

**DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS CON  
MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA SEGURIDAD HÍDRICO-ENERGÉTICA EN  
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL RURAL EN ANTIOQUÍA.**

**PRESENTADO POR:**

**FEDERICO PARRA GARCÍA**

**LAURA ESTEFANY YEPEZ ARIAS**

**DOCENTE ASESORA**

**CLAUDIA PATRICIA PARRA MEDINA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA LUIS AMIGÓ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**2024**

## TABLA DE CONTENIDO.

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>ALCANCE</b> .....	<b>7</b>
6.1	FASE 1. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO INICIAL .....	7
6.2	FASE 2. DISEÑO DEL SISTEMA.....	7
6.3	FASE 3. DOCUMENTACIÓN Y REPORTE FINAL.....	7
<b>7</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
8.1	GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN ZONAS RURALES .....	9
8.1.1	<i>Importancia Del Agua En La Vida Rural</i> .....	9
8.1.2	<i>Recolección De Aguas Lluvias</i> .....	9
8.1.3	<i>Escorrentía Superficial</i> .....	11
8.1.4	<i>Caudal</i> .....	11
8.1.5	<i>Estudios Hidrológicos</i> .....	11
8.2	ENERGÍA Y RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES.....	12
8.2.1	<i>Energía Para El Bombeo Y Distribución</i> .....	12
8.2.2	<i>Microturbinas Hidráulicas</i> .....	12
8.3	POLÍTICAS PÚBLICAS Y MARCO NORMATIVO.....	13
8.3.1	<i>Políticas Públicas De Vivienda</i> .....	13
8.3.2	<i>Programas Gubernamentales</i> .....	13
8.4	DÉFICIT HABITACIONAL RURAL.....	14
8.4.1	<i>Déficit Cuantitativo</i> .....	14
8.4.2	<i>Déficit Cualitativo</i> .....	14
8.5	ÍNDICE DE FOCALIZACIÓN DE VIVIENDA RURAL (IFVR).....	14

<b>9</b>	<b>MARCO LEGAL</b>	<b>15</b>
9.1	LEY 697 DE 2001	15
9.2	LEY 1537 DE 2012 - CAPÍTULO IV	15
9.3	LEY 1715 DE 2014 MODIFICADA POR LEY 2099 DE 2021 Y LEY 2294 DE 2023	16
9.4	NTC 5770 DE 2010	17
9.5	NTC 2890 DE 2012	18
9.6	NTC 2888 DE 2014	19
9.7	RESOLUCIÓN 943 DE 2021	20
<b>10</b>	<b>CRONOGRAMA</b>	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>22</b>
11.1	DETERMINACIÓN DE LA REGIÓN ÓPTIMA.	22
11.2	CONTEXTUALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TURBO, ANTIOQUIA.	24
11.3	CONTEXTUALIZACIÓN IMPACTO AMBIENTAL	25
11.4	SELECCIÓN DEL TIPO DE VIVIENDA	27
11.4.1	<i>Parámetros Arquitectónicos Y Técnicos</i>	27
11.5	TIPOS DE MICROTURBINA	30
11.5.1	<i>Principio de funcionamiento de las microturbinas</i>	30
11.5.2	<i>Componentes de las microturbinas</i>	31
11.5.3	<i>Microturbina Powerspout PLT 150/250</i>	32
11.5.4	<i>Microturbina Watris Veiji</i>	32
11.5.5	<i>Microturbina Aecorbir</i>	33
11.6	PRECIPITACIÓN Y DEMANDA	34
11.7	MATERIAL SUPERFICIE DE CAPTACIÓN Y COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA:	34
11.7.1	<i>Tejas de Arcilla:</i>	34
11.7.2	<i>Tejas Metálicas:</i>	34
11.8	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	35
11.8.1	<i>Batería de Plomo Acido Abierto</i>	35
11.8.2	<i>Batería de AGM</i>	35
11.8.3	<i>Batería de Gel</i>	36
11.8.4	<i>Baterías Estacionarias</i>	36
11.8.5	<i>Baterías de Litio</i>	37
11.9	SISTEMA DE BOMBEO	37
11.9.1	<i>Distribución del agua</i>	37
11.9.2	<i>Alimentación de la microturbina</i>	38

11.9.3	<i>Equilibrio de la presión</i> .....	38
11.9.4	<i>Sostenibilidad</i> .....	38
11.9.5	<i>Tipos de Bombas</i> .....	38
<b>12</b>	<b>CÁLCULOS PARA EL DISEÑO</b> .....	<b>40</b>
12.1	CALCULO PROPORCIONES DEL TANQUE .....	40
12.2	CÁLCULOS DE PÉRDIDAS EN TUBERÍA .....	42
12.3	CÁLCULO DE ENERGÍA SUMINISTRADA .....	45
<b>13</b>	<b>DISEÑO</b> .....	<b>48</b>
13.1	BASES DEL DISEÑO .....	48
13.1.1	<i>Selección de la vivienda:</i> .....	48
13.1.2	<i>Material Superficie De Captación:</i> .....	49
13.1.3	<i>Cantidad De Personas Que Habitan En Una Vivienda:</i> .....	49
13.1.4	<i>Demanda de agua</i> .....	50
13.1.5	<i>Precipitación histórica</i> .....	51
13.2	SISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN .....	52
13.2.1	<i>Sistema de captación:</i> .....	52
13.2.2	<i>Sistema de distribución:</i> .....	53
13.3	SELECCIÓN MICROTURBINA HIDRÁULICA .....	54
13.4	SELECCIÓN DE BOMBA .....	55
13.5	SELECCIÓN DE CUBIERTA .....	57
13.6	SELECCIÓN DE CANAL .....	58
13.7	SELECCIÓN DE TUBERÍA .....	58
13.8	DISEÑO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	59
13.9	SELECCIÓN DE LA BATERÍA .....	61
13.10	VISUALIZACIÓN DE LA VIVIENDA SELECCIONADA: .....	62
13.11	COSTO PONDERADO DEL PROYECTO: .....	64
<b>14</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>65</b>
<b>15</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
<b>16</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>68</b>
<b>17</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>74</b>

