the 2nd scenario retains the same characteristics, but considers 10 hours and 25 times in average discharge, condensing 17%. It is concluded that the proposed hydrosanitary design offers technical and economic benefits to the construction company, owners and designers, and also reduces the environmental and economic impact generated by toilets due to the use of condensation from air conditioners.

Keywords: Water reuse, hydrosanitary design, water resources, condensation. efficiency, hydrosanitary optimization

TABLA DE CONTENIDO

<u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>2</u>
<u>Resumen</u>	<u>3</u>
<u>Abstract</u>	<u>4</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>10</u>
<u>1.1 Descripción del problema</u>	<u>11</u>
<u>1.2 Justificación</u>	<u>14</u>
<u>1.3 OBJETIVOS</u>	<u>15</u>
<u>1.3.1 Objetivo general</u>	<u>15</u>
<u>1.3.2 Objetivos específicos</u>	<u>15</u>
<u>1.4 METODOLOGÍA</u>	<u>15</u>
<u>1.4.1 Diseño y técnicas de recolección de la investigación.</u>	<u>16</u>
<u>1.4.2 Enfoque de la investigación</u>	<u>16</u>
<u>1.4.3 Población y muestra</u>	<u>16</u>
<u>1.4.4 Fases de la Investigación</u>	<u>17</u>
<u>1.4.5 Entrevista (Fase 3)</u>	<u>17</u>
<u>1.4.6 Técnicas e instrumentos para el diseño hidrosanitario</u>	<u>19</u>
<u>(Fase 5)</u>	<u>19</u>
<u>1.5 Herramientas de procesamiento</u>	<u>19</u>
<u>2 MARCO DE REFERENCIA</u>	<u>20</u>
<u>2.1 Estudios previos sobre uso de agua de condensación en aires</u>	<u>20</u>
<u>acondicionados</u>	<u>20</u>
<u>2.2 Uso del agua en construcciones sostenibles</u>	<u>23</u>
<u>2.3 Consumo de agua</u>	<u>25</u>
<u>2.4 Estrategias para reducción de agua en las viviendas</u>	<u>26</u>
<u>2.5 Fuentes alternativas de agua</u>	<u>26</u>
<u>2.5.1 Uso de aguas atmosféricas</u>	<u>27</u>
<u>2.5.2 Reúso de aguas lluvias y grises</u>	<u>27</u>
<u>2.6 Los aires acondicionados</u>	<u>32</u>
<u>2.7 Teoría de la condensación</u>	<u>32</u>
<u>2.8 Condensación y funcionamiento de aires acondicionados</u>	<u>32</u>
<u>2.8.1 Teoría básica de la refrigeración</u>	<u>33</u>
<u>2.8.2 Agua de condensación en aires acondicionados</u>	<u>36</u>
<u>2.8.3 Psicrometría</u>	<u>38</u>
<u>2.8.4 Temperatura de bulbo seco</u>	<u>38</u>
<u>2.8.5 Temperatura de bulbo húmedo</u>	<u>38</u>
<u>2.8.6 Temperatura de punto de rocío</u>	<u>39</u>
<u>2.8.7 Humedad relativa</u>	<u>39</u>
<u>2.8.8 Humedad absoluta o humedad específica</u>	<u>39</u>
<u>2.8.9 Entalpía</u>	<u>40</u>
<u>2.8.10 Volumen específico</u>	<u>40</u>
<u>2.8.11 Calor sensible y calor latente</u>	<u>40</u>
<u>2.8.12 Psicrómetro</u>	<u>41</u>
<u>2.8.13 Carta psicrométrica</u>	<u>41</u>
<u>2.8.14 Cantidad de agua condensada</u>	<u>43</u>
<u>2.8.15 Calidad de agua condensada</u>	<u>44</u>
<u>2.9 Reúso de agua en Colombia</u>	<u>45</u>
<u>2.10 Consumo de agua en un hogar</u>	<u>45</u>

<u>3</u>	<u>RECOLECCIÓN DE DATOS</u>	<u>47</u>
	<u>3.1 Definición de las características de la vivienda de estudio</u>	<u>47</u>
	<u>3.2 Humedad relativa, temperatura y punto de rocío en la zona de estudio</u>	<u>48</u>
	<u>3.2.1 Estimación teórica de la cantidad de agua condensada</u>	<u>49</u>
	<u>3.3 Medición de caudales en la vivienda de estudio</u>	<u>50</u>
	<u>3.4 Estimación de la demanda de agua en una vivienda</u>	<u>51</u>
	<u>3.5 Análisis de filtros a usar para la purificación del agua de condensación.</u>	<u>52</u>
	<u>3.6 Propuesta para el desagüe y suministro del agua condensada.</u>	<u>52</u>
<u>4</u>	<u>ANÁLISIS DE RESULTADOS</u>	<u>53</u>
	<u>4.1 Reutilización de aguas en diseños hidrosanitarios tradicionales</u>	<u>53</u>
	<u>4.1.1 Diseño de los desagües de aires acondicionados</u>	<u>53</u>
	<u>4.1.2 Diseño de los aparatos sanitarios</u>	<u>55</u>
	<u>4.2 Consulta a expertos para determinar beneficios ante la reutilización de agua.</u>	<u>56</u>
	<u>4.2.1 Procesos que se aplican en los diseños hidrosanitarios tradicionales con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.</u>	<u>59</u>
	<u>4.2.2 Beneficios técnicos y económicos en un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.</u>	<u>60</u>
	<u>4.3 Diseño hidrosanitario aplicable y confiable en donde se considere la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.</u>	<u>63</u>
	<u>4.4 Análisis económico de la solución</u>	<u>77</u>
	<u>4.4.1 Costo de implementación</u>	<u>77</u>
	<u>4.4.2 Costo de operación del sistema</u>	<u>79</u>
	<u>4.4.3 Potencial de ahorro por instalación del sistema</u>	<u>79</u>
	<u>4.4.4 Retorno de la inversión</u>	<u>80</u>
<u>5</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>81</u>
<u>6</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>83</u>
<u>7</u>	<u>REFERENCIAS</u>	<u>84</u>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Instrumento numero 1	18
Tabla 2. Instrumento numero 2	18
Tabla 3. Consumos aparatos sanitarios.	25
Tabla 4. Caudal promedio obtenido en el monitoreo.	37
Tabla 5. Proyección mensual de recolección de agua de condensado.	37
Tabla 6. Caudal de condensación de agua.	44
Tabla 7. Típico consumo de agua en un hogar.	46
Tabla 8. Volumen obtenido de la condensación de un aire acondicionado.	51
Tabla 9. Estimación de volumen diario para los hogares colombianos para usos que no requieren agua potable.	51
Tabla 10. Especificaciones aire acondicionado.	52
Tabla 11. Tabla 12.6.2 Dimensión del tubo de aguas lluvias.	54
Tabla 12. Tabla 12.6.3 Dimensión del tubo principal vertical de aguas lluvias.	54
Tabla 13. Caudal proveniente de aires acondicionados.	55
Tabla 14. Tabla 7.4.3.1. Caudales y presiones mínimas para aparatos sanitarios.	56
Tabla 15. Chequeo Epanet	69
Tabla 16. Escenario 1	70
Tabla 17. Escenario 2	71
Tabla 18. Costos de instalación del sistema alternativa 1	77
Tabla 19. Costos de instalación del sistema alternativa 2.	78
Tabla 20. Comparativo de alternativas.	80
Tabla 21. Comparativo alternativas.	

790

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la configuración del sistema hidráulico con recirculación.	29
Figura 2. Reutilización de aguas residuales.	30
Figura 3. Diseño de tanques de almacenamiento.	31
Figura 4. Esquema 1 funcionamiento del aire acondicionado.	35
Figura 5. Esquema 2 funcionamiento del aire acondicionado.	35
Figura 6. Esquema 3 funcionamiento del aire acondicionado.	36
Figura 7. Carta Psicrométrica.	43
Figura 8. Planta típica del apartamento en estudio.	48
Figura 9. Humedad Relativa, Temperatura y Precipitación.	49
Figura 10. Edades de los participantes.	57
Figura 11. Experiencia en diseños hidrosanitarios.	58
Figura 12. Nivel de educación.	58
Figura 13. Rango de sexo de los participantes.	59
Figura 14. Esquema diseño hidrosanitario Alternativa 0.	67
Figura 15. Esquema diseño hidrosanitario Alternativa 1 y 2.	68
Figura 16. Curva bomba 2HP.	73
Figura 17. Curva bomba 1HP.	75
Figura 18. Esquema del sistema de válvulas de cambio de abastecimiento.	76
Figura 19. Válvula solenoide.	77

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe una problemática en cuanto a la escasez de recursos hídricos, debido al deterioro de fuentes naturales, incremento en la población, mala distribución, aguas contaminadas, extracción insostenible del agua en fuentes como ríos, lagos o acuíferos, entre otras actividades generadas de manera irresponsable. A raíz de ello, en los años sesenta se empieza a divisar las consecuencias ambientales producto de las ineficientes actividades industriales que se desarrollan en las organizaciones, por lo que se comienza a abordar las reflexiones sobre el medio ambiente y los recursos disponibles. En este sentido en los años ochenta las Naciones Unidas, generaron el concepto “Desarrollo Sostenible” que hoy en día es un referente obligatorio en todas las políticas de desarrollo económico.

En América Latina, se ha venido impulsando muchas estrategias e investigaciones en aras de hacer frente a la actual problemática. Según Baquero (2013) el sector de la construcción contribuye de manera importante a ese deterioro ambiental en sus distintas fases (extracción y fabricación de materiales, diseño de la edificación y de sus instalaciones que influye decisivamente en el rendimiento energético de la misma, gestión de la obra y de sus residuos, etc.) y necesita dar un giro notable hacia la adopción de decisiones encaminadas a la sostenibilidad (Bolaños-Alfaro,2017).

De acuerdo a lo mencionado, una estrategia de utilización de aguas en el sector de la construcción es la condensación del agua proveniente del aire acondicionado ya que esta podría convertirse en una fuente de agua alternativa, la cual podría considerarse dentro de los diseños hidrosanitarios. En ese sentido, este trabajo intenta proponer un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica colombiana.

Para ello, fue necesario diagnosticar los procesos que se aplican en los diseños hidrosanitarios tradicionales con respecto a la utilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados. Para posteriormente, determinar los beneficios técnicos en un diseño hidrosanitario respecto a esta condición de uso.

Finalmente, se identificó la aplicabilidad, confiabilidad y el beneficio económico de aquellos diseños hidrosanitarios que implementen la utilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a edificaciones de vivienda para las condiciones de la costa caribe colombiana. Cabe mencionar, que el uso del agua considerado en este estudio no fue para consumo humano, sino para otras actividades domésticas como el uso en baños o riego de jardines.

1.1 Descripción del problema

Las edificaciones de vivienda de la Costa Atlántica Colombiana cuentan con un sistema de aire acondicionado que condensa gran parte de la humedad ubicada en el aire atmosférico de los apartamentos, proporcionando aguas que son desperdiciadas. Sin embargo, estas aguas debido a sus características pueden ser tratadas y utilizadas para un uso sanitario. Adicionalmente, el drenaje de las aguas fruto de la condensación de aires acondicionados es en ocasiones vertido al sistema de alcantarillado de la vivienda o de drenaje pluvial o en ocasiones no es atendido generando problemas de vertimientos no controlados a las calles o zonas comunes de las viviendas.

En un informe del Departamento Nacional de Planeación, en 2019, se menciona que Colombia se encontraba a 14 puntos por encima del 30% de los estándares internacionales que permiten el desperdicio de agua, es decir que se presenta un desaprovechamiento de un 43% de agua, siendo las zonas costeras los sectores en los que se evidencia mayor incidencia de esta situación (RCN noticias, 2015).

En Colombia desde el año de 1997 el gobierno nacional viene impulsando el ahorro y el uso eficiente del agua, para ello la Ley 373 de 1997 (República de Colombia, 1997) y la Resolución 1508 de 2010 (Ministerio de Medioambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010), han impulsado diferentes medidas para promover el ahorro y el uso eficiente del agua en Colombia, incluso la Ley 373 menciona un reúso obligatorio de fuentes cuando las tareas lo ameriten. En Colombia, existen normas y legislación para la utilización de los recursos hídricos como el Decreto 3930 del 2010 y el Decreto 1210 del 2020.

Según la ley 142 de 1994 que regula los servicios públicos, el servicio público de alcantarillado incluye el transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales y las empresas prestadoras de servicios públicos pueden cobrar por dicho servicio según a las cantidades vertidas por los usuarios y con las tarifas establecidas de acuerdo a la estructura de costo de la empresa. Donde el objetivo para el tratamiento del agua residual será remover el material contaminante, orgánico e inorgánico con el propósito de conseguir una calidad del efluente requerida y que no contamine las fuentes receptoras. Estos tratamientos son costosos y entre mayor sea la cantidad de agua a tratar mayor será el costo del tratamiento.

Por ende, es necesario caracterizar el aprovechamiento del agua producida por los aires acondicionados y de esta forma poder comprobar si cumple con los criterios de calidad enunciados en las diversas legislaciones e implementar su uso dentro de las diferentes actividades de las edificaciones de vivienda de la Costa Atlántica Colombiana.

En razón a ello, se evidencia un problema respecto al uso y el tratamiento del recurso hídrico, lo cual afecta al medio ambiente y la esperanza de vida de las generaciones futuras. Bajo estas consideraciones, es significativo mencionar que el problema parte desde la etapa inicial del proyecto puesto que son pocas las edificaciones que cuentan con diseños hidrosanitarios sostenibles, lo que provoca que estos proyectos de construcción sigan con el diseño hidrosanitario tradicional (Pulgarín y Mejía, 2017; González et al, 2019).

Para identificar la sostenibilidad en una construcción se tienen varios criterios entre los que se pueden mencionar, la forma de ocupación del territorio y forma de integración con el ambiente físico, los materiales y procesos utilizados y su aporte al cambio climático, la eficiencia en el uso de la energía y el agua, la generación y manejo de residuos y la creación de un ambiente saludable. Entre estos aspectos son particularmente importantes para este proyecto lo relacionado con el uso del agua y la energía, ya que la reutilización de las aguas de desecho de los aires acondicionados ayuda a consumir menos agua potable y de forma indirecta ayudan

a aprovechar mejor la energía de los aires acondicionados, puesto que en la condensación que se da en los sistemas de aire acondicionado hay una energía que no está siendo aprovechada.

Ahora bien, particularmente en las zonas costeras se tiene un problema adicional y es el mal uso de las aguas provenientes de los aires acondicionados ya que no se reutilizan en otros sistemas, sino que simplemente se conectan a las redes sanitarias afectando el costo de tratamiento del agua. Además, utilizar estas aguas podría implicar ahorros en el consumo de agua potable que se ve reflejado en la disminución de costos de agua ya que en la actualidad se tienen altos costos que pagan los consumidores de agua y que se están perdiendo de la posibilidad de ahorrar por no reutilizar las diferentes aguas que tienen disponibles.

Según, Ali *et al* (2018) la recuperación del agua de condensación del aire acondicionado se ha desarrollado recientemente como una nueva tecnología que contribuye de manera eficiente a la gestión de los recursos hídricos, lo cual entonces significa una gran alternativa para mitigar el desperdicio y no aprovechamiento de las aguas condensadas, debido a que según Aguirre, Piraneque y Rozo (2018) dependiendo de la potencia que posea un aire acondicionado, en promedio puede generar hasta 21.6 L/día de agua, los cuales podrían ser reutilizados en las edificaciones de vivienda de la Costa Atlántica Colombiana.

El propósito principal de esta investigación es proponer un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica. Con el objetivo de contribuir al aprovechamiento de estas aguas con fin sanitario u otras actividades posibles, que permitan además soluciones para el ahorro de agua y energía, que contribuyen favorablemente al medio ambiente. En razón a lo precedente, la idea investigativa surge a partir de la necesidad latente por implementar un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de las aguas a través de la condensación de aires acondicionados de las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica, con miras a buscar una solución para esta problemática. De este modo surge la pregunta problema:

¿Cómo desarrollar un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica?

1.2 Justificación

La construcción sostenible se enfoca en satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura del presente sin comprometer la capacidad de dar respuestas a las demandas de generaciones futuras (Meléndez-Pérez, 2019). Es por ello que los diseños hidrosanitarios sostenibles, además de ayudar a la preservación del ambiente, tiene un impacto positivo durante la construcción de las edificaciones de vivienda, en la calidad de vida y la economía de los habitantes.

A nivel nacional, la mayoría de las viviendas están diseñadas con el uso del agua potable para todos los aparatos o griferías sanitarias, sin valorar este recurso como no renovable y que está en peligro de agotarse. Por eso es importante la implementación de diseños hidrosanitarios sostenibles que eviten el consumo desmesurado de agua potable en actividades domésticas que no requieren tal cantidad de ella. Para obtener beneficios sociales en las comunidades a través de la reutilización del agua proveniente del lavamanos, lavadero, lavadora, ducha, cocina (aguas grises) o de aguas de desperdicio como las de descarga de los aires acondicionados, en usos que no requieran agua potable, como por ejemplo los inodoros y orinales. Por ejemplo, si una persona descarga el sanitario cuatro veces por día y la familia tiene en promedio cuatro miembros, un sanitario convencional descarga entre 9 a 15 litros, por lo que solo en descargas se consumen de agua potable en inodoros entre 144 y 240 litros diarios, con el sistema de reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados significa un ahorro de igual volumen que implica una reducción en el costo. Además, también podría servir para riego de jardines y lugares donde no sea posible el consumo humano.

Esta investigación tiene un gran impacto social porque permitirá evidenciar formas alternativas para el reúso de agua y de esta forma lograr una reducción en el consumo de agua potable de los ciudadanos. De igual manera genera beneficios disciplinares porque permite fortalecer el campo de conocimiento en los diseños

hidrosanitarios revelando que es posible generar sistemas sostenibles que hagan reuso de aguas no aprovechadas. Finalmente es importante resaltar que, si este sistema se realiza en edificios de mayor densidad como un edificio multifamiliar, complejos deportivos u hoteles, el ahorro será aún mayor y aportará al desarrollo sostenible del país.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer un diseño hidrosanitario para la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados en un edificio multifamiliar de 4 pisos en la Costa Atlántica.

1.3.2 Objetivos específicos

Diagnosticar los procesos que se aplican en los diseños hidrosanitarios tradicionales con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Determinar los beneficios técnicos y económicos en un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Realizar un diseño hidrosanitario aplicable y confiable en donde se considere la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

1.4 METODOLOGÍA

En este apartado se evidencia la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, cuyo objeto de estudio es proponer un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica. Para ello, se establece el enfoque, las técnicas de investigación y las fases de la investigación, así mismo se determina la población y muestra del estudio; finalmente se revelan las técnicas e instrumentos de investigación.

1.4.1 Diseño y técnicas de recolección de la investigación.

La recolección de la información de este estudio estuvo compuesta de forma general por fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias son la información que proviene directamente del grupo de interés (muestra de la población) y los datos referentes al estudio de caso. Las fuentes secundarias son obtenidas mediante material preexistente, como lo son revistas, artículos, tesis y otro tipo de documentos referentes a los diseños hidrosanitarios (Torres, Paz & Salazar, 2009).

1.4.2 Enfoque de la investigación

De acuerdo con Tashakkori y Teddlie (2003), citado en Barrantes (2014) el enfoque mixto “es un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio” (p.100). Por tanto, este trabajo investigativo se enmarca bajo un enfoque mixto debido a que este estudio utiliza datos cuantitativos para el diseño, pero complementa esto con datos cualitativos que son interpretados de la experiencia profesional de personas entrevistadas.

Es por ello que este estudio ha optado por una investigación mixta que reúne un aspecto cuantitativo, debido a los datos que se necesitan para la ejecución de los diseños hidrosanitarios. Posteriormente, se incurre en el enfoque cualitativo a través de la observación que permita una interpretación de esa realidad y a su vez establecer medidas preventivas y correctivas que permitan la reutilización de las aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

1.4.3 Población y muestra

El trabajo de investigación se centra en los diseños hidrosanitarios con reutilización de aguas lluvias y grises, que incluye la población de la Costa Atlántica. En este sentido, se resalta que toda edificación requiere de diseños hidrosanitarios por lo tanto el sector de la construcción está dentro de las organizaciones que mayor contratan este tipo de servicios.

Particularmente, esta investigación escogió el sector de la Costa Atlántica ya que, al tener un porcentaje de humedad mayor a otras regiones de Colombia, los diseños hidrosanitarios podrían considerar la reutilización de aguas provenientes de aires acondicionados.

1.4.4 Fases de la Investigación

La investigación se realizará teniendo en cuenta 5 fases, las cuales son descritas a continuación:

- Fase 1. Revisión de los antecedentes de la investigación
- Fase 2. Plantear objetivos y ubicación del estudio
- Fase 3. Realizar entrevistas a expertos para conocer la incidencia de la reutilización de las aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, en los diseños hidrosanitarios
- Fase 4. Análisis de muestra
 - Revisión inicial del plano topográfico para ubicar los tanques y el plano arquitectónico para identificar la ubicación de los aires acondicionados
 - Toma de muestra para determinación de caudales
 - Análisis de filtros a usar para la purificación del agua de condensación
 - Propuesta para el desagüe y suministro del agua condensada
- Fase 5: Realizar la propuesta de implementación en los diseños hidrosanitarios

1.4.5 Entrevista (Fase 3)

En aras de proponer un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, aplicado a las edificaciones de viviendas de la Costa Atlántica.

Para la pertinencia del logro de los objetivos de la investigación, el primer instrumento busca diagnosticar los procesos que se aplican en los diseños

hidrosanitarios tradicionales con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados. A continuación, se presentará la estructura del instrumento (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Instrumento número 1
Fuente: Elaboración propia

Aspectos	Pregunta
Generales	Nombre
	Experiencias en diseños hidrosanitarios
	Edad
	Sexo
	Nivel de formación
Diagnóstico	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?
	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?
	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?

El segundo instrumento busca determinar los beneficios técnicos y económicos en un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados. Para ello se diseñó una pregunta que busca explorar el componente (Ver Tabla 2).

¿Cuáles considera que son los beneficios técnicos a la hora de realizar un diseño hidrosanitario que incluya la reutilización de aguas provenientes de los aires acondicionados? Resalte los beneficios para cada factor.

Tabla 2. Instrumento número 2
Fuente: Elaboración propia

Beneficios		Beneficios	
Aspectos	Técnico	Aspectos	Económico
Constructora		Propietarios	
Diseñador		Diseñador	

Beneficios	
Aspectos	Técnico
Acueducto	
Propietarios	
Funcionamiento	

Beneficios	
Aspectos	Económico
Constructora	
Conjunto	

Finalmente, se formuló la siguiente pregunta para ampliar la gama de beneficios ¿Considera que existe otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico?

1.4.6 Técnicas e instrumentos para el diseño hidrosanitario (Fase 5)

1. Revisión inicial del plano topográfico para ubicar los tanques y el plano arquitectónico para identificar la ubicación de los aires acondicionados.
2. Toma de muestra para determinación de caudales.
3. Análisis de filtros a usar para la purificación del agua de condensación.
4. Propuesta para el desagüe y suministro del agua condensada. Para ello, se tuvo en cuenta los siguientes pasos:
 - 4.1 Se realizó el inventario de las unidades de aire acondicionado de la urbanización de estudio tomada como típica.
 - 4.2 Se localizaron los aires acondicionados disponibles, se recolectó su marca y la capacidad de refrigeración (BTU/h).
 - 4.3 Para estimar el caudal de agua, por los equipos se utilizó el método volumétrico (aforado), de manera que se recolectó el agua descargada en periodos de 10 horas durante 7 días. Con estos datos se calculó el caudal promedio generado en aproximadamente 10 horas de uso por unidad.

1.5 Herramientas de procesamiento

Se desarrolló un cuestionario en Word enviados por correo para el análisis cualitativo. En cuanto, al uso de herramientas se utilizó Epanet, hojas de cálculo en Excel y Autocad con licencia estudiantil.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Estudios previos sobre uso de agua de condensación en aires acondicionados

Mediante una previa revisión de la literatura se logró encontrar diversas investigaciones que abordan diseños de sistemas para la recolección del agua generada por la condensación del aire acondicionado.

En Colombia al igual que en otros países es indispensable atender el problema de pérdidas de agua potable. Por ello, esta situación se encuentra en las actuales agendas de investigación de la disciplina de la ingeniería con el objetivo de hacer uso de métodos para reciclar, tratar y recircular las distintas aguas dentro de las edificaciones.

Arrauth & Taborda (2018) realizaron una investigación que tuvo como objetivo el diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua de condensación de aire acondicionado para uso sanitario en la Universidad de la Costa. Para ello, se realizó el sistema en tres etapas, como fue la caracterización de la fuente hídrica, el diseño del sistema y finalmente un análisis de la rentabilidad del sistema de tratamiento de agua. Los resultados evidenciaron que la cantidad de agua generada por las unidades de aire acondicionado evaluadas demostraron ser un recurso sostenible ya que se obtuvo un promedio de hasta 27.466 L/h de 14 unidades monitoreadas. En este estudio se presenta una metodología y una guía para el ahorro de agua en edificaciones de la zona de la Costa Atlántica Colombiana.

Aguirre, Piraneque y Rozo (2018) en la Universidad de Magdalena evaluaron el uso potencial de agua generada por aire acondicionado encontrando que 330 unidades de aire generaban alrededor de 4.26 m³ de agua por día, al evaluar la calidad de dichas aguas evidenciaron la presencia de coliformes fecales por lo que determinaron que no era adecuado para el consumo doméstico, sin embargo, era viable para otros usos como el agrícola y el riego.

Aunque se han realizado algunas exploraciones del uso de este recurso, no hay un conocimiento completo sobre la potencialidad de estas fuentes alternas como la

condensación por aires acondicionados, por lo que dichas aguas normalmente se desperdician o se vierten al sistema de drenaje. En algunas regiones del mundo, la recolección y tratamiento del agua atmosférica constituye un recurso valioso y puede cubrir las necesidades de agua potable, riego, suministro para baños y otros usos si se estudia como un sistema integrado, donde se combina la extracción de agua del aire y el tratamiento de agua específico para dichas aguas (Magrini et al., 2017 Monge, 2016).

En la universidad Piloto de Colombia, realizaron una investigación Ortega & Páez (2018), los cuales propusieron un sistema de aprovechamiento de las aguas producto de los aires condensados en el hospital de primer nivel de Aracataca, Magdalena. Este trabajo comprueba que el agua de los aires acondicionados podría considerarse como una alternativa para el uso del aire acondicionado y además incentivó la reutilización del recurso hídrico que permitió disminuir costos y hacer un aporte interesante en el impacto ambiental.

En el mismo año, Algarni, Saleel & Mujeebu (2018) desarrollaron una revisión del estado del arte de la recuperación de condensado de HVAC (heating, calefacción, Ventilating, Ventilación y Air Conditioned, aire acondicionado) y el desarrollo de sistemas de recuperación de condensado CRS (condensate recovery systems). La investigación se centró en la revisión de todos los CRS existentes en todo el mundo, estudios teóricos y experimentales sobre recuperación de condensado, modelos matemáticos propuestos y evaluación de características de calidad. Finalmente, el estudio reveló que, dada la importancia de la conservación del agua y los recursos energéticos limpios y sostenibles, el dominio de la recuperación y utilización del condensado de HVAC tiene un alcance significativo para la investigación y el desarrollo con el fin de realizar CRS prácticos que puedan contribuir a la sostenibilidad del agua y la gestión de la energía en los edificios.

Magrini et al (2015) propusieron un estudio de caso representado en el sistema HVAC, para un hotel en un clima árido subtropical, para demostrar las ventajas de esta solución. La investigación realizó una comparación entre un sistema HVAC típico y un sistema integrado de aire acondicionado, optimizado para la producción

de agua a partir del aire, con el fin de resaltar las ventajas y capacidades del segundo. Las conclusiones del estudio indicaron que el hotel ubicado en Abu Dhabi demuestra las ventajas del sistema optimizado para la producción de agua desde el aire. De la comparación entre los dos sistemas, se puede resaltar que el sistema integrado produce agua y garantiza la climatización con una reducción global de costes para la energía del sistema HVAC y el suministro de agua de 7-19%, referido a las tarifas locales.

Otro estudio significativo encontrado, fue realizado por Ali, Saifur & Ali, (2018) quienes en su investigación realizaron experimentos para evaluar la generación de agua condensada bajo diferentes condiciones climáticas y operativas, teniendo en cuenta, los parámetros más importantes que afectan la generación de agua condensada son el tiempo, la diferencia entre exteriores y temperatura y humedad interior ya que se ha encontrado que la humedad afecta la generación de agua condensada de manera más significativa; a medida que aumenta la diferencia, aumenta la generación de agua. La generación de agua también aumenta a medida que aumenta la diferencia entre la temperatura interior y exterior. Los resultados experimentales presentados por estos autores indicaron que la cantidad de agua condensada depende principalmente de tres parámetros: (a) tiempo; (b) diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior, y (c) la humedad diferencial entre el ambiente exterior y el interior. Los autores utilizaron estos datos experimentales para desarrollar y validar una ecuación empírica para la estimación de agua condensada en función de estos tres parámetros. Entre otras aplicaciones, esta relación podría usarse para diseñar adecuadamente el agua condensada en el sistema de drenaje de aires acondicionados. Finalmente, concluyen que el reciclaje de agua condensada podría reducir demanda de agua del sistema de suministro de agua de la ciudad, especialmente durante la época cálida y húmeda del año, reduciendo así la presión sobre las fuentes de aguas subterráneas y superficiales (Ali, Saifur & Ali, 2018).

Por otro lado, brindando un aporte significativo a la implementación de medidas de producción más limpia en la reutilización del agua, Alfonso & de la Hoz (2019) presentan un estudio donde realizan una propuesta de reutilizar el agua condensada

de los aires acondicionados como una fuente alternativa para usos domésticos como riego y aseo en el bloque 7 de la Universidad de la Costa, con el fin de generar un impacto en el ahorro de recursos. Los resultados de dichos autores, comprobaron que la caracterización y generación del agua de condensado resultaron ser aceptables en el uso de aseo y riego puesto que cumplen con lo establecido en la normativa colombiana. Algarnía, Saleel & Mujeebu (2018) realizaron un estudio acerca de aplicaciones y recuperación de condensado de aire acondicionado: desarrollos actuales y desafíos futuros en la búsqueda de la sostenibilidad del agua, la conservación de la energía y las tecnologías respetuosas con el medio ambiente ha requerido el desarrollo de recursos

Finamente, el estudio de Noutcha et al (2016) analizó la cantidad y calidad del agua en los aires acondicionados en la Universidad de Port Harcourt en Nigeria y obtuvieron que la cantidad fue suficiente para algunos usos y su calidad fisicoquímica estaba dentro de los estándares de la OMS, pero los recuentos bacterianos fueron altos por lo que el agua no era apta para el consumo humano, pero podría usarse para otros usos como limpieza, riego de plantas y descargar sanitarios.

2.2 Uso del agua en construcciones sostenibles

El informe de Brundtland, 1987 define el desarrollo sostenible el que “satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1987).

La construcción sostenible busca garantizar el uso eficiente de los recursos, la reducción y optimización en los servicios públicos y la mejora en las condiciones de vida en las construcciones, no solo incluye la etapa de construcción sino también contempla las etapas de planeación, diseño, construcción y uso de las construcciones. Dicha sostenibilidad busca ser cuantificable y establecer ahorros reales en los recursos y mejorar el consumo y habitabilidad de las edificaciones.

Para lograr construcciones sostenibles es necesario considerar diferentes aspectos tanto en los procesos constructivos como en el uso de las edificaciones para reducir los impactos ambientales. Un aspecto importante a considerar es la eficiencia en los diferentes recursos y en particular el recurso agua.

En Colombia el Ministerio de Vivienda, la Cámara Colombiana de la construcción y el Banco mundial, desarrollaron la *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y de energía en edificaciones* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015a), donde se estableció unos estándares de ahorro de agua y energía del 15% para edificaciones nuevas (Resolución 549 de 2015, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015b), dicho documento también presenta una línea base de consumos de aguas conforme a los climas de Colombia y presenta el clima como un elemento determinante para dichos consumos, basando sus análisis en la metodología de costo-beneficio y analizan estrategias activas y pasivas para las edificaciones. De estas estrategias analizan el potencial de ahorro, el costo de implementación, el retorno de la inversión, la disponibilidad en el mercado de los elementos y factibilidad en el mercado de la solución implementada. Un análisis similar considerando estos elementos se puede realizar para las estrategias de reúso de aguas de condensación de aires acondicionados. A pesar de los esfuerzos considerados en esta guía, el cumplimiento por parte de los constructores no es totalmente claro y tampoco se encuentran consignados los instrumentos o beneficios para probar y cuantificar estos ahorros considerados (Rodríguez-Potes et al., 2018).

Para conseguir la eficiencia en el recurso del agua, las viviendas deben implementar medidas y estrategias para el uso racional del agua. Para ello se debe considerar la demanda del agua tanto en las instalaciones interiores de la vivienda como las exteriores, el control del consumo de agua y la reducción de vertimientos. De manera particular, se establecen directrices esenciales en la resolución 0594 de 2015 y en la “Guía de ahorro de agua y energía en edificaciones” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015 a y b).

En dicha guía se establece una primera estrategia para el uso eficiente de agua en interiores, en ella se establece que se deben implementar soluciones para reducir la demanda de agua potable, entre las estrategias que se plantean están los aparatos sanitarios de bajo consumo o el uso de fuentes alternativas de agua como las aguas lluvias, las aguas grises o las aguas atmosféricas (objeto de este trabajo).

Para entender el marco teórico de estas estrategias se deben analizar, (1) consumos de agua con aparatos convencionales y equipos de ahorro, (2) estrategias de uso de aguas lluvias y (3) estrategias de uso de aguas atmosféricas.

2.3 Consumo de agua

Un aspecto importante a tener en consideración hacia la sostenibilidad de las construcciones es el consumo típico de agua en una vivienda típica. El consumo depende de varios factores, uno que es fundamental es el número de personas que residen en la vivienda, pero también está el consumo de los aparatos sanitarios (Acero, 2020). Si bien este consumo puede variar mucho según las características típicas de los aparatos. La Tabla 3 presenta una comparación entre los consumos para diferentes aparatos (convencionales y ahorradores).

Tabla 3. Consumos de aparatos sanitarios.
Fuente: Elaboración propia

Tipo de aparato	Consumo	
	Convencional ⁽¹⁾	Ahorrador
Sanitario	6 L/descarga	4,8 L/descarga ⁽²⁾
Ducha	9.5 L/min	8 L/min ⁽³⁾
Lavamanos	8.3 L/min	5.6 L/min ⁽³⁾
Lavaplatos	8.3 L/min	5.6 L/min ⁽³⁾

Para estimar los consumos y los usos, en el caso de los aparatos sanitarios dependen del número de descargas al día (en el caso de los inodoros) o del tiempo de uso (en caso de duchas, lavamanos y lavaplatos). Este número de usos y tiempos depende de aspectos personales, culturales, del clima, entre otros. Sin embargo, se puede observar que el uso de aparatos ahorradores constituye una

estrategia para la reducción de los consumos, igualmente, existen otras estrategias que pueden aumentar la sostenibilidad en una construcción.

2.4 Estrategias para reducción de agua en las viviendas

Para la reducción de agua en las viviendas se pueden, implementar diferentes estrategias, por ejemplo, para el uso de inodoros:

1. Modificar los hábitos de uso de los inodoros, reducir el número de descargas evitando que se usen para evacuación de papeles u otros desperdicios que podrían ser evacuados de otra forma.
2. Reparación de inodoros por fugas o reemplazo por dispositivos ahorradores.
3. Realizar un cambio o adecuación para el uso de aguas lluvias, aguas grises o aguas atmosféricas para la descarga de inodoros.

Para la reducción de los consumos en lavamanos se pueden:

1. El cambio de hábitos utilizando jabones espumosos (que solo requieren aguas para el enjuague).
2. Instalación de grifos ahorradores con aireadores o más eficientes.

Para el ahorro en la ducha se pueden implementar estrategias como:

1. Recipientes para recoger el agua mientras se calienta.
2. Reúso del agua de la ducha para otros usos.
3. Usar duchas de bajo consumo.

Otros ahorros de agua se pueden dar mejorando técnicas de riego en jardines, controlando las fugas de agua, en el lavado de ropa, platos y alimentos.

2.5 Fuentes alternativas de agua

Si bien la reducción de consumos es una alternativa de sostenibilidad, otra estrategia puede apuntar a la búsqueda de fuentes alternativas de agua, de esta

forma reducir la necesidad de agua tratada requerida en la vivienda (Pérez, 2009). Adicionalmente, si esta fuente puede ayudar a reducir los vertimientos de agua esto se convierte en una buena estrategia para la sostenibilidad de la misma. Se busca entonces sustituir el suministro de agua para demandas que no requieran agua tratada. Las fuentes de agua alternativas para viviendas pueden ser la recolección de aguas lluvias, las aguas grises (reúso de aguas jabonosas), aguas de descarga de aires acondicionados, aguas condensadas y reúso de aguas por medio de tratamientos como ósmosis inversa.

2.5.1 Uso de aguas atmosféricas

Las aguas atmosféricas utilizan el vapor de agua presente en el aire, el cual se manifiesta en forma de humedad. Entre ellas se encuentran el agua que drenan los aires acondicionados o equipos de enfriamiento como torres de enfriamiento, condensadores, enfriadores y aires acondicionados se puede llamar agua de drenaje o de purga de los aires (Magrini et al, 2017). Otra posibilidad de uso de agua atmosférica se da cuando una superficie muy fría está en contacto con el aire y se da condensación, esta también se puede conocer como agua de condensación (De Gois et al, 2015).

2.5.2 Reúso de aguas lluvias y grises

Los sistemas de recolección de agua de lluvia y grises se están convirtiendo cada vez más en una parte integral de las construcciones sostenibles. Sin embargo, una mayor consideración de los impactos ambientales y los impactos del ciclo de vida de dichos sistemas han provocado la realización de diseños hidrosanitarios más precisos. Esto no es solo para reducir los costos de capital, sino también para reducir los materiales utilizados en los sistemas de fabricación, así como los costos y los requisitos de recursos relacionados con la instalación y el mantenimiento del sistema.

Según Ghisi y Ferreira (2007) en los últimos años, la recolección de aguas lluvias y grises ha recibido mayor atención como una de las fuentes alternativas de agua más prometedoras, que se puede utilizar para compensar parcialmente la creciente

demanda de agua limpia a nivel mundial. Las investigaciones de Dakua et al. (2013), Mukherjee y Hyde (2013) demuestran que en las regiones costeras se obtiene un buen almacenamiento en épocas de lluvia y a través de los aires acondicionados se capta un volumen adicional de agua que puede ser reutilizado.

Por otra parte Akter y Ahmed (2015) expresan que la mayoría de los países en desarrollo, enfrentan escasez de agua potable debido a la disminución del agua subterránea, así como a una gestión ineficiente del agua. Es por ello que, para compensar parcialmente la creciente demanda de agua, se han implementado algunas fuentes alternativas de agua. De hecho algunas naciones desarrolladas adoptan la reutilización de aguas grises y el reciclaje de aguas residuales, los cuales requieren tratamientos de mayor nivel y, en consecuencia, se vuelven costosos al tiempo que tienen problemas de seguridad.

Una investigación de Ward, Memon, & Butler (2012) demostró que Bangladesh es un país con un alto volumen en población y actualmente presenta dificultades para producir la cantidad de agua necesaria. Es por ello, que el gobierno de Bangladesh ya ha enmendado las reglas de construcción de edificios, al hacer que las instalaciones de recolección de agua de lluvia sean obligatorias para todos los nuevos edificios residenciales en el área corporativa de la ciudad de Dhaka (capital de Bangladesh). También se ha incorporado en el Código Nacional de Construcción de Bangladesh (BNBC) de 2014 que cada edificio residencial propuesto se construirá en parcelas que tengan un área superior a 300 m² y debe tener los arreglos para la recolección de agua de lluvia. Aunque estas reglas se están incluyendo en los códigos, todavía no se ha llevado a cabo un estudio en profundidad para evaluar el potencial de recolección de agua de lluvia en términos de confiabilidad y eficiencia en Dhaka, así como en otras ciudades importantes de Bangladesh.

No obstante, existen numerosos estudios sobre el potencial de recolección de agua de lluvia en varias regiones del mundo; sin embargo, se han realizado muy pocos estudios en profundidad sobre el potencial de recolección de agua de lluvia en Colombia (Ochoa, 2002). La investigación de Karim et al (2015) evaluó los sistemas

de recolección de agua de lluvia implementados en edificios de oficinas en entornos urbanos heterogéneos en los Estados Unidos, incluidos los sistemas de alcantarillado pluvial combinados y separados, ya que estos darán como resultado costos y beneficios ambientales y económicos variables en múltiples sectores del agua.

Este estudio encontró que los potenciales de ahorro de agua potable y de abatimiento de aguas pluviales se correlacionan fuertemente con los totales y patrones de precipitación anual local, específicamente el período de tiempo seco precedente de largo período, sin la presencia de lluvias (ver Figura 1). Dadas las tarifas actuales de agua y aguas pluviales en las grandes ciudades de EE. UU., Los sistemas de recolección implementados en edificios de oficinas pueden no ser rentables en comparación con los suministros municipales durante su vida útil, excepto en Seattle, que tiene las tarifas de aguas pluviales más altas del país (\$ 77.50 / 1000 ft² de superficie impermeable / mes).

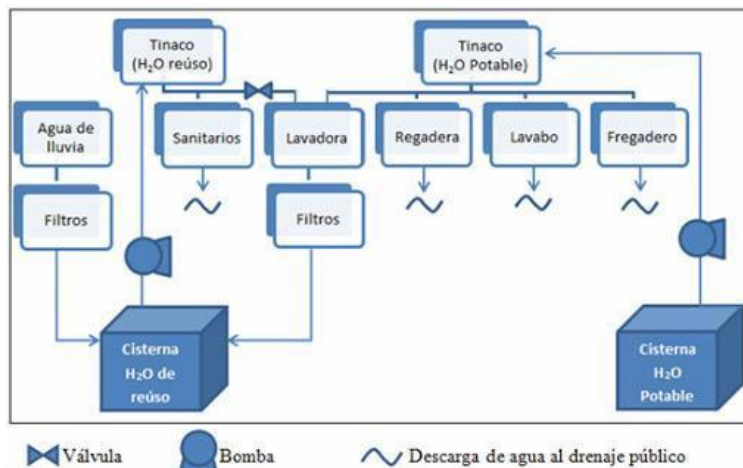


Figura 1. Esquema de la configuración del sistema hidráulico con recirculación.

Fuente: Karim et al (2015)

La posibilidad de implementar estos sistemas y obtener al respecto el ahorro de agua depende de muchos factores, los más importantes son: las condiciones climáticas (cantidad de lluvia, frecuencia de lluvias) y la demanda de agua no potable (tipo de edificio, número de usuarios y uso individual del agua para el

propósito dado Imteaz et al (2014). Estos parámetros también afectan la eficiencia financiera del uso de sistemas de captación de agua de lluvia Ghimire et al (2014).

En contexto los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas grises se utilizan para recolectar aguas residuales provenientes de lavar el cuerpo y lavar la ropa, y luego se utilizan principalmente para descargar inodoros, lavar y regar las áreas verdes Travis et al (2010). Estos sistemas no solo afectan la reducción del consumo de agua potable, sino que también tienen un impacto positivo en el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales (Jiménez y Asano, 2008). Por tanto las plantas de reciclaje de aguas grises se suelen utilizar en conjunto con los sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales, mejorando así su funcionamiento y aumentando la rentabilidad de su uso (ver Figura 2).