## LISTADO DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Mapa de flujo metodología. Fuente: propia .....	6
Ilustración 2. Vista aérea de la localización de Turbo. Coordenadas <b>8°05'35"N76°43'42"O</b> .....	24
Ilustración 3. Trayecto Medellín-Turbo.....	25
Ilustración 4.Plano casa VRSL1.....	28
Ilustración 5. Plano casa VRSU1. ....	29
Ilustración 6. Plano casa VRSC2. ....	29
Ilustración 7. Componentes de la microturbina. ....	31
Ilustración 8. Microturbina powerspout PLT 150/250. ....	32
Ilustración 9. Microturbina Watris Veiyi. ....	33
Ilustración 10. Microturbina Aecorbir.....	33
Ilustración 11. Esquema hidráulico conexión del techo hasta la vivienda.....	42
Ilustración 12. Sistema de recolección para la vivienda VRSC2.....	53
Ilustración 13. Sistema de distribución para la vivienda VRSC2.....	54
Ilustración 14. Ficha técnica Electrobomba Centrifuga 1/2 hp. ....	56
Ilustración 15. Teja de cerramiento ondulado Aluzinc.....	57
Ilustración 16. Elementos para el canal. ....	58
Ilustración 17. Tuberías para el sistema de recolección. ....	59
Ilustración 18. Jumbo Tanque 12500. ....	60
Ilustración 19. Cotización pedestal para tanque de 12500 litros.....	61
Ilustración 20. Batería de Litio GreenPoint 24V 200Ah.....	62
Ilustración 21. Render y medidas vivienda modelo VRSC 2. ....	63

## **LISTADO DE TABLAS.**

Tabla 1. Cronograma .....	21
Tabla 2. Información inicial cálculos perdidas por tubería. ....	43
Tabla 3. Porcentaje de actividades domesticas que necesitan de agua potable.....	50
Tabla 4. Conglomerado de datos para el volumen del tanque.....	51
Tabla 5. Caudal, Precipitación, Demanda y Oferta mensual en Turbo. ....	52
Tabla 6. Costos totales del proyecto. ....	64

## **LISTADO DE GRAFICAS.**

Gráfica 1. Correlación IFVR y precipitación. Fuente: Propia.....	23
--	----

## **LISTADO DE ANEXOS.**

Anexo 1. Foto Electrobomba centrifuga 1/2 y curva de rendimiento.....	74
---	----

## 1 Resumen

Este proyecto presenta un sistema híbrido de recolección de agua pluvial y generación de energía mediante microturbinas hidráulicas, diseñado específicamente para viviendas de interés social rural en Antioquia, Colombia. Con el objetivo de abordar la escasez de servicios básicos, el sistema utiliza estructuras de captación de agua pluvial optimizadas, basadas en estudios hidrológicos y de escurrimiento específicos de la región. Estas estructuras, que incluyen techos inclinados de materiales duraderos y de alta eficiencia en captación, permiten una recolección máxima del recurso hídrico que es luego almacenado en tanques de 12500L.

El agua almacenada se canaliza hacia microturbinas hidráulicas instaladas en los bajantes a nivel del terreno, las cuales convierten la energía cinética del flujo en electricidad. La selección de microturbinas Pelton se realizó considerando la eficiencia energética y el caudal de agua esperado en temporadas de alta precipitación, logrando un suministro energético continuo para cubrir necesidades domésticas básicas de hasta 6 personas. Se contemplaron baterías de litio como sistemas de almacenamiento de energía que garantizan la disponibilidad de electricidad en épocas de baja producción hídrica, incrementando la autosuficiencia del hogar.

Este modelo no solo contribuye a la sostenibilidad hídrica y energética de las comunidades rurales, sino que también es replicable en otras regiones con condiciones climáticas similares. Los cálculos detallados de caudal, eficiencia y pérdidas por fricción en tuberías aseguran que el sistema funcione de manera óptima y sostenible, minimizando la dependencia de fuentes externas. Así, la combinación de tecnologías de captación de agua y generación de energía representa una solución integral y escalable que contribuye al desarrollo sostenible, mejora la calidad de vida de las familias y optimiza los recursos naturales disponibles en entornos rurales, promoviendo la resiliencia de estas comunidades frente a la escasez de recursos.

## 2 Introducción

La inadecuada administración del agua y la energía es una problemática global que impacta negativamente la sostenibilidad, seguridad, economía, desarrollo y bienestar de la humanidad. A pesar de la creciente necesidad de prácticas eficientes en el manejo de aguas pluviales, a menudo se da prioridad al uso de aguas superficiales, lo que dificulta la implementación de soluciones más sostenibles. Al profundizar en la gestión de aguas pluviales, se evidencia la importancia de implementar sistemas de captación eficientes que permitan almacenar este recurso, reduciendo así el consumo de agua potable en los hogares. Esta estrategia no solo contribuye a la conservación de los recursos hídricos, sino que también disminuye los costos asociados a los servicios básicos. En Colombia, esta situación se refleja en las zonas rurales, donde un número significativo de hogares enfrenta condiciones habitacionales precarias y carencias de servicios básicos.

Para abordar estos desafíos, se ha propuesto el desarrollo de un sistema alternativo que permita la generación de energía y el almacenamiento de agua, enfocado principalmente en el uso doméstico. Este sistema integrará la recolección de agua pluvial con una red de microturbinas hidráulicas, creando una red autónoma de electricidad y agua para los hogares sin acceso a servicios básicos. La implementación de este sistema se fundamentará en estudios hidrológicos específicos y en la selección de tipologías de vivienda que maximicen la eficiencia en la recolección de aguas pluviales, acoplándose a los lineamientos nacionales aprobados por el Departamento Nacional de Planeación. Así, la política de vivienda rural en Colombia no solo busca mejorar las condiciones de vida de las familias rurales, sino también reducir los costos asociados a los servicios públicos, ofreciendo una solución sostenible y adaptada a las necesidades de estas comunidades.

### 3 Planteamiento Del Problema

En la nota informativa “Agua y energía” (2014) se habla de la iniciativa de energía sostenible para todos como una alianza multisectorial entre los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil, además la carencia de servicios básicos no solo complica la calidad de vida de los habitantes, sino que también restringe su crecimiento socioeconómico. En concreto, la escasez de energía eléctrica y agua obliga a las familias a recurrir a métodos costosos como la compra de plantas que funcionan a partir de gasolina y el agua embotellada comprada en establecimientos de cadena, los cuales terminan siendo poco sostenibles en el tiempo. Esta situación ocasiona un incremento en la vulnerabilidad de las comunidades, prolongando su ciclo de pobreza y marginación.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2022), CEPAL, la población rural en América Latina y el Caribe tiene menos acceso al servicio de electricidad y de agua, en promedio el 15% de la población que habita en viviendas precarias no tiene acceso a estos servicios. Sin embargo, en países como Bolivia, Chile, El Salvador, Honduras, Guatemala y Nicaragua esa participación oscila entre el 30 y el 40%.

La población rural colombiana presenta un gran déficit en sus condiciones actuales de vivienda, en lo que respecta a la conexión de servicios básicos como son los servicios de energía y de agua. De acuerdo con los datos presentados por el Censo Nacional de Población y Vivienda (2018) a pesar de que los hogares rurales son el 21% del total de las familias, el porcentaje de hogares con déficit habitacional tanto cuantitativa como cualitativamente suman un 36,6% siendo mayor al porcentaje con déficit habitacional urbano, demostrando así que, aunque es menor la población rural es mayor su población con déficit, junto con esto se conoce que a nivel departamental la cobertura de acueducto para las zonas rurales es del 66.45% mientras que en la zona urbana representa un 98.38% como está indicado en el reporte “Cobertura residencial de acueducto (%) en la zona urbana y rural de los municipios, distritos, provincias y subregiones de Antioquia” (2023), esto es un problema significativo en algunas regiones de Antioquia, especialmente en áreas rurales y comunidades de bajos recursos.