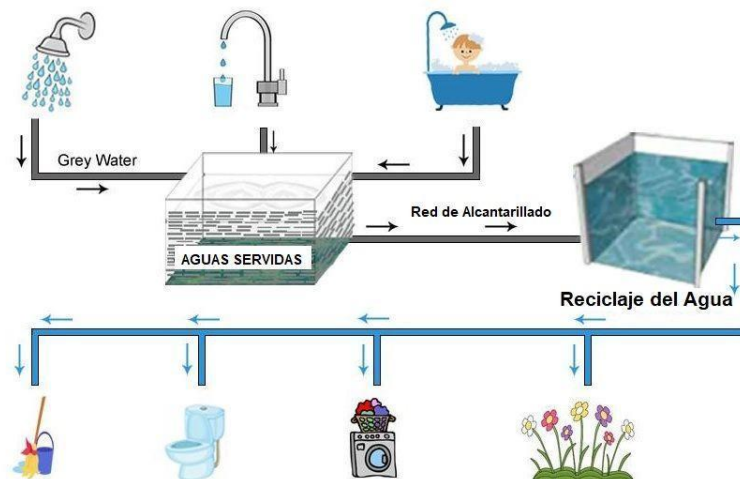


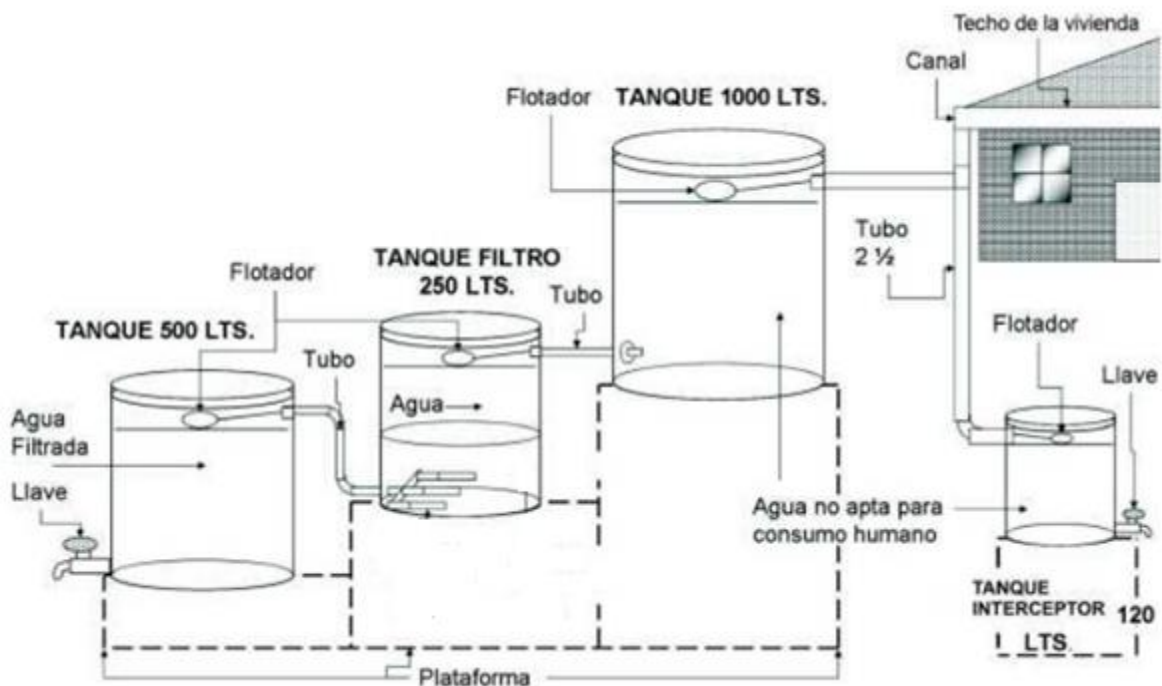
Figura 2. Reutilización de aguas residuales.
Fuente: (Travis et al., 2010)

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante que se realicen diseños hidrosanitarios eficientes para la reutilización del agua. Ante ello la investigación de Campisano y Modica (2012) informó que la viabilidad de los sistemas de reutilización de aguas, depende completamente de la capacidad del tanque de almacenamiento, el patrón de demanda de agua, el área de la azotea y el régimen de lluvia o precipitación. Así mismo Khastagir y Jayasuriya (2010) desarrollaron un modelo simple de balance hídrico diario basado en una hoja de cálculo para el

análisis del desempeño y el diseño de tanques de agua de lluvia. Además, Nguyen y Han (2014) proporcionaron un método para determinar la demanda variable diaria para la optimización del rendimiento del sistema de reutilización de aguas.

Aunque se han realizado muchas investigaciones sobre los aspectos de ahorro de agua de los sistemas de reutilización de aguas lluvias y grises en ubicaciones individuales, faltan estudios de regionalización para buscar la optimización del tamaño del tanque para reflejar los efectos de las condiciones locales, por ejemplo, las características de lluvia, pérdida y demanda en una gran región.

Finalmente, la Figura 3 refleja la base que debe contener una estructura de un sistema de recolección de agua, entre las cuales se destaca que esta estructura puede construirse sobre seis columnas de concreto reforzadas con hierro y según la estabilidad del terreno se deben acondicionar pilotes para el sostenimiento de la estructura. Para ello, se podría utilizar madera fina resistente al agua y las medidas de los soportes de los tanques deberán estar basadas en la altura de las canaletas de recolección y deben oscilar entre 80 cm a 1,20 m de altura a partir de la superficie del terreno.



**Figura 3. Diseño de tanques de almacenamiento.
Fuente: Ministerio de la salud (2010).**

2.6 Los aires acondicionados

Existe gran variedad de equipos para el acondicionamiento del aire, simplemente para ilustrar los diferentes tipos y sistemas que se pueden encontrar son los aires acondicionados individuales, en los cuales la instalación no se encuentra centralizada, sino que se presenta una unidad para cada apartamento o recinto que se quiere acondicionar. Entre estos equipos individuales se encuentran equipos de ventana, unidades separadas tipo Split o tipo multi-split y equipos auto-contenidos (con o sin conducto). Existen también sistemas centralizados, entre los que se pueden mencionar los tipos roof top, unidades separadas comerciales, fan-coil y VRV.

2.7 Teoría de la condensación

La condensación es el paso del agua del estado gaseoso al estado líquido, esta se da a una temperatura y presión determinada, cuando la presión de vapor del agua es mayor que la presión de saturación. Se puede entonces dar la condensación bien sea por el aumento en la presión de vapor o por descenso en la presión de vapor de saturación. Estas condiciones de enfriamiento se pueden dar por varios mecanismos, entre ellos se encuentra la mezcla de aire a diferentes temperaturas, el contacto con superficies frías o el enfriamiento adiabático del aire. Durante el proceso de condensación se desprende energía igual al calor latente (Louisville, 2020).

2.8 Condensación y funcionamiento de aires acondicionados

Fruto de la condensación que se da en el exterior del mecanismo de refrigeración aparecen una serie de serpentines de refrigeración. Esta agua en exceso debe ser adecuadamente manejada y evacuada ya que al ser el aire acondicionado un aparato eléctrico no es recomendable la acumulación de agua en el mismo. Esta cantidad de agua evacuada depende de un gran número de factores, entre los que se pueden mencionar el modelo del aparato de refrigeración, su potencia, la humedad relativa del lugar donde esté instalado, sus horas de uso, su eficiencia, entre otras.

Según estimaciones presentadas por Aguirre, Piraneque y Rozo (2018), esta cantidad de agua puede ser de alrededor de 12.9 L por día. Esta agua debería ser adecuadamente dispuesta y no debería estar goteando a la calle o a las zonas comunes de las edificaciones, por lo que debería darse un buen uso a las aguas subproducto del proceso. Si la condensación de estas aguas se diera en superficies adecuadas y libres de impurezas como es en el caso de la destilación del agua, el agua de desecho de los aires acondicionados no se da bajo estas condiciones, principalmente porque las superficies sobre las que se produce dicha condensación están expuestas a contaminación y la recolección de las mismas no se hace de forma adecuada, lo que lleva a que sea un agua que en muchos casos presenta características no aptas para el consumo, sin embargo podría ser adecuada para otros usos.

Generalmente esa agua de desecho está expuesta a contaminación química y biológica y tiene un cierto grado de acidez (Arroyo, 2018). Si bien existen tecnologías que permitirían la potabilización de esta agua de tal forma que se vuelva segura para consumo esta opción normalmente no es rentable económicamente por los costos implicados en el tratamiento del agua, así que es recomendable buscar otros usos a las mismas. Algunos autores recomiendan eliminarla como agua residual, otros recomiendan utilizarla en riego, sin embargo, esto dependerá del tipo de plantas y de la acidez que soporten las mismas. Finalmente, queda la posibilidad de utilizar estas aguas tratándose como son tratadas las aguas grises.

2.8.1 Teoría básica de la refrigeración

Para entender el funcionamiento de un aire acondicionado se debe entender de forma muy general su funcionamiento. En este sentido, lo que realiza un equipo de aire acondicionado es “sacar el calor” de una habitación o un ambiente determinado, para ello tiene dos bobinas conectadas por medio de una tubería que tiene un gas refrigerante que fluye de forma continua entre ellas, de esta manera realiza la transferencia de calor por medio del gas refrigerante el cual fluye entre una bobina en el interior, generalmente en forma de serpentín, conocida como evaporador y otra en el exterior conocida como condensador.

El evaporador actúa como un elemento de transferencia de calor con el ambiente interior, absorbiendo energía del interior y llevándola al condensador que actúa como un elemento de transferencia con el exterior. Para su funcionamiento el evaporador se debe mantener “frio” (a una temperatura menor que la del ambiente interior) y el condensador “caliente” (más caliente que el entorno exterior”), de esta forma el fluido absorbe el calor del ambiente interior (en el evaporador) y lo expulsa hacia el exterior (en el condensador).

Según Mas (2011) para el flujo se requiere el uso de un compresor el cual comprime el gas refrigerante que viene del evaporador, en el compresor se aumenta la presión por lo que la temperatura en el gas debe aumentar y ya que la temperatura en el gas es más caliente que el ambiente, este debe expulsar el calor a medida que fluye en el intercambiador de calor (serpentín del condensador) para facilitar esta transferencia generalmente se adiciona un ventilador para incrementar la transferencia por esta pérdida de calor en el condensador el gas refrigerante pasa al estado líquido, posteriormente a la salida del condensador se localiza una válvula de expansión (la cual disminuye la presión por medio de una expansión súbita del gas), la cual restringe el flujo y produce una caída de presión en el sistema bajando hasta la presión de vapor y haciendo que parte del líquido refrigerante se evapore, para este cambio de fase se requiere del calor latente, por lo que la energía interna del fluido debe suministrar dicho calor, lo que lleva a una disminución de la temperatura en el gas refrigerante, este fluido refrigerante con una temperatura menor a la del ambiente interior fluye por la bobina del evaporador y absorbe el calor del interior (donde también se localiza un ventilador para facilitar el proceso de transferencia), lo que hace que durante este proceso de absorción de calor el fluido refrigerante se convierta en vapor, llegando nuevamente al compresor y de esta forma continúa el ciclo.

Este ciclo ilustra el funcionamiento del gas interior, pero para entender el exceso de humedad que sale de los aires acondicionados es necesario dar la mirada de lo que pasa en el aire cercano a las tuberías del sistema de aire descrito. En un aire acondicionado el compresor se encuentra cerca del condensador y la válvula de expansión cerca del evaporador, por lo que cerca de las bobinas del evaporador la

temperatura es muy baja lo que hace que el aire cercano a este punto baje su temperatura, llegando a una temperatura inferior al punto de rocío y haciendo que se condense el agua en la parte externa de estas tuberías formando pequeñas gotas de agua que deben ser recogidas y finalmente drenadas (Ver Figura 4, Figura 5 y Figura 6).

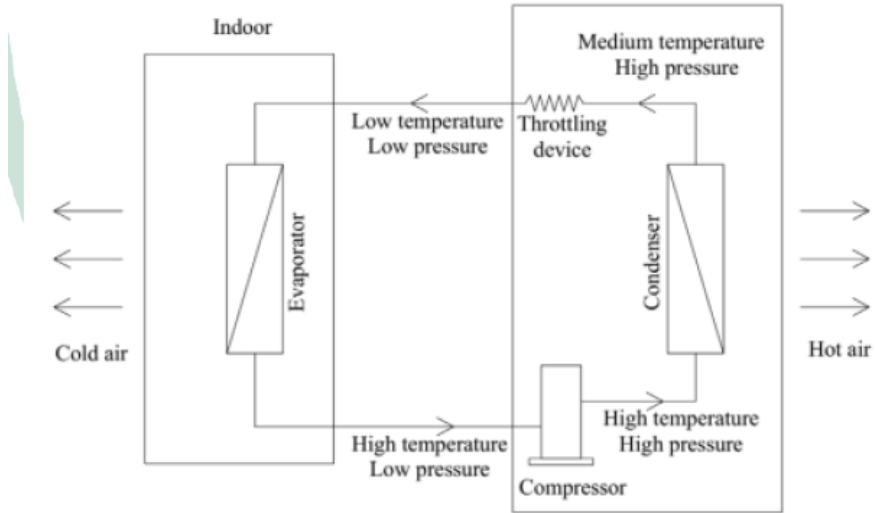


Figura 4. Funcionamiento del aire acondicionado.
Fuente: Yang et al (2021).

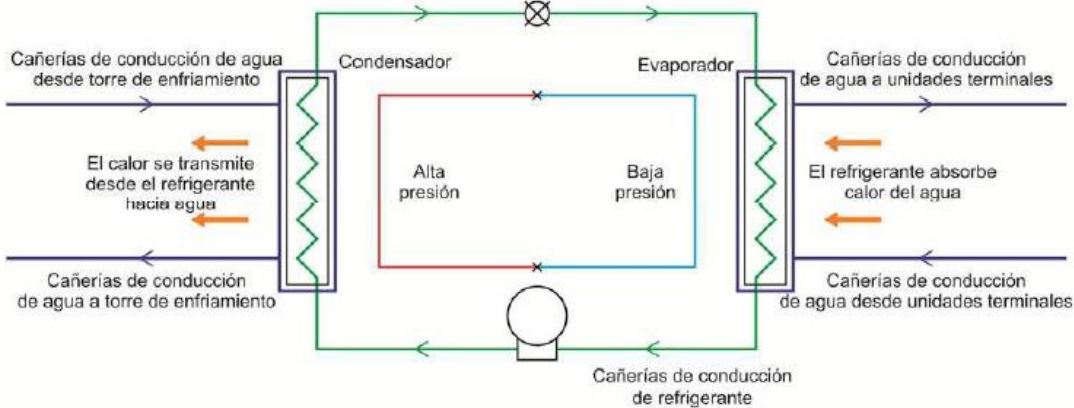


Figura 5. Funcionamiento del aire acondicionado.
Fuente: Mas (2011).

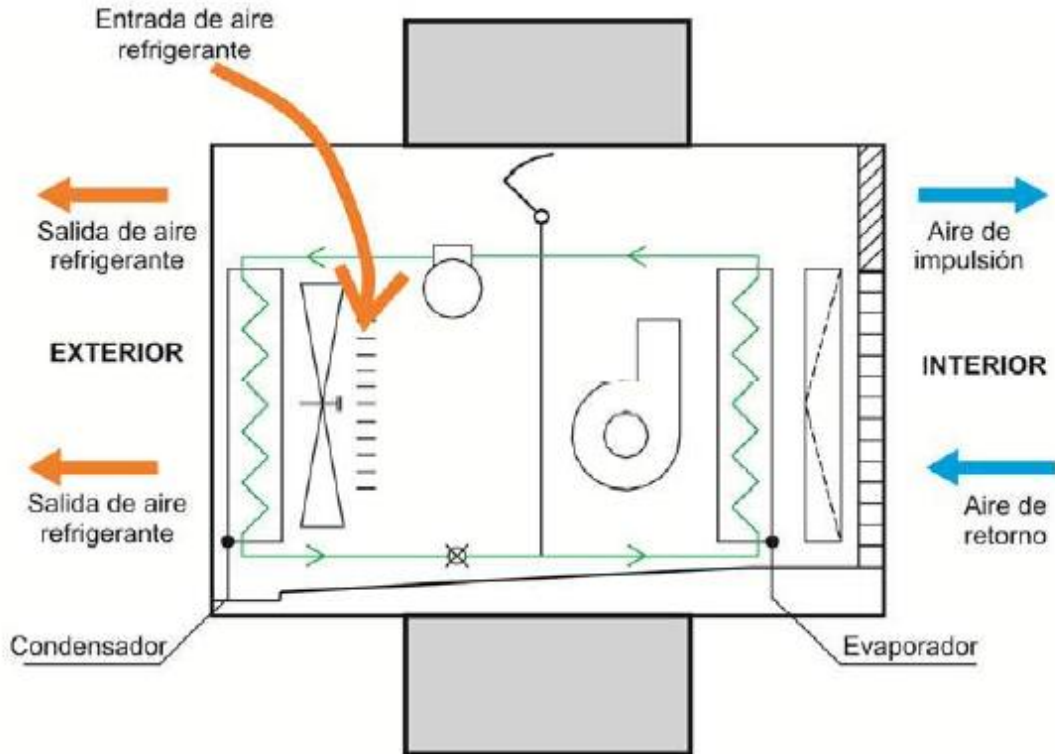


Figura 6. Funcionamiento del aire acondicionado.
Fuente: Mas (2011).

2.8.2 Agua de condensación en aires acondicionados

La condensación de vapor de agua en el evaporador se produce cuando la temperatura en el serpentín del evaporador es menor al punto de rocío del aire. Generalmente esta agua es enviada al exterior por una cañería o una bandeja de recolección. Dado que existe un exceso de agua por este proceso los sistemas deberían prever la evacuación final de dicho exceso de agua, de tal forma que sea llevada al sistema de drenaje de los edificios.

La cantidad de agua que se drena depende de diferentes factores, unos que dependen de la conformación interna y características propias del aire acondicionado y otras de las características del aire húmedo y de los procesos termodinámicos que ocurren en los aires acondicionados. Es por ello que varios autores optan por una evaluación experimental de la cantidad de agua drenada para plantear el aprovechamiento de las mismas.

**Tabla 4. Caudal promedio obtenido en el monitoreo.
Fuente: Alfonso y De La Hoz (2019)**

Fecha	Tiempo (h)	Volumen (L)	Caudal (L/h)
13/06/2018	5	90,913	18,183
14/06/2018	5	84,873	16,975
15/06/2018	6	95,2	15,867
16/06/2018	1	25,939	25,939
18/06/2018	4	109,865	27,466
19/06/2018	4	82,099	20,525
20/06/2018	6	116,912	19,485
21/06/2018	5	113,58	22,716

**Tabla 5. Proyección mensual de recolección de agua de condensado.
Fuente: Vidal y Martínez (2022).**

Capacidad de equipo (BTU/h)	Humedad (%)	Temperatura exterior (°C)	Tiempo de operación (h)	Caudal (L/h)	Cantidad de equipos	Proyección al mes (L)
12 000	90	26	8	0,95	1	228
12 000	73	30	8	1,05	1	252
12 000	93	29	8	1,15	1	276
12 000	84	29	8	1,1	1	264
12 000	78	30	8	1	1	240
12 000	92	27	8	1,2	1	288
12 000	82	31	8	1,02	1	244,8

En la Tabla 4, los autores Alfonso y De La Hoz (2019), calcularon el caudal promedio producto de la condensación de 14 aires acondicionados con diferentes potencias de un edificio de la Universidad de la Costa en la ciudad de Barranquilla, dando caudales que varían entre los 15,87L/h y 27,47L/h. Por otro lado, en la Tabla 5, los autores Vidal y Martínez (2022) plantean la condensación de aires acondicionados de la misma capacidad funcionando con diferentes humedades que varían entre 73% a 93% y con diferentes temperaturas que varían en 26°C a 31°C, para un

periodo de tiempo de 8 h dando caudales diferentes dependiendo de las condiciones del ambiente. Para cada caso en específico es necesario considerar los diferentes factores que influyen en la condensación de los aires acondicionados y así conocer el volumen que se puede reutilizar.

Para realizar una aproximación general a la cantidad de agua generada se debe estudiar el comportamiento termodinámico del aire húmedo, esto es realizado por la Psicometría.

2.8.3 Psicometría

La psicometría estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo. De acuerdo con Davanagere, Sherif & Goswami (1999) el aire en la atmósfera es una mezcla de aire seco (mezcla de varios gases como nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, hidrógeno, neón, entre otros gases) y vapor de agua. Según Ghiaus (2022) esta mezcla conocida como aire húmedo que constituye el aire seco y el vapor de agua tiene una serie de propiedades y parámetros que están relacionadas por medio de ecuaciones analíticas, en tablas o en forma gráfica en un diagrama conocido como carta psicrométrica. En este sentido, es relevante definir de las propiedades más importantes, en la cuales se ubican las siguientes:

2.8.4 Temperatura de bulbo seco

Es la temperatura medida con un termómetro ordinario de una sustancia, convirtiéndose en una indicación del calor sensible y las temperaturas de bulbo seco se muestran en líneas verticales con origen en el eje horizontal al fondo de la carta (De Abreu et al, 2011).

2.8.5 Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura medida con un termómetro ordinario de una sustancia, convirtiéndose en una indicación del calor sensible y las temperaturas de bulbo seco (De Abreu et al, 2011) se muestran en líneas verticales con origen en el eje horizontal al fondo de la carta Psicrométrica (Ver Figura 7).

2.8.6 Temperatura de punto de rocío

La temperatura a la cual el aire tiene que ser enfriado antes de que comience la condensación de su humedad. Ya que una muestra de aire es enfriada, su humedad relativa sube hasta que alcanza 100% (aire saturado). Esta es la temperatura de punto de rocío. En la saturación, la temperatura de punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco se igualan, y la Humedad Relativa es 100%. Si el aire es pasado a través de una superficie que está debajo del punto de rocío, la humedad del aire se condensará en esa superficie (Martines y Lira 2008). Es el punto de rocío del aire yendo a través de las aletas del serpentín enfriador, la que determina si las aletas serán húmedas o secas.

2.8.7 Humedad relativa

La relación de la cantidad de vapor de agua en una muestra dada de aire a la máxima cantidad de vapor de agua que el mismo aire puede mantener. El 100% de humedad relativa indica aire saturado (el aire no puede mantener más vapor de agua), y 0% de humedad relativa indica aire seco. Ante ello, la humedad relativa es la relación actual de presión de vapor de agua en una muestra de aire y la presión de vapor de agua en aire saturado a la misma temperatura (Morejón et al, 2018).

2.8.8 Humedad absoluta o humedad específica

La humedad absoluta (expresada como gramos de vapor de agua por metro cúbico de volumen de aire) es una medida de la cantidad real de vapor de agua (humedad) en el aire, independientemente de la temperatura del aire. Cuanto mayor sea la cantidad de vapor de agua, mayor será la humedad absoluta. Por ejemplo, puede existir un máximo de aproximadamente 30 gramos de vapor de agua en un volumen de aire de un metro cúbico con una temperatura media de 26°C. La humedad específica se refiere al peso (cantidad) de vapor de agua contenido en una unidad de peso (cantidad) de aire (expresada como gramos de vapor de agua por kilogramo de aire).

2.8.9 Entalpía

Este término se usa para describir el total de calor de una sustancia y se mide en BTU/lb. Para la humedad del aire, la entalpía indica el total de calor en la mezcla de aire-vapor y se mide en BTU/lb de aire seco. Además, la entalpía se definió para que se pueda hablar sobre la cantidad de calor liberado o absorbido por una reacción cuando cualquier trabajo realizado es un trabajo que se produce a presión constante (Westfield Business School, 2000). Por ejemplo:

Cuando la entalpía (ΔH) < 0 entonces la presión es negativa lo que significa que el calor está saliendo del sistema. Un proceso que libera calor es exotérmico, o cuando $\Delta H > 0$ entonces la presión es positiva lo que significa que el sistema está absorbiendo calor. Un proceso que absorbe calor es endotérmico.

Esto no representa cambio en el contenido de energía total (energía interna, E), simplemente nos dice cuánta energía térmica se libera durante un cambio que ocurre bajo condiciones muy específicas.

2.8.10 Volumen específico

El volumen específico se define como el número de metros cúbicos que ocupa un kilogramo de materia. Específicamente Hoyos (2018) expresa que es la relación entre el volumen de un material y su masa, que es lo mismo que el recíproco de su densidad. En otras palabras, el volumen específico es inversamente proporcional a la densidad y este se puede calcular o medir para cualquier estado de la materia, pero se usa con mayor frecuencia en cálculos que involucran gases.

2.8.11 Calor sensible y calor latente

El calor sensible se define como la cantidad de calor o energía requerida para cambiar la temperatura de la sustancia sin cambiar la fase de la sustancia, se puede definir como un sistema que no muestra la transición de fase y se describe como el intercambio de energía entre la materia y su entorno, está relacionado con el sistema con cambio de temperatura variable. Por ejemplo: aumentar la temperatura

del agua de 10°C a 100°C, por tanto, esto implica que el agua sin transformarse en vapor de agua alcanza esta temperatura.