Adicionalmente cabe mencionar que las precipitaciones en el departamento oscilan entre 1500 mm a 3000 mm dependiendo de la ubicación específica que se tenga, además de esto, cuenta con un patrón bimodal de lluvias con dos (2) temporadas principales, entre los

meses de abril-junio y septiembre-noviembre. Actualmente se encuentran diferentes proyectos para el aprovechamiento de aguas lluvias usadas como alternativa para el ahorro de agua potable en uso doméstico, tales como, los proyectos ubicados en Buenaventura propuesto por la Universidad del Pacifico y en Bogotá por la Universidad Católica de Colombia, donde también hablan de proyectos ubicados en Guarne y Caldas-Antioquia.

Es imperativo desarrollar e implementar soluciones tecnológicas e innovadoras que aborden de manera integral el déficit de servicios básicos de las viviendas de interés social rural de Colombia y especialmente de Antioquia, implementando un enfoque holístico y sostenible que permita superar las barreras que actualmente impiden el progreso de las comunidades rurales y que contribuyen a generar soluciones para un entorno más justo y próspero en Antioquia. Por tanto, se propone implementar un sistema alternativo que combine la recolección de agua pluvial con la generación de energía que represente una solución viable y sostenible para mitigar estas carencias, que no solo ofrece una solución inmediata a la falta de servicios básicos, sino que también promueve la autosuficiencia y la sostenibilidad a largo plazo, contribuyendo al desarrollo integral de las comunidades rurales.

## **4 Objetivos**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de recolección de agua pluvial con microturbina hidráulica para la seguridad hídrico-energética en viviendas de interés social rural antioqueña mejorando la calidad de vida de esta población.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el estado del arte sobre sistemas de recolección de aguas lluvias que usan microturbinas hidráulicas.
- Determinar la región óptima para llevar a cabo el estudio, utilizando el Índice de Focalización de Vivienda Rural cuantitativo municipal y las áreas con mayores precipitaciones en el departamento de Antioquia.
- Diseñar el sistema de captación, alimentación y almacenamiento de agua pluvial para una vivienda modelo seleccionada de acuerdo con la caracterización hidro-climatológica de la región elegida en Antioquia.

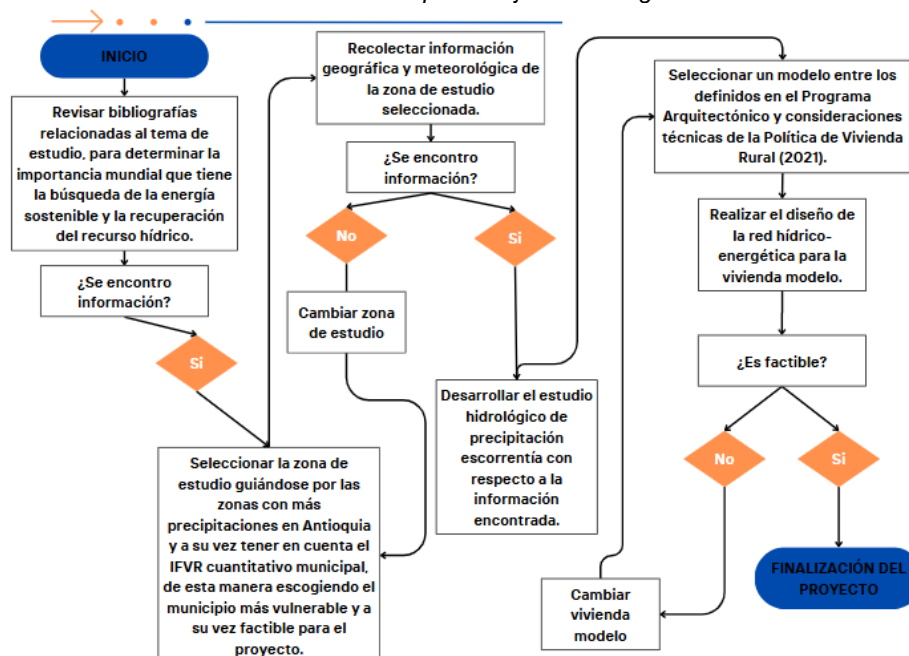
## 5 Metodología

El proyecto de investigación titulado "Diseño de sistema de recolección de aguas lluvias con microturbina hidráulica para la seguridad hídrico-energética en viviendas de interés social rural" se enmarca en la modalidad de investigación aplicada. Su objetivo principal es abordar las carencias de la población rural colombiana, específicamente en lo que respecta a la falta de acceso a servicios públicos esenciales. A través de este proyecto, se busca diseñar una solución tecnológica innovadora que permita mejorar la seguridad hídrico-energética en viviendas de interés social, optimizando la recolección de aguas pluviales y utilizando una microturbina hidráulica para generar energía, contribuyendo así a la autosuficiencia de estas comunidades.

Por la naturaleza del proyecto, este se plantea como una investigación cuantitativa, ya que busca diseñar un modelo hídrico-energético sustentable para la población rural con déficit habitacional cuantitativo. En cuanto a los objetivos de la investigación, se utilizará un diseño causal comparativo para evaluar la viabilidad y el impacto de la implementación del sistema en comparación con las condiciones actuales de las viviendas rurales, permitiendo así obtener conclusiones sobre su efectividad y sostenibilidad.

Para realizar esta investigación se guiará a partir del siguiente esquema:

*Ilustración 1. Mapa de flujo metodología.*



*Fuente: propia*

## 6 Alcance

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el diseño y la implementación de un sistema alternativo que integre la recolección de agua pluvial y la generación de energía mediante microturbinas hidráulicas, enfocado en mejorar las condiciones de vida en viviendas de interés social rural en Antioquia, Colombia. Este sistema está dirigido a comunidades rurales que enfrentan la escasez de servicios básicos esenciales, como agua para uso doméstico y energía eléctrica; el alcance del proyecto incluye las siguientes fases:

### 6.1 Fase 1. Análisis Y Diagnóstico Inicial

- Evaluación de las condiciones actuales en la comunidad rural seleccionada en Antioquia, enfocándose en la disponibilidad de agua y la infraestructura existente.
- Identificación documental de las necesidades de recolección de agua pluvial y de generación de energía a partir del informe del déficit habitacional presentado por el DANE (2020).
- Selección del tipo de vivienda rural con las especificaciones revisadas en el Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural presentado por Minvivienda (2021).

### 6.2 Fase 2. Diseño Del Sistema

- Diseño detallado de un sistema integrado que capture y almacene agua de lluvia para su uso doméstico.
- Selección de las microturbinas hidráulicas que aprovechen el flujo de agua pluvial para generar energía eléctrica a nivel doméstico.
- Selección de materiales y tecnologías adecuados para asegurar la eficiencia y durabilidad del sistema en un entorno rural.

### 6.3 Fase 3. Documentación Y Reporte Final

- Elaboración de informes técnicos que detallan el proceso de diseño, selección y resultados obtenidos.
- Propuestas de mejoras o expansiones del sistema a otras comunidades rurales en Antioquia.

## 7 Justificación

Actualmente, en Colombia existe una política de vivienda rural destinada a promover el mejoramiento y la construcción de nuevas viviendas en áreas rurales, con el objetivo de alcanzar una sostenibilidad habitacional. Lo anterior, se desarrolló a partir de la observación de algunas experiencias internacionales, de lo revisado en proyectos y programas de vivienda rural ocurridos en Colombia con anterioridad y de lo encontrado en el censo nacional de población y vivienda (2018). Este último indicó un déficit de vivienda que afectaba a 2,3 millones de hogares rurales colombianos, lo que representa cerca del 80,9% de las carencias habitacionales y determinó los alcances de la política generando buenas prácticas para su desarrollo.

Según el documento “Déficit habitacional 2018” del DANE (2020) el déficit se divide en dos categorías principales: el déficit cualitativo, que representa el 57,2% y corresponde a viviendas que requieren mejoras, y el déficit cuantitativo, que abarca el 23,7% y corresponde a la población que vive en viviendas no convencionales (contenedores, carpas, embarcaciones, vagones, cuevas, refugios naturales). Estos porcentajes son representativos de 2.942.068 hogares en el sector rural disperso.

Debido a que en estas zonas rurales es común la falta de conexión a los servicios básicos se plantea desarrollar un sistema alternativo para la generación de energía y almacenamiento de agua, destinado principalmente a usos domésticos. El principal enfoque de este proyecto es diseñar un sistema de recolección de agua pluvial conectado a una red de microturbinas hidráulicas que faciliten almacenar tanto energía como agua para los hogares de estas zonas sin acceso a servicios básicos. Según Carter et al. (2023) y Pantoja et al. (2023) este sistema proporcionará una red de electricidad y agua propia, adecuada para el uso doméstico, contribuyendo a la reducción de gastos en servicios públicos para las familias afectadas por esta problemática.

El sistema de recolección se diseñará teniendo en cuenta los estudios hidrológicos específicos de la zona y conforme a las tipologías de vivienda definidas en los lineamientos para la implementación de programas de vivienda nueva rural de alcance nacional, aprobados por el Departamento Nacional de Planeación. Para el diseño del sistema de recolección se seleccionará la tipología de vivienda que maximice el área de captación y optimice la eficiencia en la recolección de aguas pluviales.

## **8 Marco Teórico**

En la actualidad, se enfrenta una grave crisis debido a la ineficiencia organizacional en la distribución de los recursos públicos destinados a las comunidades rurales. Esta situación se agrava por los manejos inadecuados en el suministro, que limitan el acceso a servicios esenciales como el agua y la energía; por tal motivo, es que en este proyecto se busca implementar el diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para su utilización y la generación de energía en una vivienda rural tipo VRSC2. Donde el diseño no sólo busque optimizar la distribución del recurso hídrico pluvial, sino que también identifique conceptos clave y tecnologías que pueden ofrecer soluciones efectivas para la puesta en marcha de este proyecto.

Implementar sistemas de recolección y tratamiento de aguas pluviales con microturbinas hidráulicas presenta diversos desafíos, ya que es necesario un diseño y planificación adecuados, según León Agatón et al.(2016), quienes subrayan la importancia de considerar factores como el cambio climático, la calidad del agua de escorrentía y la capacidad de almacenamiento. Así mismo, es crucial educar a los residentes sobre el mantenimiento y operación de estos sistemas para asegurar su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

### **8.1 Gestión De Recursos Hídricos En Zonas Rurales**

#### ***8.1.1 Importancia Del Agua En La Vida Rural***

La tenencia del agua es fundamental ya que está intrínsecamente ligada a la supervivencia, la salud y el bienestar general de las comunidades. En este contexto, el acceso al agua potable y la gestión adecuada de los recursos hídricos son cruciales para el desarrollo sostenible de las zonas rurales. La recolección de aguas pluviales y la utilización de energía asociada amplían esta importancia al ofrecer soluciones sostenibles y accesibles que pueden transformar la vida en las áreas rurales.

#### ***8.1.2 Recolección De Aguas Lluvias***

Es una técnica que permite capturar y almacenar agua de lluvia, donde su principal objetivo es aprovechar este recurso natural para usos domésticos, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica y la reducción de la dependencia de fuentes de agua convencionales. Los sistemas de recolección de aguas lluvias han sido utilizados desde tiempos antiguos, evolucionando y adaptándose a las necesidades y tecnologías de cada era. Ballén Suárez et al.

(2006) proporcionan una revisión histórica detallada, mostrando que civilizaciones como el Imperio Romano utilizaron una red de recolección y almacenamiento de agua para asegurar el suministro doméstico. Estas infraestructuras reflejan una comprensión profunda de la importancia del agua como recurso vital, impulsando la creación de sistemas altamente eficientes y robustos para su tiempo. Con el avance de la tecnología, los sistemas de recolección de aguas lluvias han sido refinados y optimizados. En la actualidad, se integran tecnologías modernas que mejoran la captación, el tratamiento y el uso del agua, al tiempo que permiten la incorporación de energías renovables para un manejo autosuficiente. Uno de los puntos clave de mejora ha sido el diseño de las superficies de captación, que ahora utilizan materiales y técnicas que maximizan la eficiencia en la recolección de agua. Además, la implementación de tecnologías como la impresión 3D para la fabricación de microturbinas permite crear prototipos más eficientes y personalizados, reduciendo costos y mejorando el rendimiento.

El aprovechamiento del agua pluvial no solo tiene beneficios ambientales, sino también económicos. Sandoval Betancourt (2016) resalta las ventajas económicas del aprovechamiento del agua lluvia, que incluyen la reducción de costos en la provisión de agua para uso doméstico no potable. Es imperativo mencionar que la instalación de estos sistemas puede fomentar el desarrollo económico local, mejorando significativamente la calidad de vida en las comunidades rurales mediante la creación de empleos y el acceso a recursos básicos. La integración de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías de iones de litio, permite almacenar la energía generada por microturbinas durante períodos de alta producción para su uso posterior. Esto es esencial para maximizar la eficiencia y garantizar un suministro constante de energía, especialmente en áreas rurales donde la red eléctrica puede ser inestable. Así mismo, las leyes y regulaciones que promueven el uso de fuentes no convencionales de energía, como la Ley 1715 de 2014, fomentan la adopción de tecnologías renovables y la eficiencia energética, creando un entorno favorable para la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias y microturbinas. El aumento de la conciencia sobre la sostenibilidad y la gestión del agua ha llevado a un mayor interés en soluciones que reducen la dependencia de fuentes de agua convencionales. La recolección de aguas lluvias no solo ayuda a conservar recursos hídricos, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono al disminuir la necesidad de energía para el tratamiento y transporte de agua. Por último, las microturbinas hidráulicas, que aprovechan la energía del agua recolectada, están siendo diseñadas con tecnologías avanzadas que mejoran su eficiencia y adaptabilidad, representando una solución económica y sostenible para comunidades con acceso limitado a la electricidad. La implementación de

sistemas de recolección de aguas lluvias es especialmente relevante en el contexto actual, donde la escasez de agua se ha convertido en un desafío crítico.