Se dice que es calor latente cuando a una temperatura constante, durante la transición de fase, la cantidad de calor absorbido o liberado, se puede definir como un sistema que muestra la transición de fase, se describen los cambios que ocurren en la energía interna del sistema, está relacionado con el sistema con una temperatura constante (Jung et al 2011). Por ejemplo: agua hirviendo: cuando se le da suficiente cantidad de energía térmica al agua, el cambio en la temperatura del agua expande el líquido para formar vapores de agua.

2.8.12 Psicrómetro

Un psicrómetro es un higrómetro formado por dos termómetros idénticos (Medrano, 2013). Uno de estos bulbos es el de un termómetro que se mantiene húmedo, lo que hace que registre una temperatura más baja que el termómetro de bulbo seco debido al enfriamiento por evaporación.

Un psicrómetro es un dispositivo para medir la humedad del aire y para ello tiene presente la medición sobre la diferencia de temperatura entre el bulbo de un termómetro seco y el bulbo del termómetro húmedo que ha perdido algo de humedad debido a la evaporación.

2.8.13 Carta psicrométrica

Una carta psicrométrica o diagrama psicrométrico es una gráfica donde se ilustran las diferentes propiedades del aire como temperatura, presión, humedad relativa, entre otras. El diagrama está compuesto por familias de curvas que ilustran las ecuaciones de estado que caracterizan la mezcla aire-vapor de agua. Se usan para determinar la variación de las diferentes propiedades con las variaciones de la presión. Para su uso es necesario conocer tres parámetros del aire húmedo para conocer las otras variables. Para poder realizar esta representación se presenta una curva para una presión atmosférica determinada, por lo que existiría un diagrama diferente para cada sitio de acuerdo a su altura sobre el nivel del mar. En este caso

se presenta el diagrama para la presión atmosférica a nivel del mar (101,300 Pa). Existen muchos tipos de cartas psicrométricas sin embargo su aplicación es la misma, entre las más conocidas están el diagrama de Mollier, el de ASHRAE (American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) y el diagrama de Carrier que es el más utilizado actualmente.

En la Figura 7 se muestra la carta psicrométrica para una presión atmosférica de 101,325 kPa, realizado por ASHRAE (American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), en las abscisas se presenta la temperatura seca y en las ordenadas la humedad específica. Esta carta cubre las temperaturas de bulbo seco están entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. En esta carta psicrométrica se pueden leer las propiedades del aire conociendo dos de ellas, además tienen un número de líneas que se cruzan unas con otras, así que si se encuentra el punto donde se cruzan dos de las variables (por ejemplo, la temperatura de bulbo seco y la humedad), este punto corresponderá a diferentes valores sobre las líneas constantes para la temperatura de bulbo húmedo, punto de rocío, humedad relativa, volumen específico, humedad específica y entalpía. Así si se traza el punto donde se conocen dos de cualquiera de esas propiedades del aire y a partir de este punto se puede leer en las escalas respectivas el valor correspondiente a las otras propiedades, moviéndose a lo largo de las líneas constantes de las otras propiedades.

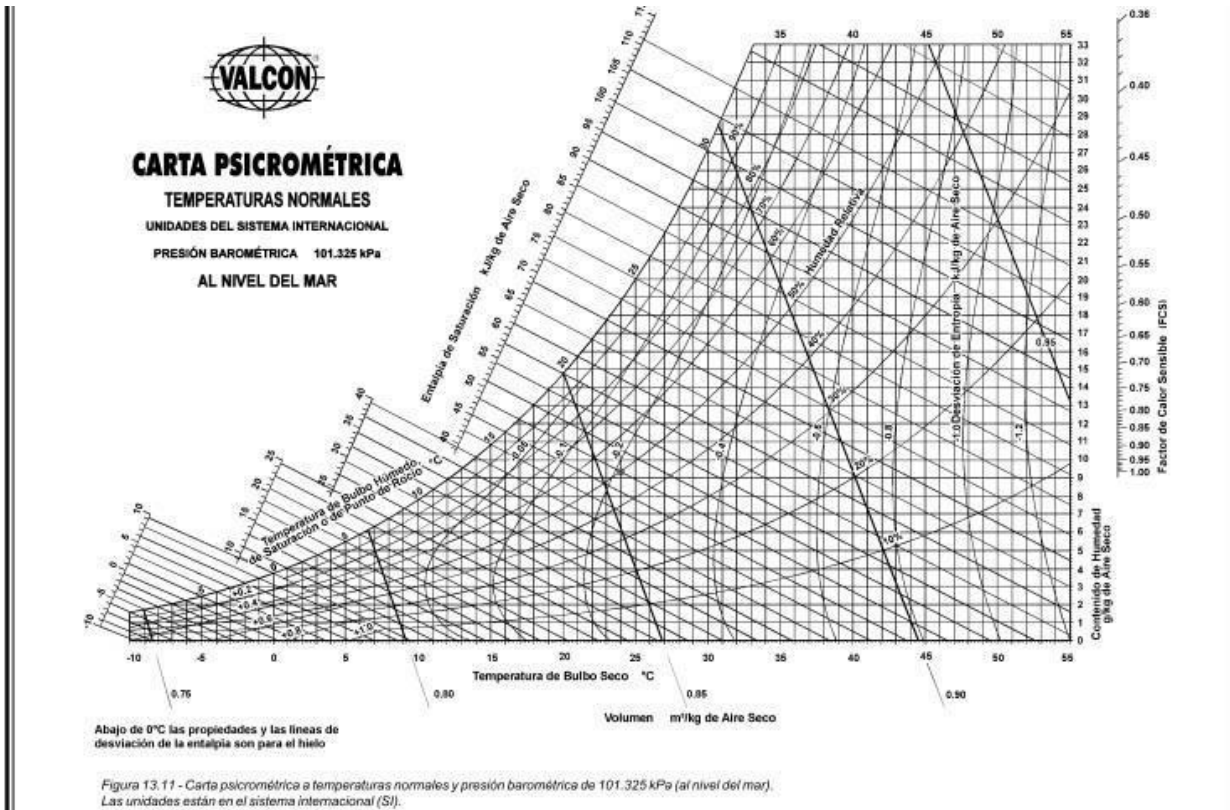


Figura 7. Carta Psicrométrica.

Fuente: American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

2.8.14 Cantidad de agua condensada

El agua de condensación aparece cuando el aire se encuentra en una superficie con una temperatura muy por debajo del punto de rocío, por lo que se extrae la humedad del aire como gotas muy pequeñas, que cuando alcanzan cierto tamaño caen por su peso y llegan al sistema de recolección. La cantidad de humedad extraída sería proporcional a la diferencia de temperatura, la humedad del aire, el uso del sistema, entre otros factores. Normalmente las anteriores variables cambian con el tiempo a lo largo del día, además el aire interior es reciclado parcialmente, por lo que su humedad varía a medida que el sistema funciona. Adicionalmente a veces los sistemas son dotados con sensores que detectan las condiciones del ambiente y se encienden o apagan cuando cumplen ciertas condiciones para lograr un ambiente relativamente estable, por lo que la producción de agua se vería afectada por dicha operación.

Esto hace que el cálculo de la cantidad de agua no sea constante. Sin embargo, una aproximación muy gruesa de la cantidad de agua se puede realizar, calculando el peso total del aire circulado por el sistema a partir del diagrama Psicrométrico se encuentran y se trazan las líneas constantes de punto de rocío para las condiciones inicial y final, y se encuentra el cambio de humedad específica y multiplicando este valor por el peso total de aire circulado por hora, se encuentra la cantidad de humedad removida en gramos por hora. Si se desea saber el volumen de agua, este se puede estimar utilizando la densidad del agua, por lo que se obtendría en litros / hora.

**Tabla 6. Caudal de condensación de agua.
Fuente: Aguirre, Piraneque y Rozo (2017)**

<i>Capacidad de refrigeración BTU/h</i>	<i>Potencia (HP)</i>	<i>Caudal L día⁻¹</i>	<i>N° de aires acondicionados</i>	<i>Caudal total L/día</i>
9000	0.75	3.1	13	40.3
12000	1.0	3.0	61	183.0
18000	1.5	3.7	8	29.6
36000	3.0	15.4	42	616.0
60000	5.0	21.6	206	3391.2
Sin caracterizar	-	-	69*	-
				4260.1

En la Tabla 6 se aprecia la cantidad de agua que producen los aires acondicionados dependiendo de su capacidad de refrigeración o potencia por ejemplo, para los aires acondicionados comerciales de 9000 BTU son capaces de producir 3.1L en un día según Aguirre, Piraneque y Rozo (2017), teniendo 13 unidades de aires acondicionados de 9000 BTU lo que da un total de 40.3 L al día. En el estudio realizado cuentan con un total de 330 unidades de aires acondicionados de diferente potencia, lo que da un volumen diario de 4260.1L al día, de esta manera calculan el volumen del tanque para la recolección y reutilización de la misma.

2.8.15 Calidad de agua condensada

Los sistemas de aire acondicionado reciclan el aire interior, pero deben añadir cierta proporción de aire fresco que viene del exterior, esta puede ser alrededor de 10% de aire fresco. Tanto el arie fresco como el aire interior tiene presencia de polvo y diferentes sustancias contaminantes, estos pueden hacer que se ensucien las aguas condensadas y en algunos casos producir cierta acidificación del agua de

condensación. También la oxidación o ensuciamiento de la superficie de condensación o las superficies de recolección del agua producen contaminación del agua. (Zetina et al 2018; Augusto 2018; Garavito 2019)

Aguirre, Piraneque y Rozo (2017) presentan resultados de calidad de agua de aires acondicionados y los comparan con los del sistema de acueducto del campus universitario de la Universidad de Magdalena encuentran que el agua que proviene de drenaje de los aires acondicionados presenta concentraciones mínimas de sales, lo cual explicaron por el proceso de condensación, también mostraron contenido mínimos de nitritos y nitratos, también de metales pesados, níquel y cromo y bajos niveles de plomo y cadmio. El pH también estaba en valores aceptados por la norma, la turbidez en general fue baja. El mayor problema de calidad fue la presencia de Coliformes fecales y Coliformes Totales.

Finalmente, el almacenamiento de estas aguas puede hacer que se produzca contaminación microbiológica, limitando su uso.

2.9 Reúso de agua en Colombia

Respecto al reúso de agua en Colombia La ley 373 de 1997 reglamenta en el artículo 9 que “De los nuevos proyectos. Las entidades públicas encargadas de otorgar licencias o permisos para adelantar cualquier clase de proyecto que consuma agua deberán exigir que se incluya en el estudio de fuentes de abastecimiento, la oferta de aguas lluvias y que se implante su uso si es técnica y económicamente viable”. En este sentido, en Colombia existen unos requerimientos específicos para que las organizaciones o los conjuntos residenciales puedan implementar este tipo de proyectos en cuanto al reúso del recurso hídrico colombiano.

2.10 Consumo de agua en un hogar

Teniendo en cuenta que la disponibilidad anual de agua es limitada, es importante que los ciudadanos implementen una cultura ambiental para reducir el consumo. En consecuencia, existen muchas estrategias para reducir el consumo de agua en los hogares, entre estas el Banco Interamericano de Desarrollo en 2015 destaca que

las actividades más comunes son “la instalación de inodoros de bajo consumo, el uso de un cabezal de ducha de bajo consumo, cerrar la llave durante el cepillado de dientes, usar menos agua en el jardín”.

Ahora bien, los consumos típicos de agua en un hogar varían, pero, en promedio, cada persona usa alrededor de 300 a 380 Litros de agua por día, para uso doméstico en interiores. Por eso, muchos gobiernos locales ahora tienen leyes que especifican que los grifos de agua, los inodoros y las duchas solo permiten una cierta cantidad de flujo de agua por minuto, de hecho, algunos países ofrecen descuentos si instala un inodoro que ahorra agua. Respecto a ello, la Tabla 7 presenta una estimación de los consumos típicos de agua en un hogar.

**Tabla 7. Típico consumo de agua en un hogar.
Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (2015)**

Aparato Sanitario	Consumo
Baño	Una bañera llena son 135 litros
Ducha	9 litros por minuto. Los antiguos cabezales de ducha pueden usar hasta 15 litros por minuto
Cepillar dientes	<4 litros, sobre todo si se cierra la llave durante el cepillado. Los nuevos grifos usan entre 3 y 4 litros al minuto. Modelos antiguos pueden emplear hasta más de 8 litros.
Lavar manos/ cara	4 litros
Afeitarse cara/piernas	4 litros
Lavavajillas	75 litros/ carga, dependiendo de la eficiencia de la máquina
Lavar platos a mano	15 litros/ minuto en los antiguos grifos. Los nuevos grifos pueden usar entre 3 y 8 litros por carga

Aparato Sanitario	Consumo
Lavarropa	95 litros/carga para las máquinas más nuevas. Los modelos más antiguos pueden usar hasta 150 litros por carga.
Inodoro	10 litros para modelos viejos. La mayoría de los nuevos usan 4,8 litros por descarga.
Vasos de agua para beber	200 gramos por vaso
Riego exterior	8 litros por minuto

3 RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1 Definición de las características de la vivienda de estudio

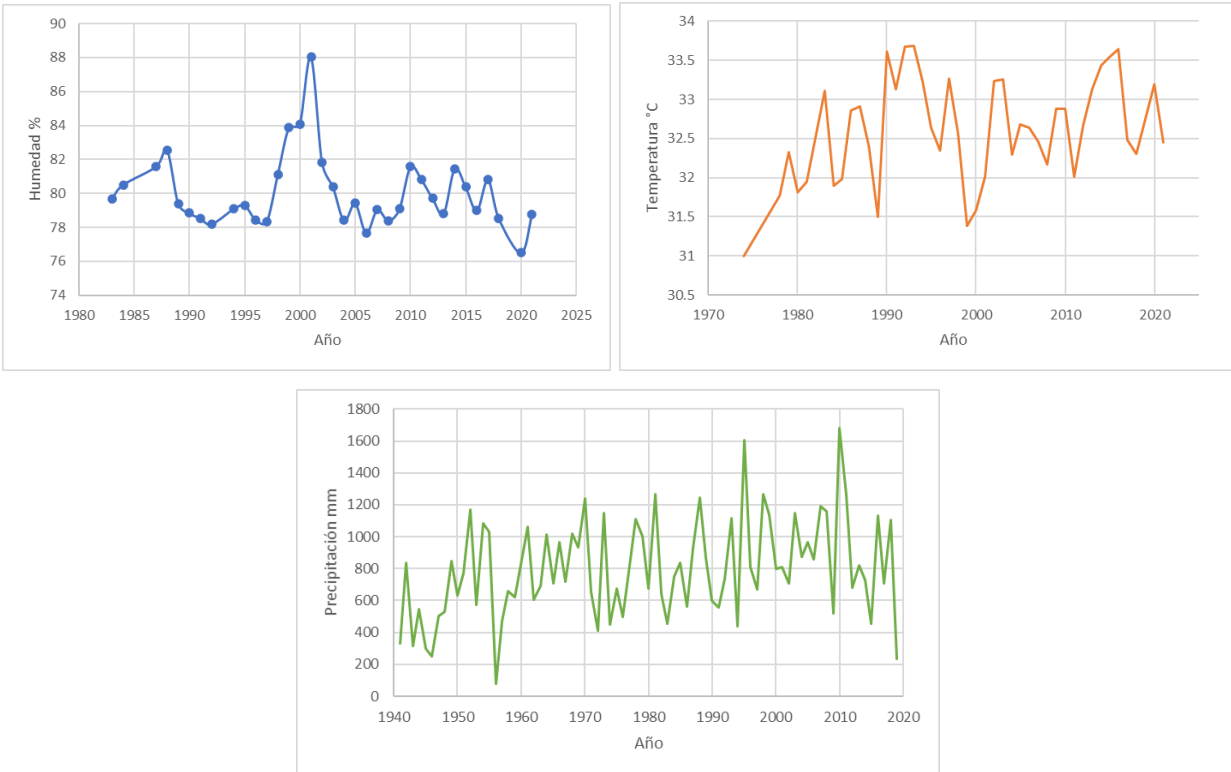
Para este estudio se tiene en cuenta un edificio multifamiliar de 4 pisos, con 4 apartamentos por piso, cada apartamento varía entre 50m² a 90m², para un total de 16 apartamentos. Para ello, se realizó un ejercicio práctico con un aire acondicionado comercial de 12.000 BTU, donde por varios días se mantuvo el aire acondicionado en funcionamiento y se obtuvo resultados en promedio de 20 L cada 10h, con temperaturas entre 18°C a 22°C.



Figura 8. Planta típica del apartamento en estudio.
Fuente: Constructora Amarilo edificio Amatista – Alameda del Río.

3.2 Humedad relativa, temperatura y punto de rocío en la zona de estudio

El área de investigación se ubica en la ciudad de Barranquilla. El régimen de precipitación es bimodal, con un período con mayores precipitaciones en el mes de octubre y mayo y de menores precipitaciones en los meses de febrero y julio. La región, cuenta con una precipitación media anual de 811.8 mm. Las temperaturas varían a lo largo del año con mayores temperaturas en 38.7°C y menores en 25.4°C. La temperatura promedio anual es de 32.6°C. Las humedades relativas varían entre 76.5% y 88.0%, lo que indica que el porcentaje de vapor de agua en el aire la mayor parte del tiempo tiene es alto, por lo que las condiciones del aire son óptimas para mayor condensación de agua para los aires acondicionados en esta zona. En la Figura 9 se muestra la variación de la humedad relativa año a año.



**Figura 9. Humedad Relativa, Temperatura y Precipitación.
Estación: AEROPUERTO E. CORTISSOZ
Fuente: Elaboración propia.**

3.2.1 Estimación teórica de la cantidad de agua condensada

La temperatura promedio del ambiente en la ciudad de Barranquilla justo antes de encender los aires acondicionados es de 32°C que equivale a los 89,24°F, con una humedad promedio de 82,3%, la temperatura promedio que los aires acondicionados enfrían las habitaciones es de 21°C que equivale a 69,8°C con una humedad relativa de 76,5%.

TE: Temperatura de entrada.

HE: Humedad relativa de entrada.

TS: Temperatura de salida.

HS: Humedad relativa de salida.

GE: Gramos por ft³ de entrada.

GS: Gramos por ft³ de salida.

GD: Diferencia de gramos por ft³.

A: Porcentaje de aire de salida = 20%.

T: Toneladas del equipo = $350\text{ft}^3/\text{min.ton.} = 3,5$.

Q: Caudal.

Con las siguientes fórmulas se calcula los gramos por ft^3 con los datos de entrada y salida.

$$GE = \frac{HE * 0,0033 * TE^2 - 0,1823 * TE + 4,703}{100}$$
$$GS = \frac{HS * 0,0033 * TS^2 - 0,1823 * TS + 4,703}{100}$$

Una vez se tengan los gramos de entrada y salida se calcula la diferencia:

$$GD = DE - DS$$

Por último, se calcula el caudal producido:

$$Q = \frac{(GD * 350) * (T * A) * (50/100)}{(7000 * 8,33 * 7,481) * 7,481}$$

Una vez reemplazamos los datos de la ciudad de Barranquilla en las fórmulas mostradas anteriormente, se tiene que el caudal promedio que puede producir un aire acondicionado es de 0,01 GPM que equivale a 0,05 L/min.

3.3 Medición de caudales en la vivienda de estudio

Para estimar el caudal de agua por los equipos, se utilizó el método volumétrico (aforado), de manera que se recolectó el agua descargada durante 10 horas durante 7 días. Con estos datos se calculó el caudal promedio generado en aproximadamente 10 horas de uso por unidad.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q = Caudal Lt/h

V = Volumen de agua producido por condensación Lt.

T = Tiempo h.

Se realizó la toma de datos para un aire acondicionado comercial de 12.000 BTU funcionando 10 horas. Los volúmenes obtenidos se pueden observar en la Tabla 8, en la cual se puede concluir que el caudal promedio es de 2,04 L/h.

Tabla 8. Volumen obtenido de la condensación de un aire acondicionado.
Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Potencia	Tiempo	Volumen
6/03/2023	12.000 BTU	10 h	18,0 L
7/03/2023	12.000 BTU	10 h	17,1 L
8/03/2023	12.000 BTU	10 h	23,5 L
9/03/2023	12.000 BTU	10 h	24,6 L
10/03/2023	12.000 BTU	10 h	19,7 L
11/03/2023	12.000 BTU	10 h	18,9 L
12/03/2023	12.000 BTU	10 h	21,2 L

3.4 Estimación de la demanda de agua en una vivienda

Teniendo en cuenta la estimación presentada en la Tabla 7 respecto al consumo diario de agua que utilizan los hogares colombianos en la Tabla 9 se presenta una estimación de la demanda que se podrían requerir en actividades que no requieran agua potable.

Tabla 9. Estimación de volumen diario para los hogares colombianos para usos que no requieren agua potable.
Fuente: Elaboración propia.

Aparatos	Consumo	Usos / día	Personas	Volumen
Inodoro	4,8 L/uso	5 Usos/Pers	5	120 Lt
Lavar ropa	95 L/carga	2 usos	-	190 Lt
Riego exterior	8 L/min	60 min	-	480 Lt
			Volumen Total	790 Lt

Considerando que el agua no será reutilizada para el consumo humano, se identificaron en la Tabla 7 los aparatos sanitarios que se encuentran en los hogares colombianos y que pueden reutilizar agua de los aires acondicionados sin necesidad

de hacerla potable. En la Tabla 9 se presentan los aparatos sanitarios seleccionados de la Tabla 7 para el cálculo del volumen diario se asumieron los siguientes criterios los inodoros se usan alrededor de 5 veces por persona, los hogares en Colombia los habitan en promedio 5 personas, en un día de mayor demanda se consideraron 2 usos de la lavadora y 1 hora de riego de jardines, llegando a tener un volumen diario de 0,8 m³. Teniendo en cuenta que los fines de semana el consumo podría ser mayor y estos datos se podrían hasta duplicar para las condiciones familiares de estrato medio.

3.5 Análisis de filtros a usar para la purificación del agua de condensación.

Los filtros son necesarios para hacer más potable o más limpia al agua en reuso. Particularmente en este estudio, los filtros en primera instancia no serán necesarios ya que esta reutilización del agua será para usos en sanitarios y no para el consumo humano.

Además, el agua condensada de los aires acondicionados no tiene sólidos suspendidos de gran tamaño que requieran la utilización de un filtro. Sin embargo, en los casos en que los equipos se oxiden o estén expuestos al polvo se podría disponer de un filtro de cartuchos de 5 micras antes de ingresar al tanque de almacenamiento para evitar que se contamine o arrastre partículas que puedan afectar a la succión del equipo de bombeo.