Las edificaciones sostenibles están adoptando estos sistemas para garantizar un suministro de agua eficiente y reducir el desperdicio; para esto es fundamental realizar evaluaciones para el dimensionamiento adecuado de tanques de almacenamiento, lo cual es esencial para asegurar la disponibilidad de agua durante todo el año y minimizar la dependencia de la red pública. Dadas las condiciones climáticas actuales, el aprovechamiento de aguas lluvias se vuelve casi imprescindible para su utilización en labores de riego, limpieza e incluso para consumo humano.

### **8.1.3 Escorrentía Superficial.**

La escorrentía superficial es el flujo de agua que se desplaza sobre la superficie del terreno tras una precipitación; su gestión adecuada es crucial para minimizar sus efectos negativos, como la erosión y la contaminación. Comprender los factores que influyen en la escorrentía y aplicar medidas de conservación del suelo y gestión del agua es de vital importancia para Murillo J. et al. (2010), quien se refiere a las precipitaciones que no se infiltran ni se evaporan y fluye por la superficie del suelo hasta llegar a un cauce fluvial. La escorrentía depende de la cantidad de precipitación y del grado de infiltración, que a su vez está influenciada por el tipo de suelo y la cobertura de la cuenca.

### **8.1.4 Caudal**

El caudal representa el volumen de agua que fluye a través de un punto específico en un sistema hídrico durante un período de tiempo determinado.

Según Barrero A. y Beltrán D. (2018) para el cálculo del caudal de diseño se emplean métodos de lluvia-escorrentía que incluyen la infiltración. Para llevar a cabo estos cálculos es fundamental entender el concepto de cuenca hidrográfica, también conocida como hoya hidrográfica. Esta es la zona donde las aguas superficiales y/o subterráneas se concentran en una red de drenajes naturales o artificiales, con un flujo continuo o intermitente, que converge hacia un mismo punto, ya sea un río, un embalse, el mar u otro tipo de sistema hídrico capaz de recoger estas aguas, en este caso tomando como cuenca el techo de la vivienda modelo.

### **8.1.5 Estudios Hidrológicos**

Los estudios hidrológicos suministran evaluaciones fundamentales que analizan la distribución, circulación y calidad del agua en un área específica. Estos estudios son esenciales

para la planificación y diseño de infraestructuras hidráulicas, así como para la gestión sostenible de los recursos hídricos y consisten en la determinación predictiva del comportamiento del agua sobre una superficie. Estas estimaciones, en hidrología se realizan mediante cálculos que incorporan parámetros como las precipitaciones estimadas, la escorrentía y el perfil topográfico del terreno, (Allpe Ingeniería Y Medio Ambiente S.L., n.d.)

## **8.2 Energía Y Recolección De Aguas Pluviales**

### **8.2.1 Energía Para El Bombeo Y Distribución**

En comunidades rurales, el agua recolectada a través de sistemas de recolección de aguas pluviales a menudo requiere energía para ser bombeada y distribuida, de ahí, la importancia de su integración con sistemas de generación de energía renovable, como las microturbinas hidráulicas. Estas turbinas permiten convertir la energía cinética del agua en electricidad proporcionando una fuente de energía sostenible y accesible para las operaciones de bombeo, las cuales, requieren de un consumo significativo de energía y deben tener estabilidad funcional en el tiempo para asegurar que las comunidades tengan acceso constante al recurso del agua.

### **8.2.2 Microturbinas Hidráulicas.**

Las microturbinas hidráulicas son pequeñas turbinas que aprovechan la energía cinética del agua para generar electricidad de manera sostenible. Funcionan mediante la conversión de la energía hidráulica en energía mecánica a través de las aspas de la turbina, que a su vez activan un generador para producir electricidad. (Tecnoturbines, n.d.)

Las microturbinas hidráulicas se presentan como una solución efectiva para zonas donde el suministro de energía eléctrica convencional es limitado o inexistente. Su implementación en áreas rurales no solo proporciona una fuente de energía sostenible, sino que también contribuye a la autosuficiencia energética, reduciendo la dependencia de fuentes externas y mitigando los efectos del cambio climático. Además, el uso de microturbinas hidráulicas en sistemas de recolección de aguas pluviales combina la gestión del recurso hídrico con la generación de energía. Según Carter et al. (2023), estas microturbinas pueden instalarse en los bajantes de los techos, aprovechando la energía cinética generada por el flujo del agua para almacenar electricidad. Este sistema no solo ofrece una fuente adicional de energía limpia y confiable, sino que también optimiza el uso del agua recolectada, contribuyendo así a la reducción de la huella de carbono a nivel local.

## **8.3 Políticas Públicas Y Marco Normativo**

### **8.3.1 Políticas Públicas De Vivienda.**

Las políticas de vivienda buscan abordar el déficit habitacional y mejorar la calidad de vida de los hogares rurales; por tanto, la Política de Vivienda Rural tiene como objetivo disminuir tanto el déficit cualitativo como el cuantitativo, priorizando el acceso a vivienda digna para poblaciones vulnerables, desempeñando un papel crucial en la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvias. Documentos como “Documento técnico de parametrización del Subsidio Familiar de Vivienda Rural - SFVR Vivienda Nueva de Interés Social Rural y Mejoramientos de Vivienda” de Malagón González et al. (2021) y los “Lineamientos para la aplicación de programas de vivienda nueva rural de Orden Nacional” González et al. (2023) proporcionan marcos estratégicos y directrices para asegurar que las soluciones sean adaptadas y sostenibles para las necesidades locales. Estos documentos producen una base sólida para desarrollar los parámetros de aplicación a los subsidios de programas de vivienda de interés social rural, garantizando un enfoque global y ordenado en la implementación de tecnologías de recolección de aguas lluvias.

### **8.3.2 Programas Gubernamentales**

Los programas gubernamentales son fundamentales para abordar el déficit de vivienda en las zonas rurales de Antioquia. A través de subsidios y proyectos de construcción, se busca mejorar las condiciones habitacionales de las comunidades vulnerables, promoviendo el acceso a vivienda digna y sostenible. Sin embargo, es crucial superar los desafíos existentes mediante la colaboración y el empoderamiento de las comunidades para garantizar un impacto duradero en la calidad de vida de sus habitantes.

En los documentos “Proyectos tipo Construcción de vivienda de interés social rural” de Gaviria Muñoz et al. (2017) y “Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural” del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021) proporcionan ejemplos de proyectos tipo y lineamientos técnicos para la construcción de viviendas rurales, a los cuales se les puede incorporar la red de recolección de aguas pluviales. Estos documentos ofrecen guías prácticas y detalladas sobre la distribución de las viviendas, ayudando así a diseñar e implementar estos sistemas, asegurando su sostenibilidad y eficiencia.

## **8.4 Déficit Habitacional Rural.**

Según Fernández (2023), el déficit habitacional se caracteriza por la falta de acceso a viviendas adecuadas y servicios básicos en las comunidades. Este déficit puede manifestarse en diferentes formas, incluyendo la falta de infraestructura básica, como agua potable, saneamiento y electricidad.

El censo nacional de población y vivienda (2018), indica que el déficit poblacional en las zonas rurales alcanza el 80.99%, indicando que la población rural continúa sin atención a las necesidades básicas que les permitiría superar la pobreza y disfrutar de una vivienda plena. Es así, como los indicadores revelan que se mantienen las desigualdades socioeconómicas y las brechas estructurales entre el campo y la ciudad, lo cual sugiere que la política de vivienda de interés social rural debe garantizar el acceso a viviendas dignas, que cumplan con las normas técnicas de calidad, funcionalidad, seguridad y servicios básicos para albergar a las familias en cualquier momento de su ciclo vital.

Este tema es un problema significativo que afecta a millones de hogares en el país, reflejando carencias tanto en la calidad como en la cantidad de las viviendas disponibles, Según el DANE (2020), se ramifica en dos tipos.

### **8.4.1 Déficit Cuantitativo**

El déficit cuantitativo identifica a las familias en viviendas con poco espacio y deficiencias estructurales, para lo cual la mejor opción es la construcción de nuevas viviendas

### **8.4.2 Déficit Cualitativo**

El déficit cualitativo identifica a las familias en viviendas susceptibles a mejoramiento mediante intervenciones de renovación.

## **8.5 Índice De Focalización De Vivienda Rural (IFVR)**

Minvivienda (2020) define el IFVR como el cálculo de un valor numérico entre 0 y 1 a partir de las dimensiones socioeconómicas, poblacional y productiva para los 1122 municipios y áreas no municipalizadas (ANM) de Colombia. Este sirve como herramienta desarrolladora para la identificación y priorización de las necesidades habitacionales en los municipios rurales del país; facilitando la focalización de recursos y subsidios para la construcción y mejoramiento de viviendas rurales.

## 9 Marco Legal

### 9.1 Ley 697 De 2001 : Mediante La Cual Se Fomenta El Uso Racional Y Eficiente De La Energía, Se Promueve La Utilización De Energías Alternativas Y Se Dictan Otras Disposiciones.

La Ley 697 de 2001 tiene como objetivo primordial fomentar la concientización del consumo de energía promoviendo el uso de fuentes alternativas como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. El gobierno debe establecer las bases necesarias para el funcionamiento de esta ley, creando una estructura legal, técnica, económica y financiera, que logren el desarrollo de proyectos de actualización de esta infraestructura al corto, mediano y largo plazo.

Si se habla directamente del aporte de la ley 697 en el desarrollo de este proyecto proporciona un respaldo legal fundamental, asegurando que el proyecto cumpla con las regulaciones ambientales y de uso eficiente del agua. Este marco normativo es esencial para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del sistema de recolección de aguas lluvias, estableciendo directrices claras para su implementación en contextos rurales. Además, fomenta la gestión sostenible de los recursos hídricos, lo cual es vital para mejorar la seguridad hídrica en comunidades vulnerables. Asimismo, la ley incentiva la integración de tecnologías renovables, como las microturbinas hidráulicas. Estas no solo optimizan el aprovechamiento del agua recolectada, sino que también contribuyen a la generación de energía limpia, lo que resulta especialmente relevante en áreas con acceso limitado a la red eléctrica. Esto permite a las comunidades alcanzar una mayor autosuficiencia energética y reducir su dependencia de fuentes no renovables. Desde una perspectiva social, la ley busca mejorar las condiciones de vida en viviendas de interés social al facilitar el acceso a recursos hídricos y energéticos. Esto no solo tiene un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes, sino que también promueve un desarrollo más equitativo y sostenible.

### 9.2 Ley 1537 De 2012 - Capítulo IV : Por La Cual Se Dictan Normas Tendientes A Facilitar Y Promover El Desarrollo Urbano Y El Acceso A La Vivienda Y Se Dictan Otras Disposiciones.

La Ley 1537 de 2012, según el artículo 28 del capítulo IV de esta ley, las viviendas en el sector rural pueden ser asignadas como subsidios en especie a hogares que se encuentren en situación de desplazamiento y cumplan con ciertos criterios. Estos incluyen que sus terrenos

hayan sido restituidos por una autoridad competente, que sean beneficiarios de programas de formalización y titulación de tierras del Ministerio de Agricultura, o que pertenezcan a comunidades indígenas o afrodescendientes reconocidas. La ejecución de estos subsidios se priorizará en municipios de categorías 4, 5 y 6. Además, el Gobierno Nacional establecerá los requisitos específicos para la focalización de estos subsidios.

### **9.3 Ley 1715 De 2014 Modificada Por Ley 2099 De 2021 Y Ley 2294 De 2023 : Por Medio De La Cual Se Regula La Integración De Las Energías Renovables No Convencionales Al Sistema Energético Nacional.**

Ley 1715 de 2014 tiene como propósito central la promoción e implementación de energías no convencionales en Colombia, como la solar, eólica, biomasa, mareomotriz, y geotérmica, entre otras. Esta ley fue creada con el objetivo de incentivar el uso de fuentes alternativas de energía renovable, impulsando la transición energética en el país hacia un modelo más sostenible y eficiente. A lo largo del tiempo, ha sido modificada por la Ley 2099 de 2021 y la Ley 2294 de 2023, con el fin de reforzar y actualizar los mecanismos de promoción de estas fuentes energéticas, haciendo énfasis en la articulación de políticas públicas que fortalezcan la transición energética.

Una de las principales disposiciones de esta normativa es incentivar la colaboración entre el sector público, el sector privado y los usuarios, con el fin de promover la adopción y gestión eficiente de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). Esto incluye el fomento de la autogeneración de energía, tanto a gran escala como a pequeña escala, y la creación de mecanismos que permitan a los usuarios vender los excedentes de energía generada. La ley también tiene un fuerte enfoque en las Zonas No Interconectadas (ZNI), promoviendo la electrificación de estas áreas rurales y remotas a través de tecnologías renovables que aportan sostenibilidad ambiental y social.