3.6 Propuesta para el desagüe y suministro del agua condensada.

Se realizó un inventario de las unidades de aire acondicionado en la urbanización de estudio tomada como típica y se encontró que por apartamento se cuenta con 1 unidad de aire acondicionado En la Tabla 10 se identifica su marca y la capacidad de refrigeración (BTU/h).

Tabla 10. Especificaciones del aire acondicionado.

Fuente: Elaboración propia

Aire Acondicionado Olimpo Mini Split	
Peso	38,5 Kg
Modelo	Olaci12-220Gpc

Clasificación energética	Tipo C
Capacidad	12000 BTU
Tecnología	Inverter

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los hallazgos centrales del estudio derivado a los diseñadores hidrosanitarios. Los resultados expuestos obedecen a cada uno de los objetivos específicos de investigación planteados, por tanto, se presentan los siguientes segmentos de resultados. Inicialmente, se dan a conocer los procesos que se aplican en los diseños hidrosanitarios tradicionales con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

4.1 Reutilización de aguas en diseños hidrosanitarios tradicionales

Los diseños hidrosanitarios tradicionalmente se desarrollan cumpliendo las buenas prácticas de la ingeniería civil, considerando los requisitos de la norma y del cliente, cuidando el presupuesto y el buen funcionamiento de las redes hidrosanitarias. La reutilización de aguas en los diseños hidrosanitarios es un tema que se tiene en cuenta si es exigido o aprobado por parte del cliente, esto es producto que los diseños y las obras son más costosas producto de las nuevas redes y tanques que se deben implementar para el funcionamiento de las mismas, pero a largo plazo se vería un ahorro reflejado en el recibo del agua.

4.1.1 Diseño de los desagües de aires acondicionados

El diseño de bajantes de aguas lluvias, en Colombia se basa en la norma NTC 1500. En ella el caudal de aguas lluvias que circulará por un bajante esta dado en las Tabla 11 y Tabla 12. Ya que generalmente los aires acondicionados por su bajo caudal (aunque más o menos constante a lo largo del tiempo) se han asimilado a los caudales de aguas lluvias.

Tabla 11. Dimensión del tubo de aguas lluvias.
Fuente: Tabla 12.6.2 NTC 1500 (2020)

Diámetro del tubo (pulgadas)	Capacidad L/m (gpm)				
	Drenaje vertical	Pendiente del drenaje horizontal			
		5,2 mm/m (1/16 pulgada/pie)	10,4 mm/m (1/8 pulgada/pie)	20,8 mm/m (1/4 pulgada/pie)	41,6 mm/m (1/2 pulgada/pie)
2	128,7 (34)	56,8 (15)	83,27 (22)	117,3 (31)	166,54 (44)
3	329,3 (87)	147,6 (39)	208,2 (55)	299,0 (79)	420,1 (111)
4	681,3 (180)	306,6 (81)	435,3 (115)	616,0 (163)	874,3 (231)
5	1 177,1 (311)	442,8 (117)	624,5 (165)	885,7 (234)	1 252,8 (331)
6	2 036,3 (538)	919,8 (243)	1 302,0 (344)	1 843,3 (487)	2 607,9 (689)
8	4 227,8 (1,117)	1 911,4 (505)	2 702,5 (714)	3 822,8 (1,010)	5 408,8 (1,429)
10	7 759,2 (2,050)	3 508,7 (927)	4 962,2 (1,311)	7 021,2 (1,855)	9 928,0 (2,623)
12	12 384,5 (5,543)	5 601,8 (1,480)	7 922,0 (2,093)	11 203,6 (2,960)	15 847,8 (4,187)
15	20 980,22 (5,543)	9 942,8 (2,508)	13 421,6 (3,546)	18 985,6 (5,016)	26 847,0 (7,093)

For SI: 25,4 mm = 1 pulgada, 304,8 mm = 1 pie, 1 L/min = 0,3 galón/min.

Tabla 12. Dimensión del tubo principal vertical de aguas lluvias.
Fuente: Tabla 12.6.3 NTC 1500 (2020)

Dimensión de la bajante vertical (pulgadas)	Capacidad L/m (gpm)
2	113,5 (30)
2 x 2	113,5 (30)
1½ x 2½	113,5 (30)
2½	204,4 (54)
2½ x 2½	204,4 (54)
3	348,2 (92)
2 x 4	348,2 (92)
2½ x 3	348,2 (92)
4	726,7 (192)
3 x 4¼	726,7 (192)
3½ x 4	726,7 (192)
5	1326,6 (360)
4 x 5	1326,6 (360)
4½ x 4½	1326,6 (360)
6	2130,9 (563)
5 x 6	2130,9 (563)
5½ x 5½	2130,9 (563)
8	4572,3 (1208)
6 x 8	4572,3 (1208)

For SI: 25,4 mm = 1 pulgada, 1 L/min = 0,3 galón/min.

Tabla 13. Caudal proveniente de aires acondicionados.

Fuente: Elaboración propia.

Número de plantas	Número de apartamentos por piso		
	2	4	6
4	0,27 L/min	0,54 L/min	0,82 L/min
8	0,54 L/min	1,09 L/min	1,63 L/min
12	0,82 L/min	1,63 L/min	2,45 L/min
20	1,36 L/min	2,72 L/min	4,09 L/min

De la Tabla 13, se ha calculado teniendo en cuenta dos aires acondicionados funcionando por apartamento, además se realizó el ejercicio para diferentes números de pisos y apartamentos por piso.

Según la tabla para bajantes de aguas lluvias el caudal que es capaz de transportar una tubería de 2" que comercialmente es la más pequeña para las redes de desagüe es de 113,5 L/min ver Tabla 12, y para las tuberías horizontales con pendientes de 0,5% siendo la más crítica, la tubería de 2" es capaz de transportar 56,8 L/min ver Tabla 11, estando por encima del caudal máximo que se tiene en la Tabla 13, para la tubería con pendiente del 0,5% se encuentra trabajando al 14,38% de su capacidad y el límite por norma es de 70%. La tubería se considera óptima para desaguar estos caudales.

4.1.2 Diseño de los aparatos sanitarios

Para el abastecimiento de una red de agua potable de un edificio se debe encontrar el número de aparatos sanitarios y su correspondiente UC (unidades de consumo).

Para calcular una red de evacuación de un edificio se asigna un valor de caudal de desagüe a cada uno de los aparatos sanitarios ubicados en los baños y cocinas.

La Norma NTC-1500 nos indica que la Unidad de Consumo (UC) es el caudal medio de consumo de un aparato sanitario expresado en litros por segundo (L/s). Así, a cada tipo de aparato sanitario doméstico la norma lo relaciona con un caudal de desagüe:

A un lavabo le asigna 0,05 L/s, a una ducha 0,16 L/s, a un lavavajillas 0,16 L/s y a un inodoro 0,38 L/s. Ver Tabla 14.

Tabla 14. Caudales y presiones mínimas para aparatos sanitarios.**Fuente: Tabla 7.4.3.1. NTC 1500 (2020)**

Tipos de aparatos hidrosanitario	Caudal ^a L/min (gpm)	Presión de flujo kPa (psi)
Bañera, válvula mezcladora balance de presión, termostática o de combinación balance de presión/termostática	15 (4)	138 (20)
Bidé, válvula de mezclado termostática	8 (2)	138 (20)
Accesorio de combinación	15 (4)	55 (8)
Lavavajillas doméstico	10 (2,75)	55 (8)
Bebedero	3 (0,75)	55 (8)
Lavadero	15 (4)	55 (8)
Lavamanos privado	3 (0,8)	55 (8)
Lavamanos privado, válvula mezcladora	3 (0,8)	55 (8)
Lavamanos público	1,5 (0,4)	55 (8)
Ducha	9,5 (2,5)	55 (8)
Ducha con válvula de mezclado de presión balanceada, termostática o combinada de presión balanceada/termostática	9,5 (2,5) ^b	138 (20)
Grifería de manguera	19 (5)	55 (8)
Poceta residencial	6,6 (1,75)	55 (8)
Poceta servicio	11 (3)	55 (8)
Orinal de válvula	45 (12)	172 (25)
Inodoro de desboque o arrastre con válvula fluxómetro	95 (25)	310 (45)
Inodoro, tanque fluxómetro	6 (1,6)	138 (20)
Inodoro sifónico, válvula de fluxómetro	95 (25)	241 (35)
Inodoro, tanque cierre acoplado	11 (3)	138 (20)
Inodoro, tanque una pieza	23 (6)	138 (20)
Factores de conversión: 1 kPa = 0,14 psi 1 L/min = 0,26 galón por minuto.		
^a Para requisitos adicionales de caudales y presión, véase el numeral 7.4.4.		
^b Cuando el fabricante de la ducha con válvula mezcladora indique una presión de flujo inferior para la válvula mezcladora, se debe instalar la válvula de baja presión.		

4.2 Consulta a expertos para determinar beneficios ante la reutilización de agua.

Se realizaron una serie de entrevistas y encuestas a expertos para determinar los beneficios técnicos y económicos en un diseño hidrosanitario con las condiciones planteadas. Esto sirvió como base para establecer que el diseño presentado fuese aplicable y confiable. También sirvió para analizar las consideraciones de los expertos con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Un primer aspecto para considerar en las encuestas fue las edades de los profesionales en el área de diseños hidrosanitarios. Este aspecto puede ser importante pues los profesionales más jóvenes pueden ser más abiertos a

innovaciones y nuevas tecnologías. Los rangos de edades se presentan en la Figura 10 en donde en rango de edad se tenían: 1 de los ingenieros tiene 27 años, 2 de los profesionales se encuentran en la edad de 29 años y 1 ingeniero tiene 30 años (ver Figura 10). Los profesionales que respondieron la encuesta en términos generales fueron jóvenes, pero con cierta experiencia en el tema, las respuestas fueron obtenidas principalmente en este rango de edad porque son profesionales más abiertos a nuevas alternativas (menos tradicionales en el diseño) y con una mayor conciencia ambiental, que ayudó a que respondieron las encuestas.

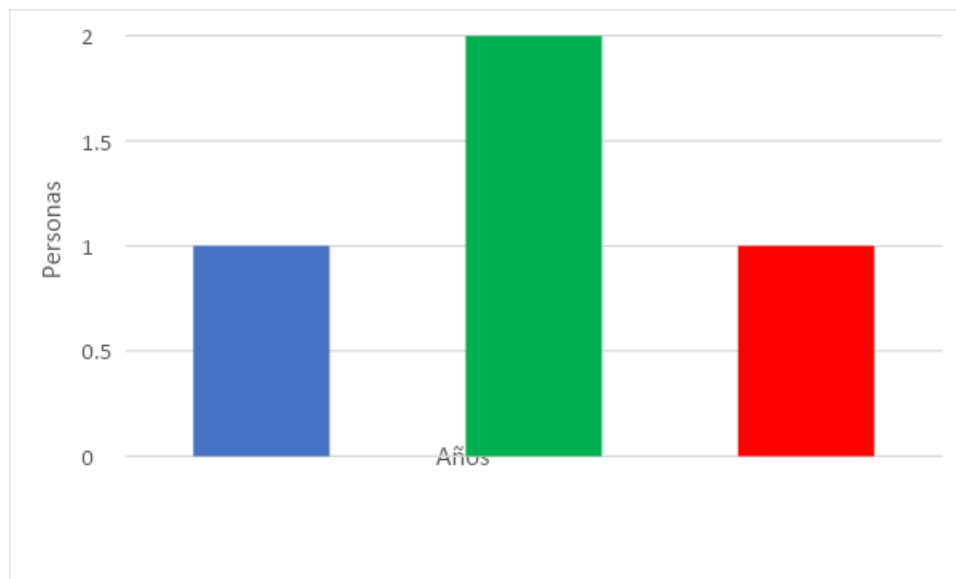


Figura 10. Edades de los participantes.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la experiencia de los profesionales que respondieron la encuesta se encontró que: 2 personas tienen una experiencia en diseños hidrosanitarios de 1 a 5 años y 2 personas se encuentran en más de 5 años (Ver Figura 11). En términos generales las personas que respondieron la encuesta la mayoría tenían una experiencia media y alta (1-5 años y más de 5 años) específica en el tema, por lo que se pudieron considerar personas con experticia en el tema.

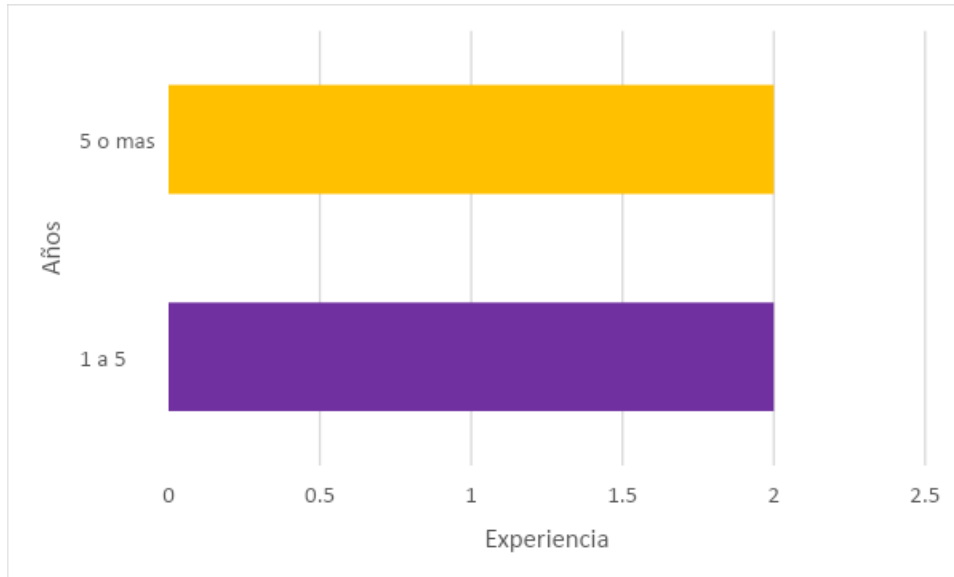


Figura 11. Experiencia en diseños hidrosanitarios.
Fuente: Elaboración propia.

Todos los entrevistados cuentan con pregrado en ingeniería civil, 1 de ellos se encuentra en nivel de especialización y 1 persona se encuentra en nivel de maestría (ver Figura 12), verificando la idea de que las personas entrevistadas pueden considerarse como expertos en el tema.

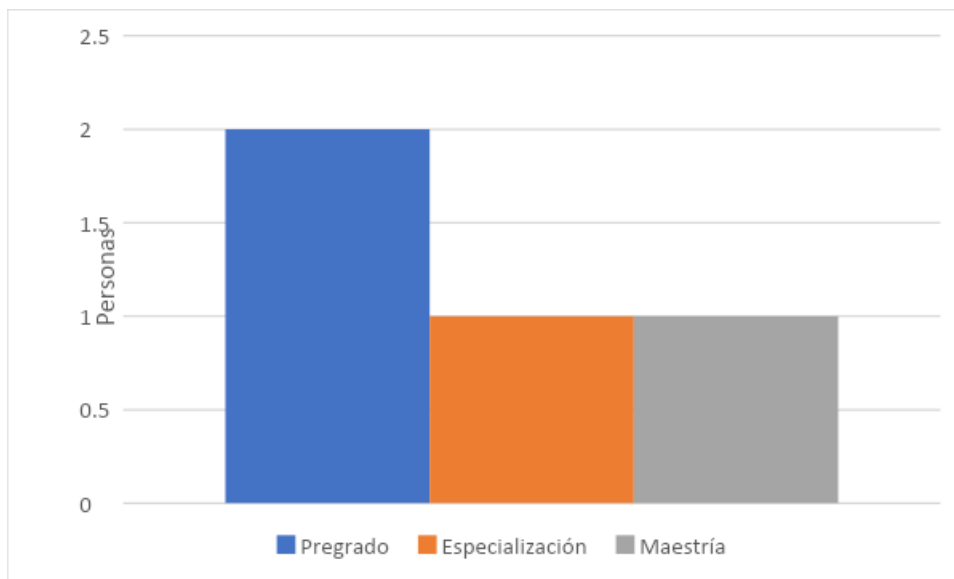


Figura 12. Nivel de educación.
Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la recolección de información y según las fuentes de los entrevistados en relación con las encuestas de los profesionales en el tema de diseños

hidrosanitarios, se encontró que el 25% de los participantes, corresponde al sexo masculino, seguido por el 75%, el cual corresponde al sexo femenino. (ver Figura 13)

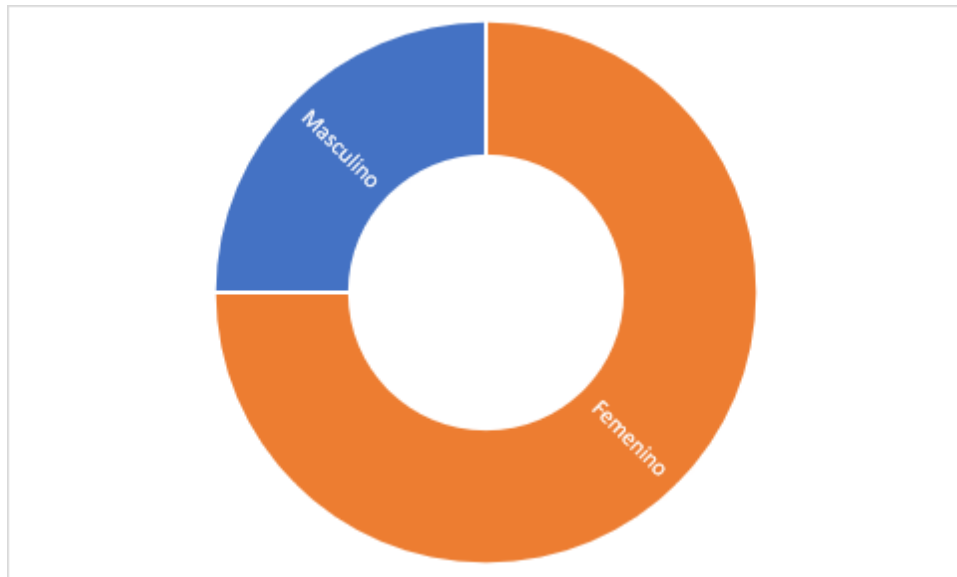


Figura 13. Rango de sexo de los participantes.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Procesos que se aplican en los diseños hidrosanitarios tradicionales con respecto a la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Las entrevistas fueron realizadas a cuatro profesionales en diseños hidrosanitarios, presentando ventajas como la riqueza de obtener distintos puntos de vista a través de un procedimiento tan especial en términos generales que además favorece la comprensión del tema planteado debido al contacto directo con expertos en la materia, capaces de enriquecer, corroborar o refutar sus propios argumentos en relación a los retos y obstáculos de la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados que más han impactado directa o indirectamente en sus diseños hidrosanitarios. Bajo este lineamiento los entrevistados serán representados en (E1, E2, E3 y E4).

En relación a los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas, los entrevistados E1, E2 y E3, argumentan que los diseños se basan solamente según lo sugerido por la norma, sin embargo, las normas de diseños no mencionan la reutilización de aguas provenientes de ninguna fuente,

simplemente son criterios de diseños para suministrar y evacuar las aguas servidas. Por otro lado, el entrevistado E4 aporta que “solamente se hace reutilización, si es exigido por parte del cliente, normalmente cuando se exige reutilización de aguas, se mencionan solamente las aguas provenientes de las lluvias, dejando a un lado las diferentes posibilidades de reutilización.”

En relación a los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluya la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados, los entrevistados mencionan que principalmente es el cálculo de los caudales que generan los aires acondicionados producto de la condensación, igualmente aplica el número de aires acondicionados que aportarían agua al sistema para calcular el volumen del tanque, adicionalmente el entrevistado E3 menciona “cotas bateas, topografía, infraestructura existente y proyectada”.

Uno de los retos más relevantes en los diseños hidrosanitarios es que incluya la recolección de aguas que conlleva a poder lograrlo. Los entrevistados E1, E2 y E3 comparten que se debe tener en cuenta tanques de almacenamiento, cuarto de bombas, sistema de tuberías y válvulas para alimentar los aparatos sanitarios donde se usará el agua reutilizada, adicionalmente el entrevistado E1 y E2 aporta el tratamiento de agua en caso de ser necesario.

Finalmente, el entrevistado E3 aporta que se debe considerar aislar las tuberías debido a la baja temperatura del agua, ya que se empieza a condensar el agua que rodea las tuberías y puede generar problemas de humedad, y el entrevistado E4 dice “es un beneficio para la red matriz de alcantarillado pluvial al atenuar caudales pico”.

4.2.2 Beneficios técnicos y económicos en un diseño hidrosanitario que permita la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Las discusiones involucran la relación de los diferentes beneficios técnicos y económicos en los diseños hidrosanitarios que permitan la reutilización de aguas

provenientes de la condensación de aires acondicionados, se visualiza la necesidad de abordar los beneficios desde los diferentes aspectos. Por ende, es importante abordar una visión sobre los problemas de escasez de agua que se vienen presentando, por causa del inadecuado uso que el hombre ha gestado contra los recursos naturales. Ahora bien, es claro que estas miradas impactaron el desarrollo de aplicar la reutilización de agua por ello es necesario analizar los obstáculos que impiden la implementación de la reutilización de agua desde los diseños hidrosanitarios, impidiendo que esta pueda jugar un mejor papel que le permita centrarse en la implementación a nivel normativo, derivadas de la implementación de la reutilización de aguas provenientes de diferentes fuentes que logren el desarrollo de estrategias que comuniquen más ampliamente sobre los beneficios a nivel técnico y económico.

Desde el aspecto de beneficio técnico, para la constructora, se tiene un reconocimiento a la implementación de la reutilización de agua, tal como lo afirma el entrevistado E3, en cambio los entrevistados E1 y E2 no ven ningún beneficio técnico y el entrevistado E4 dice que, debido a la promoción de uso eficiente de agua, la constructora adquiere privilegio por parte de entidades bancarias para el financiamiento de los proyectos. En cambio, para el diseñador, los entrevistados E1 y E2 coinciden que se benefician con experiencia y conocimiento para aplicar diseños sostenibles y ambientales, en cambio el entrevistado E3 mantiene que el beneficio es sólo reconocimiento y por otro lado el entrevistado E4 dice que aprende a optimizar recursos.

Ahora bien, para el aspecto del acueducto, al aplicar la reutilización de agua implica que la demanda disminuye, por eso E3 menciona que menores consumos beneficia al acueducto ya que podría atender un mayor número de personas, en cambio E2 dice que se tienen menor caudal y aligera carga necesaria en la red, además de que disminuye el costo de mantenimiento como lo menciona E1 y E2, en cambio para E4 dice que baja el caudal y a su vez se optimizan las redes matrices de acueducto. Con respecto al beneficio técnico para los propietarios los entrevistados E1 y E2 afirman que no tiene ningún tipo de beneficio, E3 dice que se usa eficientemente el agua y E3 menciona que es un ahorro de agua, pero que es un

beneficio más económico. Por el lado del funcionamiento, se beneficia con autosostenibilidad como lo argumentó E3, además se optimizan la capacidad de las redes y del agua como lo mencionan E1 y E2, en cambio E2 dice que se tiene una red alterna con almacenamiento en dado caso el acueducto no pueda suministrar, además de disminuir la carga de agua a la red.

Otro beneficio es el económico, al cual se tienen los siguientes argumentos, todos los entrevistados dicen que los propietarios se ven beneficiados económicamente ya que se tiene menor consumo de agua del acueducto, otro argumento es para el diseñador por lo que E1, E2 y E3 expresan que se ve beneficiado porque podría aumentar el costo del diseño debido a que se agrega otra red y E4 dice que se tendría un aprovechamiento del agua lo que reduciría el costo cuando esté en funcionamiento.

Seguidamente, para la constructora se tendría una mayor cantidad de ítems dentro del presupuesto lo que aumentan las cantidades de materiales y a su vez aumenta el valor del contrato como dicen E1 y E2, “Se abre el campo de acción y se le pueden otorgar créditos a menor interés por ser amigable con el medio ambiente (reutilización del agua)”, E3 se refiere a que se tendría un beneficio con las entidades bancarias y E4 menciona reconocimiento para la constructora por el beneficio por uso eficiente del agua.

Por último, E1 y E2 mencionan que las unidades o conjuntos se benefician con el aumento del precio de las viviendas por un menor consumo de agua del acueducto y sería sostenible con el medio ambiente, en cambio E3 comparte el menor consumo de agua, pero le adiciona que pagaría menos por la prestación del servicio del agua y E4 solo hace referencia al uso eficiente del agua ya que sería lo mejor para todas las personas que aplican la reutilización. Finalmente, los entrevistados dan respuesta a la pregunta si consideran otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico, por lo que E1 y E2 comparten los argumentos sociales y ambientales.

4.3 Diseño hidrosanitario aplicable y confiable en donde se considere la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados.

Para el dimensionamiento de la red de desagües y abastecimiento provenientes de la condensación producto de los aires acondicionados para edificios multifamiliares ubicados en la Costa Atlántica, se realizó considerando lo siguiente:

- Tanque de almacenamiento.
- Equipos de bombeo.
- Caudal producto de la condensación de los aires acondicionados.
- Número de apartamentos.
- Porcentaje de reducción de apartamentos con aires.
- Consumo de los sanitarios.

Se consideró un edificio multifamiliar de 4 pisos, con 4 apartamentos por piso para un total de 16 apartamentos, se realizó un ejercicio práctico con un aire acondicionado comercial, por varios días se mantuvo el aire acondicionado en funcionamiento y se obtuvo resultados en promedio de 2,04 L/h en el análisis realizado se utilizaba el aire acondicionado durante 10 h, sin embargo, no todos los apartamentos utilizan dicho aire por las mismas horas, por lo que se debe considerar un promedio. Existen diferentes factores que afectan dicho uso, entre ellos se encuentran la temperatura ambiente, la humedad, la sensación térmica, los costos de la energía, las horas de permanencia de las personas en la vivienda, entre otras. Considerando esto se asumió un promedio de utilización del aire de 6 horas.

El volumen que se obtiene producto de la condensación de los aires acondicionados se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = a \times b \times R \times C$$

Donde:

V = Volumen de agua producido por condensación.

a = Número de pisos.

b = Apartamentos por piso.

R = horas promedio de uso de aires acondicionados.

C = Volumen producto de la condensación por hora de consumo.

Si se tiene un edificio de 4 pisos, con 4 apartamentos por piso y que utilicen el aire durante 6 horas, se obtiene que:

$$V = 4 \text{ pisos} \times 4 \frac{\text{apartamento}}{\text{piso}} \times 6 \frac{\text{horas consumo}}{\text{apartamento} \times \text{dia}} \times 2.04 \frac{L}{h} = 195.84 L/\text{dia}$$

Con lo que el volumen de agua condensada sería de 195.84 L en un día.

Si se tiene un edificio de 4 pisos, con 4 apartamentos por piso y que utilicen el aire durante 10 horas, se obtiene que:

$$V = 4 \text{ pisos} \times 4 \frac{\text{apartamento}}{\text{piso}} \times 10 \frac{\text{horas consumo}}{\text{apartamento} \times \text{dia}} \times 2.04 \frac{L}{h} = 326.4 L/\text{dia}$$

Con lo que el volumen de agua condensada sería de 326.4 L en un día.

Por otro lado, se consultó el consumo de la descarga de un sanitario convencional y se encontró que consumen 4,8 L/uso (ver Tabla 7). Conforme a lo presentado en la Tabla 9 cada aparato sanitario se usa 5 veces al día por usuario. Sin embargo, hay que considerar que no todos los días se tendrían los mismos consumos, los fines de semana o temporadas de vacaciones las personas permanecen más tiempo en su vivienda por lo que las 5 descargas se podrían dar, sin embargo, los días laborales permanecen menos tiempo y dichas descargas serían menores. Esta consideración también es válida para la utilización del aire acondicionado, pues las temporadas en que las personas permanecen más tiempo en su vivienda utilizan más los aires acondicionados y las que menos se utilizan menos. Por ello se plantean dos escenarios:

- Escenario 1. Uso durante tiempos laborales. 6 descargas por día por apartamento, lo que da un consumo total de 28,8 L/día por apartamento y

se da una utilización de 6 horas promedio de aires acondicionados. Por lo que, para un edificio de 4 apartamentos por piso y 4 pisos, se tendría un consumo para las descargas de sanitarios de 460.8 L/día. Ya que el volumen aportado por condensación de aires acondicionados es menor a este consumo se requeriría de un volumen adicional de 246.96 L/día, a pesar de que no se satisface completamente la demanda se estaría dando una reducción en el consumo de agua en las descargas de sanitarios del 43%.

- Escenario 2. Uso durante temporadas de descanso. 25 descargas por día por apartamento, lo que da un consumo total de 120 L/día por apartamento y se da una utilización de 10 horas promedio de aires acondicionados. Ya que el volumen aportado por condensación de aires acondicionados para este escenario sigue siendo menor a este consumo se requeriría de un volumen adicional de 1593.6 L/día, a pesar de que no se satisface completamente la demanda se estaría dando una reducción en el consumo de agua las descargas de sanitarios del 17%.

Para cada uno de los escenarios planteados se analiza cuántos sanitarios es capaz de abastecer con el agua producto de los aires acondicionados, para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$TS = \frac{V}{VS}$$

Donde:

TS = Total de sanitarios a abastecer.

V = Volumen tanque de almacenamiento.

VS = Volumen sanitario.

De lo anterior se obtiene para el escenario 1 que:

$$TS = \frac{195,84 \text{ L/día}}{28,8 \text{ L/día}} = 6,8 \approx 7 \text{ Sanitarios}$$

Y para el escenario 2 se tendría que:

$$TS = \frac{326,4 \text{ L/día}}{120,0 \text{ L/día}} = 2,72 \approx 3 \text{ Sanitarios}$$

La alternativa 0 consiste como se consideran los desagües de los aires acondicionados en la actualidad, lo cual consiste en una red que conecta los desagües de los aires acondicionados y los conduce hacia la red de alcantarillado de aguas residuales. (Ver figura 14).

El agua producto de la condensación de los aires acondicionados es capaz de abastecer 7 sanitarios al día para el escenario 1 (días laborales) o 3 sanitarios al día para el escenario 2 (fines de semana), asumiendo que cada departamento tenga un solo sanitario se requerirían de 16 sanitarios por lo que haría falta compensar el agua restante o no se podrían abastecer los sanitarios de los apartamentos. Una opción que se analizó fue abastecer los sanitarios de zonas comunes, pero estos constituyen una menor demanda que la abastecida y además la idea original era evaluar la posibilidad de dar un uso que beneficiara a todos los apartamentos, por lo que se debe complementar el agua de los aires acondicionados con otra fuente alterna, esta podría ser agua lluvia o el agua de la red de acueducto. Se propone entonces una red paralela a la red de abastecimiento convencional donde todos los sanitarios tengan dos puntos de conexión de agua, uno de la red de agua potable y otro producto del tanque de almacenamiento del agua condensada y unas válvulas automáticas que cierren el paso de una red y abran el de la otra cuando el tanque de aguas de condensación se encuentre en un nivel mínimo, así entonces se estaría ahorrando el 44% que normalmente abastecen los sanitarios (Ve figura 15).

Para explicar el sistema de abastecimiento paralelo para aguas de condensación se analizan dos alternativas. La primera se ilustra en la Figura 14 donde se tiene una red de recolección de aguas de condensación de los aires acondicionados y una red de suministro a los apartamentos impulsados por una bomba y un tanque presurizado para mantener la presión en la red (hidroflow). La segunda alternativa se ilustra en la Figura 15 donde se tiene una red de recolección de aguas de condensación de los aires acondicionados, por medio de un equipo de bombeo se

abastece un tanque elevado y del tanque elevado se tiene una red que abastece los sanitarios (Ver figura 15).

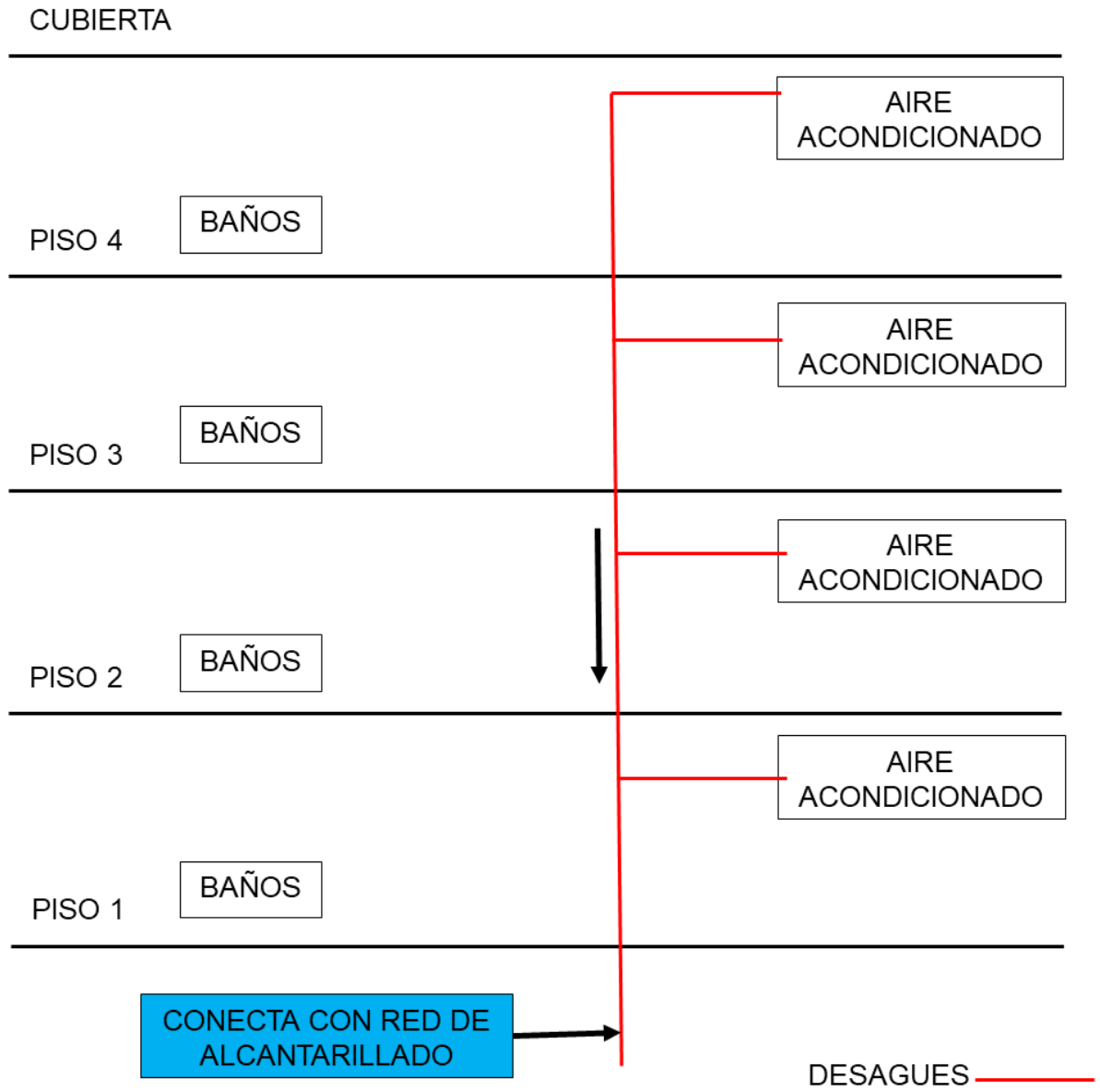


Figura 14. Esquema diseño hidrosanitario Alternativa 0.
Fuente: Elaboración propia.

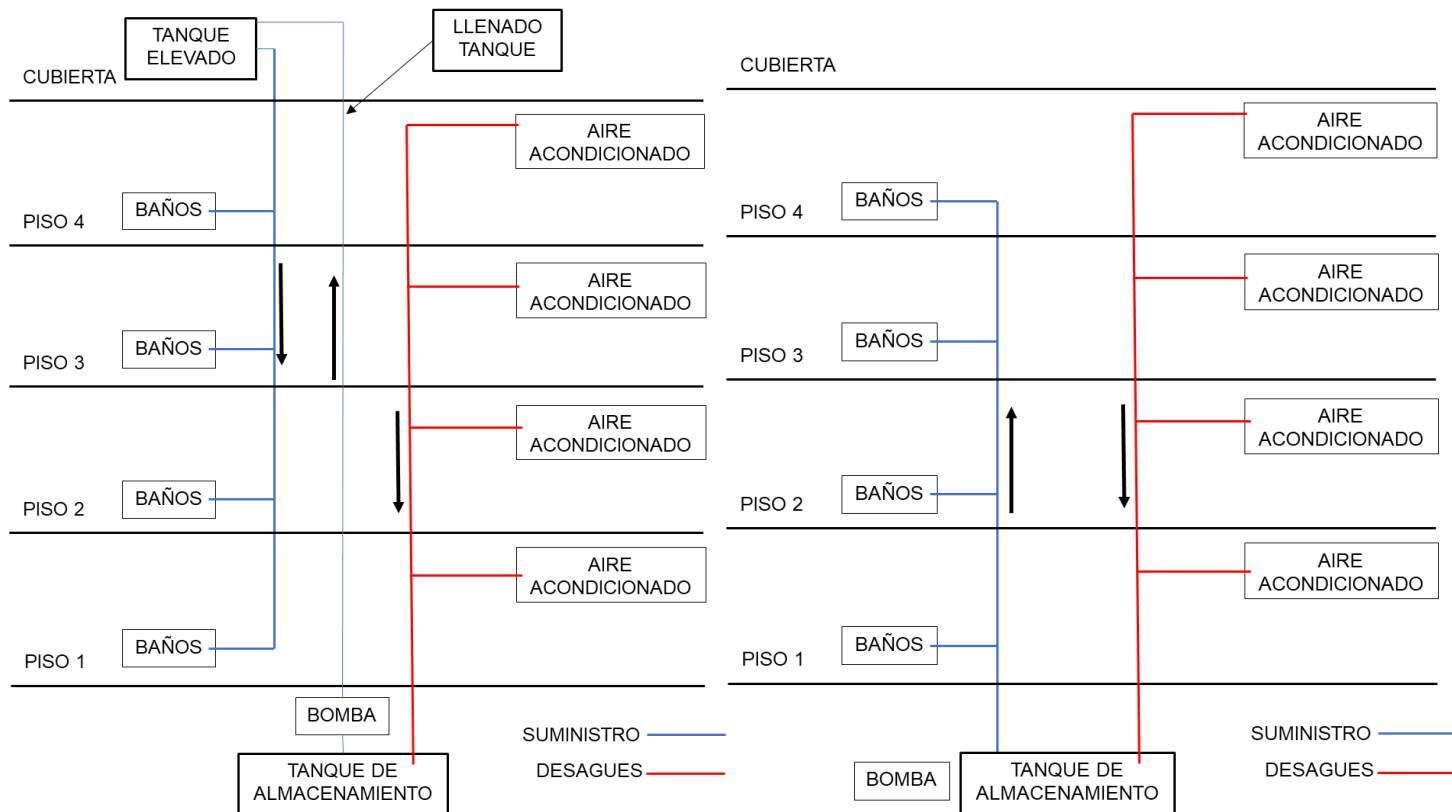


Figura 15. Esquema diseño hidrosanitario Alternativa 1 y 2.
Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Diseño de la red

Para el dimensionamiento de las tuberías de desagües de los aires acondicionados se utilizó la NTC 1500 tablas 12.6.2 y 12.6.3 para desagües de aguas lluvias (Ver *Tabla 11* y *Tabla 12*) debido a que son las tablas que más asemejan a la red de desagües de los aires acondicionados se encontró que la tubería más pequeña es de 2" para una pendiente del 0.5% es capaz de desaguar 56,8L/min estando por encima del caudal requerido para las 16 unidades de aires acondicionados que se consideraron en este diseño el cual se puede ver en la *Tabla 13* y es de 0,54 L/min.

Para el diseño de la red de suministro se utilizó el programa EPANET, para cada alternativa se tienen los siguientes datos.

Tabla 15. Chequeo Epanet
Fuente: Elaboración propia

Alternativa 1

Altura del piso	3,5 m
Diámetro de las tuberías	1/2", 3/4", 1", 1-1/4" y 1-1/2"
Longitud de la tubería	45,5 m
Consumo por piso	0,88 L/min
Pérdidas por accesorios y válvulas	16,12 m
Presión mínima en el inodoro más alejado de la red	14,95m
Alternativa 2	
Altura de piso	3,5 m
Diámetro de las tuberías suministro	1/2", 3/4", 1", 1-1/4" y 1-1/2"
Longitud de la tubería suministro	45,5 m
Consumo por piso	0,88 L/min
Pérdidas por accesorios y válvulas	16,12
Altura del tanque de abasto	27 m
Diámetro de tubería de abasto	1"
Presión mínima en el inodoro más cerca al tanque	15,78

La alternativa 1 necesita un equipo de bombeo de 2Hp para un caudal de 2,42L/s con una presión de 40 PSI y un hidrowflow de 50L y la alternativa 2 necesita una bomba de 1 Hp para el llenado del tanque elevado de 2000 L en un tiempo de 3H dando un caudal de 0,174L/s y una presión de 45 PSI adicional necesita un equipo de bombeo de 1 HP para un caudal de 2,42L/s y una presión de 20 PSI y un hidrowflow de 50L para poder cumplir con la presión mínima para un sanitario la cual debe ser de 20 PSI según la norma NTC 1500 como se ve en la Tabla 14.

4.3.2 Diseño del volumen de los tanques

El tanque de almacenamiento se calcula con la cantidad de agua suministrada por los tanques para el escenario 1 se requeriría un volumen de tanque de 195,84 L o en el escenario 2 un volumen de 326,4 L para un día. Bajo estos escenarios se podría utilizar un tanque de 250 L. Las simulaciones hora a hora de este volumen de almacenamiento para las alternativas 1 y 2 y para los diferentes escenarios se presentan en la Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16. Escenario 1
Fuente: Elaboración propia

Hora	Consumo (L/hora)	Suministro	Déficit	Volumen
		(L/hora)	(L/hora)	(L)
0:00	0	32,64	32,64	0
1:00	0	32,64	32,64	32,64
2:00	0	32,64	32,64	65,28
3:00	0	32,64	32,64	97,92
4:00	0	32,64	32,64	130,56
5:00	0	32,64	32,64	163,2
6:00	28,8	0	-28,8	195,84
7:00	28,8	0	-28,8	167,04
8:00	28,8	0	-28,8	138,24
9:00	28,8	0	-28,8	109,44
10:00	28,8	0	-28,8	80,64
11:00	28,8	0	-28,8	51,84
12:00	28,8	0	-28,8	23,04
13:00	28,8	0	-28,8	-5,76
14:00	28,8	0	-28,8	-34,56
15:00	28,8	0	-28,8	-63,36
16:00	28,8	0	-28,8	-92,16
17:00	28,8	0	-28,8	-120,96
18:00	28,8	0	-28,8	-149,76
19:00	28,8	0	-28,8	-178,56
20:00	28,8	0	-28,8	-207,36
21:00	28,8	0	-28,8	-236,16
22:00	0	0	0	-264,96
23:00	0	0	0	-264,96
0:00	0	0	0	-264,96

Tabla 17. Escenario 2
Fuente: Elaboración propia

Hora	Consumo (L/hora)	Suministro	Déficit	Volumen
		(L/hora)	(L/hora)	(L)
0:00	0	32,64	32,64	0
1:00	0	32,64	32,64	32,64
2:00	0	32,64	32,64	65,28
3:00	0	32,64	32,64	97,92
4:00	0	32,64	32,64	130,56

Hora	Consumo (L/hora)	Suministro	Déficit	Volumen
		(L/hora)	(L/hora)	(L)
5:00	0	32,64	32,64	163,2
6:00	120	32,64	-87,36	195,84
7:00	120	32,64	-87,36	108,48
8:00	120	32,64	-87,36	21,12
9:00	120	32,64	-87,36	-66,24
10:00	120	0	-120	-153,6
11:00	120	0	-120	-273,6
12:00	120	0	-120	-393,6
13:00	120	0	-120	-513,6
14:00	120	0	-120	-633,6
15:00	120	0	-120	-753,6
16:00	120	0	-120	-873,6
17:00	120	0	-120	-993,6
18:00	120	0	-120	-1113,6
19:00	120	0	-120	-1233,6
20:00	120	0	-120	-1353,6
21:00	120	0	-120	-1473,6
22:00	0	0	0	-1593,6
23:00	0	0	0	-1593,6
0:00	0	0	0	-1593,6

Se tuvieron las siguientes consideraciones para los escenarios:

- El tanque a medianoche se encuentra desocupado
- Los aires operan entre medianoche hasta la hora que le corresponde a cada escenario.
- Los inodoros empiezan a funcionar desde las 6 am hasta las 9pm.

En el escenario 1 se evidencia que los aires se encuentran funcionando en horas de la noche cuando la gente se encuentra durmiendo y se apagan a las 6 horas de funcionamiento, vemos que el volumen máximo es de 195,84 Lt por lo que el tanque seleccionado de 250 L está en condiciones de contener el caudal suministrado por la condensación de los aires acondicionados, igualmente vemos que el sistema de suministro de agua recolectada es eficiente hasta el mediodía después de la una de la tarde entraría a funcionar la red de acueducto.

Para el escenario 2 vemos que el volumen seleccionado está en capacidad de contener el agua proveniente de la condensación de los aires acondicionados pero el sistema es eficiente hasta las 8 de la mañana después de 9 de la mañana entraría a funcionar la red de acueducto.

4.3.3 Diseño del sistema de bombeo

Para la alternativa 1 se requiere el diseño de una bomba de 2Hp con un tanque hidroneumático de 50L. Dicha bomba deberá suministrar una cabeza de presión de 28 m.c.a con un caudal de 2,42L/s. Se analizaron bombas comerciales con dichas características y se recomienda la siguiente 15H-2TW La curva característica de dicha bomba se muestra en la Figura 16 con color rojo.