Desde un enfoque técnico, la Ley 1715 define claramente los tipos de energía y formas de generación que se consideran no convencionales, estableciendo lineamientos para su promoción y su integración en el sistema energético colombiano. Además, establece incentivos fiscales y financieros para proyectos que implementen FNCER, lo que es fundamental para atraer inversiones y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

El proyecto de diseño de un sistema de recolección de aguas lluvias con microturbina hidráulica para viviendas de interés social rural en Antioquía encaja perfectamente dentro del marco de esta ley. Al proporcionar una fuente de energía renovable mediante la generación

hidroeléctrica a pequeña escala en comunidades rurales, este tipo de solución contribuye de manera significativa a los objetivos de la ley al ofrecer una alternativa energética sostenible en las Zonas No Interconectadas (ZNI). Las microturbinas, al integrarse con sistemas de captación de agua pluvial, no solo mejoran la seguridad energética, sino que también brindan acceso a recursos hídricos de manera sostenible, mejorando la calidad de vida de las comunidades rurales y facilitando el desarrollo local. En conjunto, la Ley 1715 respalda este tipo de proyectos, creando un marco regulatorio favorable para la implementación de tecnologías limpias y accesibles en áreas con carencias energéticas.

La importancia de esta ley radica en su capacidad de generar un entorno propicio para la transición energética de Colombia, incentivando el uso de tecnologías que reduzcan la dependencia de energías convencionales, mejoren la eficiencia energética y promuevan el desarrollo de zonas vulnerables mediante el acceso a energía renovable y sostenible.

#### **9.4 NTC 5770 De 2010 : Indica Los Sistemas De Saneamiento Básico. Tanques Sépticos Prefabricados Con Materiales Plásticos.**

La NTC 5770 de 2010 tiene como objetivo fundamental regular los procesos técnicos necesarios para la implementación de sistemas de captación y aprovechamiento de aguas pluviales en edificaciones, tanto en entornos urbanos como rurales. Estos sistemas están diseñados principalmente para usos no potables, como el riego de jardines, la descarga de inodoros, y el lavado de áreas y vehículos, lo que reduce significativamente la demanda de agua potable. La norma establece criterios y requisitos técnicos específicos que aseguran que el agua recolectada cumpla con estándares mínimos de calidad, garantizando que los sistemas sean seguros, eficientes y duraderos.

Además, la aplicación de la norma no se limita a un tipo específico de edificación, sino que se extiende a una amplia variedad de construcciones, incluyendo viviendas unifamiliares, edificios comerciales, instituciones educativas y otros espacios donde sea viable y beneficioso implementar sistemas de recolección de aguas lluvias. Estos sistemas son particularmente útiles en proyectos donde el acceso al agua potable es limitado o costoso, promoviendo la sostenibilidad y el uso eficiente de recursos.

En el contexto específico de este proyecto, la NTC 5770 de 2010 proporciona los parámetros técnicos esenciales para el diseño de sistemas de recolección de aguas lluvias. La norma detalla las especificaciones relacionadas con los materiales y componentes necesarios, como canaletas, tuberías y tanques de almacenamiento, asegurando que cumplan con criterios

de durabilidad y eficiencia. Esto es crucial para evitar problemas como la acumulación de sedimentos o la presencia de impurezas que puedan afectar el rendimiento del sistema, ya sea durante el almacenamiento del agua o en la operación de la microturbina.

La instalación de sistemas de filtrado y tratamiento inicial, conforme a la normativa, es fundamental para garantizar que el agua recolectada esté libre de partículas que puedan obstruir el sistema o reducir su eficiencia. De esta manera, se asegura el correcto funcionamiento tanto del sistema de almacenamiento como de la microturbina, optimizando el aprovechamiento del agua para uso doméstico y la generación de energía.

La NTC 5770 también se aplica en términos de sostenibilidad ambiental, lo cual es un pilar fundamental en el proyecto de grado. Al integrar microturbinas en un sistema de recolección de aguas lluvias para viviendas de interés social, se fomenta una doble ventaja: la reducción de la demanda de agua potable y la generación de energía limpia, con un impacto positivo en comunidades rurales o vulnerables. La autosuficiencia hídrico-energética promovida por el proyecto está en línea con la normativa, que busca asegurar una gestión eficiente y responsable de los recursos.

#### **9.5 NTC 2890 De 2012 : Tanques Resistentes A La Corrosión Fabricados Con Resina Termoestable Reforzada Con Fibra De Vidrio, Modelados Por Contacto.**

La NTC 2890 de 2012 es una norma técnica colombiana que define los requisitos específicos para la fabricación y construcción de tanques de fibra de vidrio moldeados por contacto, asegurando que estos cumplan con estándares de calidad y seguridad. La norma abarca aspectos esenciales relacionados con los materiales, el proceso de fabricación y las pruebas de resistencia y durabilidad, garantizando que los tanques sean aptos para su uso en aplicaciones industriales, comerciales o residenciales, y que ofrezcan un desempeño confiable a largo plazo.

Además, se centra en el mantenimiento adecuado y establece requisitos específicos sobre los materiales, así como en las propiedades, diseño, construcción, dimensiones y tolerancias necesarias para la fabricación de tanques cilíndricos. Un aspecto fundamental de esta normativa es la garantía de que los tanques sean resistentes a la corrosión, un factor crucial para asegurar su longevidad y rendimiento a lo largo del tiempo.

Para lograr estas características, los tanques se fabrican utilizando moldes de resina de estireno vinílico o poliéster de grado comercial. Estos materiales no solo contribuyen a la durabilidad y eficacia de los tanques, sino que también garantizan que cumplan con los

estándares requeridos para su uso en una variedad de aplicaciones. De este modo, la norma asegura que los tanques cilíndricos sean soluciones fiables y sostenibles en el contexto de la recolección y almacenamiento de aguas pluviales.

Esta norma proporciona las bases necesarias para el diseño y la instalación de sistemas que optimizan el aprovechamiento del caudal generado por el agua de lluvia recolectada, asegurando que el sistema esté dimensionado correctamente para maximizar la generación de energía renovable en viviendas de interés social o zonas rurales.

#### **9.6 NTC 2888 De 2014 : Laminados De Plásticos Termoestables Reforzados (PTR) Moldeados Por Contacto, Para Equipos Resistentes A La Corrosión.**

La NTC 2888 de 2014 define los parámetros esenciales que deben seguirse durante el proceso de fabricación de laminados plásticos termoestables reforzados, especialmente aquellos moldeados por contacto, como menciona el documento:

*Establece los requisitos para la composición, el espesor, los procedimientos de fabricación y los requisitos de las propiedades físicas para laminados de poliéster o viniléster termoestables reforzados con fibra de vidrio u otros laminados de resina termoestable calificados que incluyen materiales de construcción para tanques, tuberías y equipos PTR resistentes a la corrosión. Esta norma se limita a la fabricación con moldeado por contacto. (p.1)*

La importancia de esta normativa en el proyecto es crucial, ya que los materiales que se emplearán en el diseño del sistema de recolección de aguas lluvias y distribución de energía con microturbinas hidráulicas deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTC 2888. Esto garantizará que los componentes utilizados, como las superficies de captación, conductos, y otros elementos críticos, sean resistentes a la corrosión y cumplan con los estándares de durabilidad y seguridad estructural.