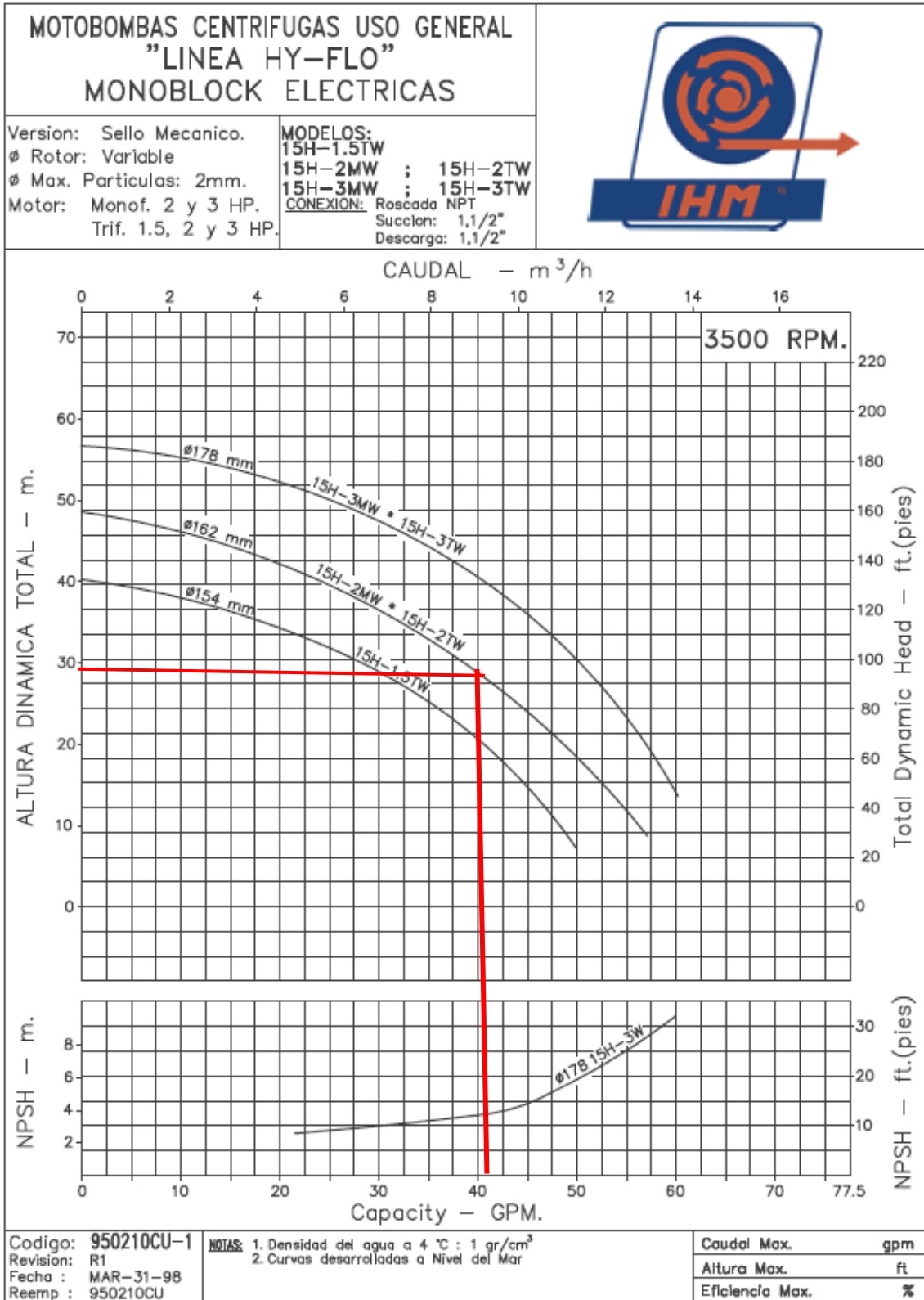


Figura 16. Curva bomba 2HP.
Fuente: IHM.

Para la alternativa 2 se requiere una bomba de 1Hp con una cabeza de 31.5 m.c.a y un caudal de 0,174L/s de tal forma que el tanque superior se llene en 3 horas. Se analizaron bombas en el comercio con dichas características y se recomienda la siguiente 1.1/2A-1W. La curva característica de dicha bomba se muestra en la Figura 17 con color rojo.

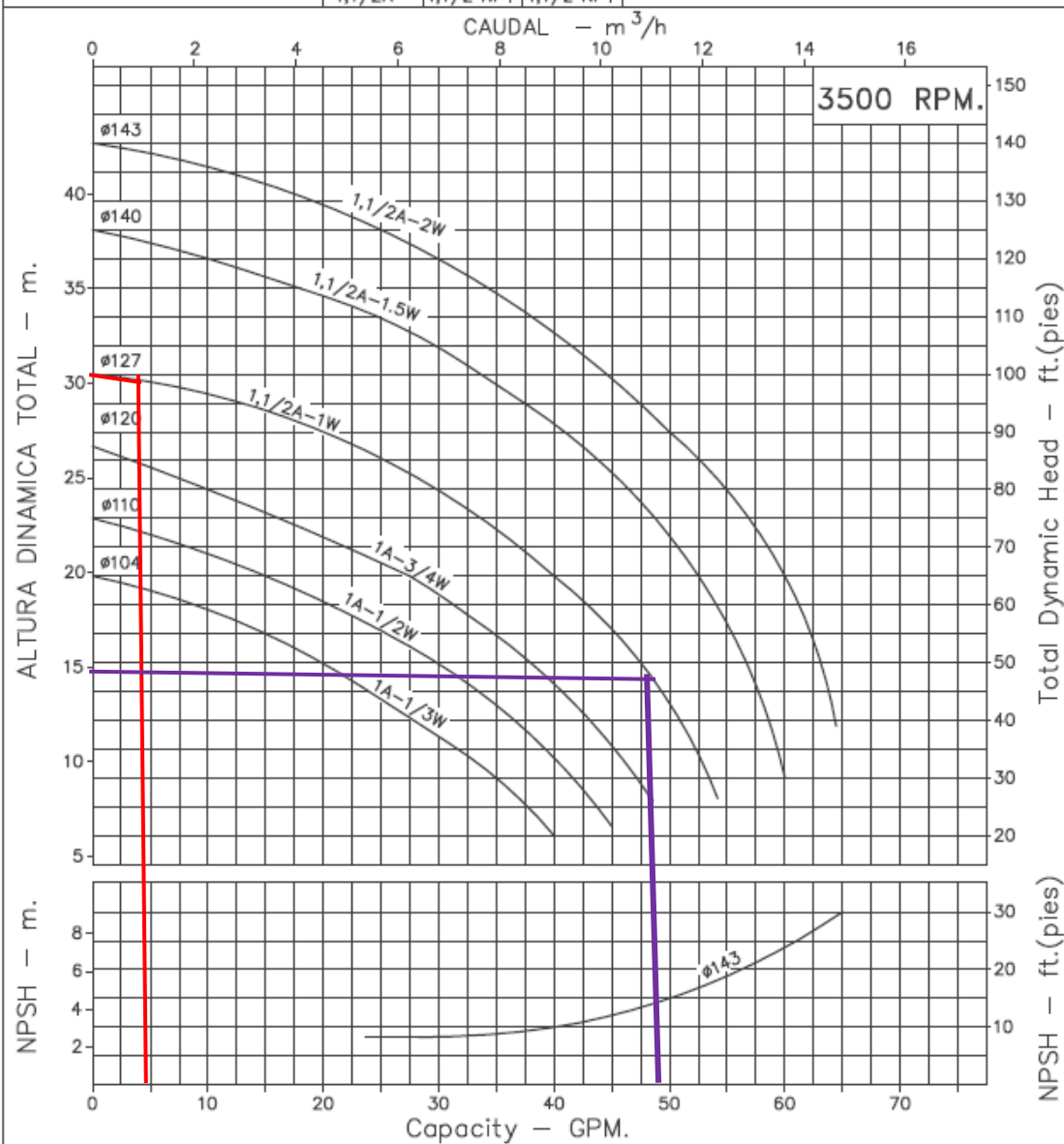
Adicionalmente se requiere el diseño de una bomba de 1 Hp con un tanque hidroneumático de 50L para cumplir con la presión mínima en el sanitario más cercano al tanque elevado. Dicha bomba deberá suministrar una cabeza de presión de 14 m.c.a con un caudal de 2,42L/s. Se analizaron bombas comerciales con dichas características y se recomienda la siguiente 1.1/2A-1W La curva característica de dicha bomba se muestra en la Figura 17 con color morado. Igualmente se recomienda para que sea un edificio más sostenible las bombas funcionen con sistemas de paneles solares.

MOTOBOMBAS CENTRIFUGAS USO GENERAL
"CARACOL SUPER"
MONOBLOCK ELECTRICAS



Version: Sello Mecanico.
 ø Rotor: Variable
 ø Max. Particulas: 3mm.
 Motor: Monofasico
 1/3 a 2 HP.

MODELOS:		
1A-1/3W	1A-1/2W	1A-3/4W
1,1/2A-1W	1,1/2A-1.5W	1,1/2A-2W
CONEXION:		
Modelo	Succion	Descarga
1A	1,1/4"NPT	1"NPT
1,1/2A	1,1/2"NPT	1,1/2"NPT



Codigo: 980040CU
 Revision: R2
 Fecha: JUN-06-15
 Reemp: 950190CU

NOTAS: 1. Densidad del agua a 4 °C : 1 gr/cm³
 2. Curvas desarrolladas a Nivel del Mar

Caudal Max.	gpm
Altura Max.	ft
Eficiencia Max.	%

Figura 17. Curva bomba 1HP.
 Fuente: IHM.

4.3.4 Diseño del sistema válvulas de control

Dado que con las aguas producto de la condensación de los aires acondicionados no es posible abastecer la demanda se requiere la instalación de un sistema de válvulas automáticas (válvulas solenoides) para el cambio de fuente de abastecimiento. El esquema de dicho sistema se presenta en la Figura 18 y en la Figura 19 se ve la válvula solenoide.

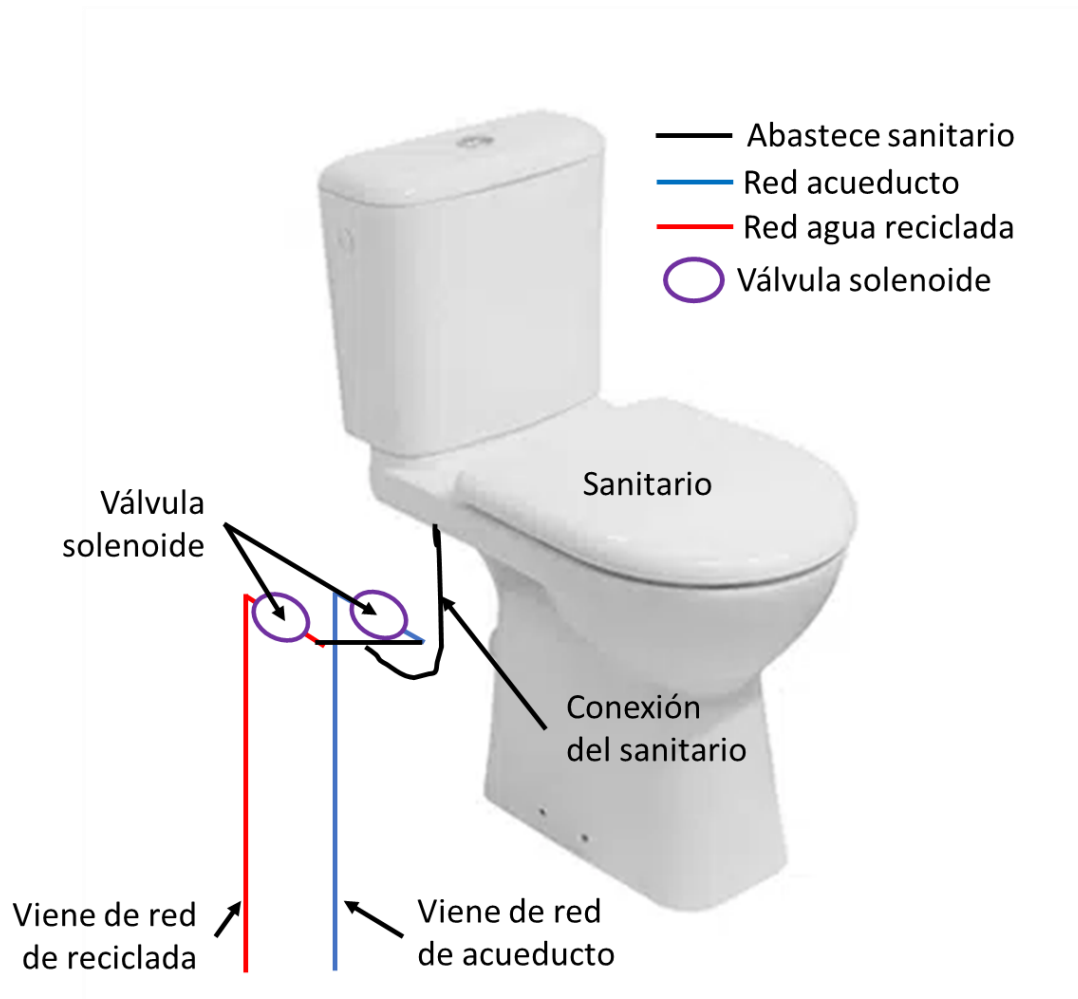


Figura 18. Esquema del sistema de válvulas de cambio de abastecimiento.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Válvula solenoide.
Fuente: JXPC.

4.4 Análisis económico de la solución

4.4.1 Costo de implementación

Para las alternativas planteadas se realiza un análisis de los costos de las tuberías y bombas requeridos. Dichos costos se presentan en la Tabla 18 y Tabla 19.

Tabla 18. Costos de instalación del sistema alternativa 1
Fuente: Elaboración propia

<i>Descripción</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor total</i>
Tuberías de desagüe 2"	\$ 15.121,50	ml	134	\$ 2.026.281,00
Accesorios 2"	\$ 5.433,00	Un	27	\$ 146.691,00
Tuberías de suministro 1/2"	\$ 4.731,50	ml	20	\$ 94.630,00
Tuberías de suministro 3/4"	\$ 6.299,83	ml	5	\$ 31.499,17
Tuberías de suministro 1"	\$ 8.500,17	ml	3,5	\$ 29.750,58

Descripción	Valor Unitario	Unidad	Cantidad	Valor total
Tuberías de suministro 1-1/4"	\$ 10.574,33	ml	7	\$ 74.020,33
Tuberías de suministro 1-1/2"	\$ 13.807,17	ml	10	\$ 138.071,67
Accesorios 1/2"	\$ 772,67	Un	4	\$ 3.090,67
Accesorios 3/4"	\$ 1.264,00	Un	2	\$ 2.528,00
Accesorios 1"	\$ 2.387,33	Un	1	\$ 2.387,33
Accesorios 1-1/4"	\$ 5.298,67	Un	2	\$ 10.597,33
Accesorios 1-1/2"	\$ 7.869,00	Un	3	\$ 23.607,00
Tanque de almacenamiento 250 L	\$ 162.900,00	Un	1	\$ 162.900,00
Bomba 2Hp	\$ 1.998.010,00	Un	1	\$ 1.998.010,00
Hidroneumático 50L	\$ 483.900,00	Un	1	\$ 483.900,00
Válvulas automáticas	\$ 103.503,00	Un	16	\$ 1.656.048,00
Válvulas 1/2"	\$ 12.802,00	Un	16	\$ 204.832,00
Válvulas 1-1/2"	\$ 41.587,00	Un	2	\$ 83.174,00
Sensores de nivel	\$ 251.096,00	Un	1	\$ 251.096,00
Instalación y mano de obra	\$ 18.930,00	ml	179,5	\$ 3.397.935,00
Panel solar 540 w	\$ 1.050.000,00	Un	4	\$ 4.200.000,00
Total				\$ 15.021.049,08

Tabla 19. Costos de instalación del sistema alternativa 2.
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Valor Unitario	Unidad	Cantidad	Valor total
Tuberías de desagüe 2"	\$ 15.121,50	ml	134	\$ 2.026.281,00
Accesorios 2"	\$ 5.433,00	Un	27	\$ 146.691,00
Tuberías de suministro 1/2"	\$ 4.731,50	ml	20	\$ 94.630,00
Tuberías de suministro 3/4"	\$ 6.299,83	ml	5	\$ 31.499,17
Tuberías de suministro 1"	\$ 8.500,17	ml	17,5	\$ 148.752,92
Tuberías de suministro 1-1/4"	\$ 10.574,33	ml	7	\$ 74.020,33
Tuberías de suministro 1-1/2"	\$ 13.807,17	ml	10	\$ 138.071,67
Accesorios 1/2"	\$ 772,67	Un	4	\$ 3.090,67
Accesorios 3/4"	\$ 1.264,00	Un	2	\$ 2.528,00
Accesorios 1"	\$ 2.387,33	Un	6	\$ 14.324,00
Accesorios 1-1/4"	\$ 5.298,67	Un	2	\$ 10.597,33
Accesorios 1-1/2"	\$ 7.869,00	Un	3	\$ 23.607,00
Tanque de almacenamiento 250 L	\$ 162.900,00	Un	1	\$ 162.900,00
Tanque de almacenamiento 2000 L	\$ 887.900,00	Un	1	\$ 887.900,00
Bomba 1Hp	\$ 1.145.446,40	Un	2	\$ 2.290.892,80
Hidroneumático 50L	\$ 483.900,00	Un	1	\$ 483.900,00
Válvulas automáticas	\$ 103.503,00	Un	16	\$ 1.656.048,00
Válvulas 1/2"	\$ 12.802,00	Un	16	\$ 204.832,00
Válvulas 1-1/2"	\$ 41.587,00	Un	2	\$ 83.174,00

Descripción	Valor Unitario	Unidad	Cantidad	Valor total
Válvula de flotador Helbert 1"	\$ 277.900,00	Un	1	\$ 277.900,00
Sensores de nivel	\$ 251.096,00	Un	2	\$ 502.192,00
Instalación y mano de obra	\$ 18.930,00	ml	193,5	\$ 3.662.955,00
Panel solar 540 w	\$ 1.050.000,00	Un	4	\$ 4.200.000,00
Total				\$ 17.126.786,88

Se evidencia una diferencia de \$2.105.737,8 entre las alternativas siendo la alternativa 2 más costosa por la longitud adicional para el llenado del tanque elevado y la bomba adicional para suministrar a los sanitarios.

4.4.2 Costo de operación del sistema

Dado que el sistema implica unos gastos diarios de energía estos deben ser considerados en el análisis de costos del sistema.

Para la alternativa 1 el consumo de energía se puede calcular en función de la potencia de la bomba y el tiempo de uso de la misma. Para una bomba 2Hp de 1,97 kW/hora que es utilizada durante 180 horas durante el mes, se requiere un consumo de energía de 354,6 kW y dado que en la zona de estudios el costo de la energía es de 870,61 \$/kW mensualmente el uso de la bomba costaría \$ 308.718,31.

Para la alternativa 2 el consumo de energía se puede calcular en función de la potencia de la bomba y el tiempo de uso de la misma. Para una bomba de 1Hp de 0,75 kW/hora que es utilizada durante 90 horas durante el mes, se requiere un consumo de energía de 67,5 kW y para la segunda bomba de 1 Hp se usa durante 90 horas durante el mes, se requiere un consumo de energía de 67,5 kW, para un total de 135 kW al mes, dado que en la zona de estudios el costo de la energía es de 870,61 \$/kW mensualmente el uso de las bombas costaría \$ 117.532,35.

4.4.3 Potencial de ahorro por instalación del sistema solar

Dados que los costos del sistema son mayores que el ahorro generado de agua, se requiere complementar el sistema con un panel solar, para que así se den ahorros netos en el sistema se al no consumir una cantidad de agua determinada en este

caso no se estaría consumiendo del agua potable de lo que se está condensando de los aires acondicionados, considerando un valor de 13,45 \$/L de agua en estos ahorros serían.

El ahorro en el consumo de un mes para la alternativa 1 sería de 195.84 L/día * 7 días * 4.33 semanas/mes, para la alternativa 2 sería de 326,4 L/día * 7 días * 4.33 semanas /mes. Quedando de la siguiente manera para la alternativa 1 el ahorro mensual sería de 6.235,50 L * \$13,45 L. que es igual a \$83.894,43 y para la alternativa 2 el ahorro mensual sería de 10.395,84 L * \$13,45 L. que es igual a \$139.018,02.

Tabla 20. Comparativo de alternativas.
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Ahorro de agua por mes	Valor de consumo de energía por mes
Alternativa 1	\$ 83.894,43	\$ 308.718,31
Alternativa 2	\$ 139.018,02	\$ 117.532,35

4.4.4 Retorno de la inversión

Para el retorno de la inversión, se considera una tasa de retorno de 12% anual y un incremento de la tarifa de agua del 1% mensual. En la Tabla 21 se presentan los meses que se demora en recuperar lo invertido considerando el ahorro por el consumo de agua.

Tabla 21. Comparativo alternativas
Fuente: Elaboración propia

Alternativa	Costo inicial de la inversión	Valor ahorro por mes	Meses para pagar la inversión
Alternativa 1	\$ 15.021.049,08	\$ 83.894,43	128
Alternativa 2	\$ 17.126.786,88	\$ 139.018,02	142

Conforme a esto se observa que el retorno de la inversión se da en muy largo plazo, por lo que si bien se da un retorno de la inversión este no es significativo pues cercano a la vida útil de los equipos, por lo que debería realizarse una valoración de económica considerando otros aspectos especialmente los beneficios ambientales.

5 CONCLUSIONES

Considerando los aportes y los resultados antes descritos, la reutilización de agua en los diseños hidrosanitarios es una problemática que afecta a la economía de los propietarios y del conjunto de viviendas multifamiliares ubicadas en la Costa Atlántica es un criterio que no se tiene en cuenta dentro de los diseños a menos que se exijan por parte del cliente, los diseños hidrosanitarios convencionales se han realizado siguiendo estrictamente la normatividad vigente. De hecho, específicamente la reutilización de aguas producto de la condensación de aires acondicionados, es una alternativa para ayudar a mitigar la escasez de agua, pero además trae beneficios valiosos para los propietarios de los apartamentos, constructoras, acueducto y para el medio ambiente.

Respecto a los entrevistados, se logró concluir que la mayor parte de los participantes del estudio tiene una edad entre 27 y 30 años y, el 50% solo tienen un estudio de posgrado completado. En esta misma línea, el estudio mostró que el (50%), tiene una experiencia de 5 años o más realizando diseños hidrosanitarios, de los cuales todos afirmaron que realizaban cualquier tipo de reutilización de agua si era exigido por el cliente, es decir, que la reutilización de aguas solo se tiene en cuenta si es pedida por cliente y no es vista como un beneficio económico y técnico.

Por otro lado, el primer resultado enfocado a los beneficios técnicos y económicos de los diferentes aspectos demuestra que, en términos generales los propietarios, el acueducto y el funcionamiento de las redes técnicamente se ven beneficiados; sin embargo, para la empresa constructora y el diseñador no se les considera ningún tipo de beneficio técnico. Sin embargo, a nivel económico, el diseñador se beneficia porque al ser un diseño de una red nueva se sube el costo del diseño, los propietarios y los conjuntos también obtienen un beneficio debido a que, al reducir el consumo del agua, se reduce el pago a la prestadora de servicio del agua.

Finalmente, los beneficios para la empresa constructora se verán reflejados debido por la obtención de reconocimientos de desarrollo sostenible y otras certificaciones que aumentaría el valor económico de la constructora.

Desde otras perspectivas, los resultados permitieron verificar que si se aplica esta metodología en edificios de mayor número de viviendas el ahorro podría aumentar considerablemente.

De igual manera, respecto a la reutilización de aguas provenientes de aires acondicionados para uso doméstico no consumible, se puede concluir que, si bien la reutilización de aguas se vuelve un tema normativo en el que se obligue a implementar la reutilización de aguas, les brinda beneficios a los diferentes actores implicados (propietarios, ingenieros, empresa y naturaleza) lo que quiere decir que es un gasto del cual se obtendrá un beneficio que se verá reflejado a largo plazo. De igual modo, se encontró que los encuestados no implementan la reutilización de agua en sus diseños hidrosanitarios. Sin embargo, es importante mencionar que este resultado no representa a todos los diseñadores.

Por otro lado, los resultados obtenidos dieron beneficios positivos para los dos escenarios planteados en este estudio, los escenarios consideraron que cada apartamento tiene 1 aire acondicionado y 1 sanitario dando un total de 16 unidades para cada uno, el primer escenario radica en mantener en operación los aires acondicionados en promedio 6 horas por apartamento y considerando que entre semana por apartamento se descarga en promedio 6 veces el sanitario, dando así un volumen producto de los aires acondicionados de 195,84 L por día y necesitando un volumen para los sanitarios de 460,8 L por día reduciendo un 43% el consumo del agua potable.

Con respecto al segundo escenario radica en mantener en operación los aires acondicionados en promedio 10 horas por apartamento y considerando que los fines de semana por apartamento se descarga en promedio 25 veces el sanitario, dando así un volumen producto de los aires acondicionados de 326,4 L por día y

necesitando un volumen para los sanitarios de 1920,0 L por día reduciendo un 17% el consumo del agua potable.

Finalmente, se realiza un análisis económico para las dos alternativas considerando todas las longitudes de tubería, uniones de tubería, válvulas, tanque y bombas necesarias para el correcto funcionamiento del sistema, dando un total para la alternativa 1 de \$15.021.049,08 y para la alternativa 2 \$17.126.786,88, teniendo una diferencia de \$2.105.737,80 siendo la alternativa dos más costosa debido a la longitud adicional para el llenado del tanque elevado, el tanque y la bomba adicional para suministrar a los sanitarios con la presión requerida por norma. No obstante, esta propuesta de diseño aplica cuando las aguas subterráneas sean mayores a 10 metros de profundidad ya que sería más económico extraer de este recurso hídrico.

6 RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones para futuros estudios se indica que es importante continuar identificando esta problemática de reutilización de agua, de hecho, una limitación del estudio fue el número de diseñadores encuestados. Por tanto, es primordial considerar en futuros diseños la reutilización del agua para el consumo humano y no solamente para actividades domésticas como los sanitarios y riego de jardín de las zonas comunes de la unidad.

Además, sería recomendable que, para el proceso de la reutilización de agua, los equipos de bombeo que se utilizaran implementan paneles solares para su funcionamiento lo que reducirá el costo de la energía. Así mismo, es importante que futuros estudios integren esta propuesta de reutilización para edificios de oficinas, centros comerciales, consultorios, entre otros que utilicen aires acondicionados.

Igualmente, considerar cualquier ciudad donde se identifique desde el diseño la utilización de equipos de aires acondicionados o cualquier equipo de enfriamiento que pueda producir agua producto de la condensación. De igual manera, complementar el agua faltante con fuentes como aguas lluvias, aguas grises, aguas subterráneas o cualquier otra fuente que pueda producir agua.

7 REFERENCIAS

- Acero Corredor, J. (2020). Consumos eficientes de aparatos Sanitarios Residenciales - Método de Estimación. [Tesis Doctoral]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Rozo, A. (2018). Potencial de uso del agua proveniente de los sistemas de aire acondicionado en el Caribe seco colombiano. *Información tecnológica*, 29(6), 33-42.
- Ahsan, A., Imteaz, M., Thomas, UA, Azmi, M., Rahman, A. y Daud, NN (2014). Parámetros que afectan el rendimiento de un destilador solar de bajo coste. *Energía aplicada* , 114 , 924-930.
- Alfonso Garavito, A. M., & De La Hoz Henríquez, M. C. (2019). Propuesta de producción más limpia para el aprovechamiento de agua de condensación de los aires acondicionados en la Universidad de la Costa.
- Algarni, S., Saleel, C. A., & Mujeebu, M. A. (2018). Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. *Sustainable cities and society*, 37, 263-274.
- Ali, M. A., Saifur, S., & Ali, M. A. (2018). Quantification of condensate water generated from air conditioning system. *Global Science Technology Journal*, 6, 44-56.
- Arrauth Gómez, A. C. (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*. (Tesis pregrado). Universidad de la Costa. Colombia.
- Arroyo Augusto, G. D. (2018). Modificación del pH del sustrato del jardín mediante tratamiento del agua condensada de los equipos de aire acondicionado de la agencia Grau del Banco de Crédito-Piura, 2018.
- Banco Interamericano de Desarrollo en (2015). ¿Cuánta agua consumes realmente por día?. Recuperado de: <https://blogs.iadb.org/agua/es/cuanta-agua-consumes-realmente-por-dia/>
- Baquero, M. T. (2013). Ahorro de agua y reutilización en la edificación en la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Estoa. Revista de la Facultad de arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 2(3), 71-81.

- Berg, C. E. (2016). Volviendo a lo básico: psicometría y la carta psicométrica. Boletín Técnico COLMAC COIL. Colville: Colmac Coil Manufacturing, I.
- Bolaños-Alfaro, J. D. (2017). Gestor Integral del Recurso Hídrico, un experto necesario ante la vulnerabilidad socio-natural. *InterSedes*, 18(38), 115-144.
- Calvo, M. C. (2017). Fórmula lineal para determinar la temperatura del bulbo húmedo. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(1), 141-145.
- Campisano, A. y Modica, C. (2012). Dimensionamiento óptimo de los tanques de almacenamiento para la recogida de agua de lluvia doméstica en Sicilia. *Recursos, conservación y reciclaje*, 63, 9-16.
- Chowdhury, HA, Ahmed, KR, Jebunessa, F., Akter, J., Hossain, S. y Shahjahan, M. (2015). Factores asociados con la anemia materna entre las mujeres embarazadas en la ciudad de Dhaka. *Salud de la mujer BMC*, 15 (1), 1-6.
- Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press. Ox
- Consejo colombiano de construcciones sostenibles (2001). *Uso eficiente del agua en viviendas: CASA Colombia, la herramienta para alcanzar proyectos de alto desempeño*. Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/2018/06/14/uso-eficiente-del-agua-en-viviendas-casa-colombia-la-herramienta-para-alcanzar-proyectos-de-alto-desempeno/>
- Dakua, I. y Afzulpurkar, N. (2013). Generación y recolección de energía piezoeléctrica a nanoescala: materiales y dispositivos. *Nanomateriales y nanotecnología*, 3, 21.
- Davanagere, B. S., Sherif, S. A., & Goswami, D. Y. (1999). A feasibility study of a solar desiccant air-conditioning system—Part I: psychrometrics and analysis of the conditioned zone. *International journal of energy research*, 23(1), 7-21.
- De Abreu, P. G., Abreu, V. M. N., Franciscon, L., Coldebella, A., & do Amaral, A. G. (2011). Estimativa da temperatura de globo negro a partir da temperatura de bulbo seco. *Engenharia na Agricultura*, 19(6), 557-563.
- De Gois, E. H., Rios, C. A., & Costanzi, R. N. (2015). Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern

- Brazil. Journal of Cleaner Production, 96, 263-271. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.08.097.
- Esmalifalak, M., Liu, L., Nguyen, N., Zheng, R. y Han, Z. (2014). Detectar la inyección sigilosa de datos falsos mediante el aprendizaje automático en la red inteligente. Revista de sistemas IEEE , 11 (3), 1644-1652.
- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. Editorial McGraw Hill.
- García, A., Hurtado, C., & Sierra, L. (2021). *Análisis del uso del agua condensada de aires acondicionados en sistema de aprovechamiento alternativos*. (Tesis pregrado). Universidad Simón Bolívar. Colombia.
- Ghiaus, C. (2022). Computational psychrometric analysis as a control problem: case of cooling and dehumidification systems. Journal of Building Performance Simulation, 15(1), 21-38.
- Ghisi, E., & Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. Building and Environment, 42(7), 2512-2522.
- González, C. C., Gutiérrez, L. V. H., Gallego, C. M., & Londoño, I. V. R. (2019). Procesos de gestión: edificios sostenibles vs. edificios tradicionales. Revista Activos, 17(2), 177-203.
- Hoyos, B. (2000). Cálculo del Volumen Específico de Líquidos Puros con Ecuaciones de Estado Cúbicas. Dyna, 129, 85-92.
- Jiménez, B. y Asano, T. (Eds.). (2008). Reutilización del agua: un estudio internacional de las prácticas, los problemas y las necesidades actuales . Londres: IWA.
- Jung, M., Reichstein, M., Margolis, H. A., Cescatti, A., Richardson, A. D., Arain, M. A., ... & Williams, C. (2011). Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 116(G3).
- Karim, SMF, Rahman, MR, Shermin, S. y Sultana, R. (2015). Correlación entre el cociente de aminotransferasas (AST / ALT) y otros parámetros bioquímicos en la enfermedad hepática crónica de origen viral. Diario del Delta Medical College , 3 (1), 13-17.

- Khastagir, A. y Jayasuriya, N. (2010). Dimensionamiento óptimo de los tanques de agua de lluvia para la conservación del agua doméstica. *Revista de hidrología*, 381 (3-4), 181-188.
- Lemus-Varela, M. D. L., Sola, A., Golombek, S., Baquero, H., Borbonet, D., Dávila-Aliaga, C., ... & Rodríguez, S. (2014). Consenso sobre el abordaje diagnóstico y terapéutico del dolor y el estrés en el recién nacido. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 36, 348-354.
- Louisville, K (2020). A Discussion of Water Vapor, Humidity, and Dewpoint, and Relationship to Precipitation. Recuperado de: <https://www.weather.gov/lmk/humidity#:~:text=Absolute%20humidity%20>
- Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. (2015). Production of water from the air: the environmental sustainability of air-conditioning systems through a more intelligent use of resources. The advantages of an integrated system. *Energy Procedia*, 78, 1153-1158.
- Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. (2017). Water production from air conditioning systems: Some evaluations about a sustainable use of resources. *Sustainability*, 9(8), 1309.
- Martines, E., & Lira, L. (2008). Cálculo de la temperatura de punto de rocío a diferentes valores de presión. In *Simposio de Metrología*. Santiago de Querétaro, México (Vol. 22).
- Martinez Roqueme, M. A., & Vidal Sáez, L. G. (2022). Utilización de agua proveniente del condensado de aires acondicionados para uso sanitario. Tesis de Pregrado. Universidad de Córdoba. Colombia.
- Martínez-Ibarra, J. A., Salazar-Schettino, P. M., Noguera-Torres, B., Vences, M. O., Tapia-González, J. M., & Espinoza-Gutiérrez, B. (2009). Occurrence of hybrids and laboratory evidence of fertility among three species of the *Phyllosoma* complex (Hemiptera: Reduviidae) in Mexico. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 104(8), 1125-1131.
- Mas, J. (2011). Aire Acondicionado: Clasificación y Características de los Sistemas. Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II, Universidad Nacional de Tucumán.
- Medrano, S. (2003). Medición de humedad relativa con psicrómetro. *Boletín periódico del laboratorio de metrología*. México.

- Meléndez-Pérez, J. A., Lemos-Lima, M. M. C., Dominguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223-236.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015a). Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y de energía en edificaciones. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Link: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015b). Resolución 0549 de 2015. Consultado en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf> [Links]
- Ministerio de la salud, (2010). Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia. Colombia. 68p. Recurso electrónico: Link: file. D:/Downloads/tecnologiasAGUA. pdf.
- Monge, R (2016). El agua en nuestros baños. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/agua-nuestros-banos>
- Morejón, M. B., Reina, F. G., Eras, J. J. C., & Santos, V. S. (2018). Caracterización energética del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado en un local dado. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(32), 86-91.
- Mukherjee, D., Hordagoda, M., Hyde, R., Bingham, N., Srikanth, H., Witanachchi, S. y Mukherjee, P. (2013). Interfaces nanocolumnar y coercitividad magnética mejorada en películas delgadas de ferrita de cobalto orientadas preferencialmente cultivadas mediante deposición láser pulsada de ángulo oblicuo. *Materiales e interfaces aplicados ACS* , 5 (15), 7450-7457.
- Pérez, E. M. M. (2009). Estudio de propiedades hídricas del suelo mediante medidores de actividad de agua en la zona regable de Terra Chá. Univ Santiago de Compostela.
- Pulgarín-Franco, J. A., & Mejía-Gutiérrez, J. (2017). Política pública para la gestión integral del recurso hídrico en Quindío-Risaralda 2008-2015. *Gestión y Ambiente*, 20(1), 38-49.

- República de Colombia. Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- Rodríguez-Potes, L., Villadiego-Bernal, K., Padilla-Llano, S. E., & Osorio-Chávez, H. (2018). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(3), 19-26.
- Ross, JS, Klement, P., Jones, AM, Ghimire, NJ, Yan, J., Mandrus, DG, ... y Xu, X. (2014). Diodos emisores de luz excitónicos sintonizables eléctricamente basados en uniones monocapa WSe 2 p – n. *Nanotecnología de la naturaleza* , 9 (4), 268-272.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). Issues and dilemmas in teaching research methods courses in social and behavioural sciences: US perspective. *International journal of social research methodology*, 6(1), 61-77.
- Travis, F. y Shear, J. (2010). Atención enfocada, monitoreo abierto y auto-trascendencia automática: categorías para organizar meditaciones de tradiciones védicas, budistas y chinas. *Conciencia y cognición* , 19 (4), 1110-1118.
- Ward, S., Memon, F. A., & Butler, D. (2012). Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water research*, 46(16), 5127-5134.
- Westfield Business School (2000) Enthalpy. Recuperado de: https://www.westfield.ma.edu/personalpages/cmasi/gen_chem1/Energy/enthalpy_definition_folder/enthalpy_definition.htm
- Yang, H., Pei, N., Liu, L., Fan, M., & Qin, Y. (2021). Experimental study on the effect of condensate water on the performance of split air conditioning system. *Energy Reports*, 7, 840-851.
- Zetina-Moguel, C., Vázquez-Montalvo, J., Ordóñez-López, E. E., Sánchez, I. A., Méndez-Novelo, R. I., & González-Herrera, R. A. (2018). Caracterización del agua destilada obtenida durante el uso de aires acondicionados. *Ingeniería*, 22(1), 1-8.
- Código colombiano de Fontanería. (2020),. Norma técnica colombiana 1500 (4ta Edición). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org/gp-instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-ntc1500-2020.html>

ANEXO 1. FORMULARIO DE PREGUNTAS



Propuesta de diseño hidrosanitario para la reutilización de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados: un estudio de caso en un edificio multifamiliar de 4 pisos en la Costa Atlántica.

La presente encuesta hace parte de un proyecto de investigación y la información aquí consignada será de uso estrictamente académico y fines pertinentes.

Investigador: Diego Alejandro Rey Castro

1. Nombre
2. Experiencias en diseños hidrosanitarios
3. Edad
4. Sexo

Marca solo un óvalo.

- M
- F

5. Nivel de formación

Según su experiencia responda las 3 siguientes preguntas, enfocadas a la reutilización de agua.

6. ¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?

7. ¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?

8. ¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?

9. ¿Cuáles considera que son los beneficios técnicos a la hora de realizar un diseño hidrosanitario que incluya la reutilización de aguas provenientes de los aires acondicionados?

Resalte los beneficios para cada factor.

10. Beneficio para la constructora

11. Beneficio para el diseñador

12. Beneficio para el acueducto

13. Beneficio para los propietarios

14. Beneficio para el funcionamiento

¿Cuáles considera que son los beneficios económicos a la hora de realizar un diseño hidrosanitario que incluya la reutilización de aguas provenientes de los aires acondicionados?

Resalte los beneficios para cada factor.

15. Beneficio para los propietarios

16. Beneficio para el diseñador

17. Beneficio para la constructora

18. Beneficio para el conjunto o unidad

19. ¿Considera que existe otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico?

ANEXO 2. RESPUESTA PARTE 1 DE LOS ENTREVISTADOS

Experiencias en diseños hidrosanitarios	Edad	Sexo	Nivel de formación	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?	Beneficio para la constructora	Beneficio para el diseñador
Si	29	F	Posgrado	Basado en lo estipulado en las normativas, recolección de agua sin reutilización.	Caudales de salida del aire acondicionado y tiempos de llenado de x volumen al igual que cantidad de aires que aportan a un caudal de aguas a reutilizar	Tanques de almacenamiento, sistemas de abastecimiento y distribución, válvulas, cuartos de bombeo, by pass y tratamiento de agua en caso de ser necesario	No veo beneficio técnico	Mayor conocimiento del tema, experiencia y retos porfedikmakes

Experiencias en diseños hidrosanitarios	Edad	Sexo	Nivel de formación	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?	Beneficio para la constructora	Beneficio para el diseñador
Si	29	F	Pregrado	La recolección depende de muchos factores, principalmente basados en la normativa legal vigente, en casos en los que se pueda o se quiera reutilizar las aguas de lluvias, es un sistema no convencional con tanque de almacenamiento, sistema de descarga para lluvias	Caudal de condensación, para evaluar factibilidad de utilizar en distintos aparatos.	tanque de almacenamiento, sistema de descarga para lluvias torrenciales, para evitar excesos no deseados, y un sistema alternativo de abastecimiento para agua reutilizada, bypass, válvulas, doble cuarto de bombeo de ser necesario, desarenador,	Ninguno, técnicamente no se ve afectada la constructora	Es un diseño más sostenible, experiencia en aplicar diseños sostenibles y ambientales.

Experiencias en diseños hidrosanitarios	Edad	Sexo	Nivel de formación	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?	Beneficio para la constructora	Beneficio para el diseñador
				torrenciales, para evitar excesos no deseados, y un sistema alternativo de abastecimiento para agua reutilizada, bypass, válvulas y demás que garanticen el correcto funcionamiento		demás aparatos para tratamiento de agua en caso de ser necesario y demás que garanticen el correcto funcionamiento.		

Experiencias en diseños hidrosanitarios	Edad	Sexo	Nivel de formación	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?	Beneficio para la constructora	Beneficio para el diseñador
5 años y medio	30	F	Profesional	Diseños de alcantarillados tradicionales - entrega a red de alcantarillado	Caudal, cotas bateas, topografía, infraestructura existente y/o proyectada	Almacenamiento de las aguas a recolectar, equipos de bombeo para enviar el agua a los aparatos sanitarios en donde se va a usar el agua a reutilizar, sistema de tuberías de alimentación aislado	Reconocimiento	Reconocimiento
5 años	27	M	Maestría	La Reutilización de aguas lluvias solamente se hace	Caudales proveniente de condensadores	El aprovechamiento de la misma, así mismo un	Promoción de uso eficiente de agua, privilegios por	Optimización de recursos

Experiencias en diseños hidrosanitarios	Edad	Sexo	Nivel de formación	¿Cuáles son los procesos que aplican a los diseños hidrosanitarios para la recolección de aguas?	¿Cuáles son los datos necesarios para poder determinar los beneficios técnicos para realizar diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas provenientes de la condensación de aires acondicionados?	¿Que conllevan los diseños hidrosanitarios que incluyan la recolección de aguas?	Beneficio para la constructora	Beneficio para el diseñador
				reutilización, si es exigido por parte del cliente, normalmente cuando se exige reutilización de aguas, se mencionan solamente las aguas provenientes de las lluvias, dejando a un lado las diferentes posibilidades de reutilización.		beneficio para la red matriz de alcantarillado pluvial al atenuar caudales pico	parte de bancos para financiamiento	

Anexo 3. Respuesta parte 2 de los entrevistados

Beneficio para el acueducto	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el funcionamiento	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el diseñador	Beneficio para la constructora	Beneficio para el conjunto o unidad	¿Considera que existe otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico?
Al tener menos demanda se rebajaría en teoría el precio de mantenimiento	Ninguno	Optimización en la capacidad de las redes	Reducción de costos en el servicio de agua, ya que te tiene mayor consumo por la reutilización	Desde parte económica no se ve beneficio, ya que antes se incrementa el precio de diseño	Tiene mayor cantidad de items, lo que incrementa el costo del contrato	Menos consumo de agua y mayor rentabilidad de las viviendas, ya que al ser autosostenible se eleva el precio de la vivienda	Ambiental

Beneficio para el acueducto	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el funcionamiento	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el diseñador	Beneficio para la constructora	Beneficio para el conjunto o unidad	¿Considera que existe otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico?
Menor solicitud de caudales, menor mantenimiento y aligerar la carga necesaria en la red	Ninguno	Mantenimiento, menor carga en la red, tener una red alterna con almacenamiento adicional de agua en caso de falta en el sistema de acueducto.	Menor costos de servicios al tener menor consumo de acueducto	Responde a un diseño más costoso	Un contrato de mayor valor ya que son más ítem de presupuestos y mayores cantidades	Menor consumo de acueducto, mayor costo de la propiedad y un desarrollo más sostenible con el ambiente	El beneficio social y ambiental
Menores consumos, puede atender más personas	Ahorro de agua, lo que equivale a menores costos de consumo	Autosostenibilidad	Reducción en los servicios públicos	Se abre el campo de acción lo que podría incrementar sus ingresos económicos	Se abre el campo de acción y se le pueden otorgar créditos a menor interés por ser amigable con	Menos consumos de agua, por lo que se paga menos con respecto a la prestación del servicio del agua	No

Beneficio para el acueducto	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el funcionamiento	Beneficio para los propietarios	Beneficio para el diseñador	Beneficio para la constructora	Beneficio para el conjunto o unidad	¿Considera que existe otro factor que se beneficia a nivel técnico o económico?
					el medio ambiente (reutilización del agua)		
Atenuación de caudal poco, optimización de redes matrices	Uso eficiente del agua	Optimización de un recurso fundamental	Menos gasto de agua	Aprovechamiento de agua	Beneficios por uso eficiente de agua	El uso eficiente del agua es mejor para todos	Social, ambiental entre muchos otros