Además, la adherencia a esta norma asegura que el sistema funcione de manera eficiente en condiciones adversas, como la alta exposición a la humedad o posibles agentes corrosivos, al tiempo que garantiza la integridad mecánica y la longevidad de los materiales, aspectos fundamentales para asegurar la viabilidad del proyecto en el largo plazo.

### **9.7 Resolución 943 De 2021 : Por La Cual Se Compila La Regulación General De Los Servicios Públicos De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo, Y Se Derogan Unas Disposiciones.**

La Resolución 943 de 2021, tiene como objetivo principal integrar y unificar la regulación expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia. Esta normativa busca garantizar que las regulaciones sean accesibles y claras, lo que fomenta una mejor gestión de los servicios básicos para la población, enfocada especialmente en la calidad del servicio, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

Además, la resolución establece un marco regulatorio que favorece la adaptabilidad en el sector de agua potable y saneamiento básico. Esto resulta especialmente relevante en un contexto donde las condiciones ambientales y las demandas de la población están en constante cambio. Al proporcionar a las entidades responsables las herramientas necesarias para enfrentar estos desafíos, la resolución garantiza que puedan responder adecuadamente a las necesidades cambiantes de la comunidad.

## 10 Cronograma

Tabla 1. Cronograma

ACTIVIDADES	SEMANAS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Revisión Bibliográfica sobre sistemas de recolección de aguas lluvias con micro turbinas hidráulica.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Selección de la región óptima para llevar a cabo el estudio a partir del Índice de Focalización de Vivienda Rural cuantitativo municipal y de la zona de más altas precipitaciones en Antioquia.	■	■	■												
Revisión de los tipos de modelos de vivienda social rural definidos dentro del Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural		■	■	■											
Selección del modelo de vivienda social rural que mejor se adapte a este tipo de sistemas de recolección de agua lluvia.			■	■											
Recolección de información geográfica y meteorológica de la región seleccionada.				■	■	■									
Determinar los parámetros hidrológicos necesarios para hacer el diseño del sistema de recolección						■	■	■							
Realizar el estudio hidrológico con respecto a los datos recopilados.								■	■	■					
Selección de la microturbina hidroeléctrica que cumpla con los parámetros antes mencionados.									■	■	■				
Diseño de la red de recolección de agua pluvial y generación de energía.											■	■	■		
Diseñar la red hidrico-eléctrica para la vivienda modelo seleccionada.											■	■	■		
Elaboración de informe y sustentación de resultados a partir de los parámetros de trabajo de grado.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Propia.

## 11 Antecedentes

### 11.1 Determinación De La Región Óptima.

El proceso de determinación de la zona de estudio para el diseño de un sistema integrado de recolección de aguas pluviales y microturbinas hidráulicas en el área rural de Antioquia se basó en dos criterios fundamentales: el Índice de Focalización de Vivienda Rural (IFVR) y los niveles de precipitación de cada municipio.

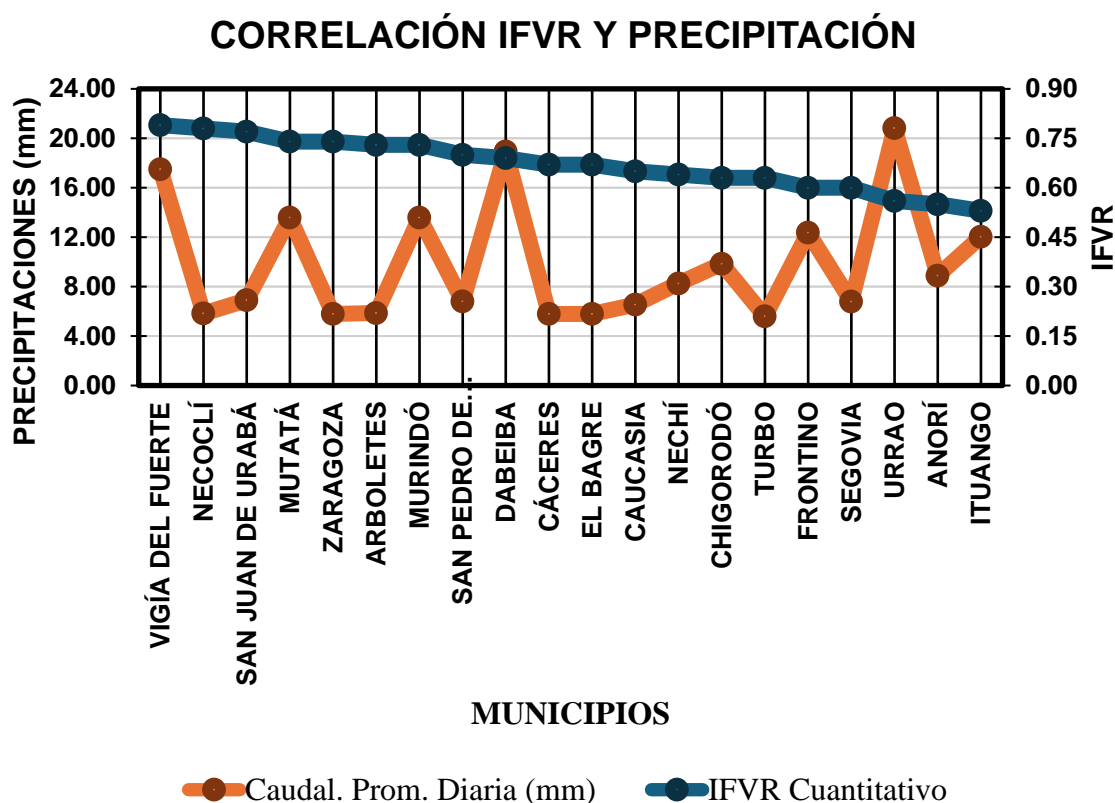
Según el documento “Índice de Focalización de Vivienda Rural” (2020), este índice se desarrolló a partir de tres dimensiones clave: socioeconómica, demográfica y productiva. Los municipios y áreas no municipalizadas con valores más altos en el IFVR representan las mayores carencias y una alta necesidad de intervención. Entre los municipios con las calificaciones más elevadas se encuentran Necoclí, Zaragoza, Murindó, Dabeiba, Cáceres, Cauca, Nechí, Vigía del Fuerte y Turbo, entre otros.

Así mismo, el criterio de precipitación es esencial para el funcionamiento óptimo de las microturbinas hidráulicas, ya que una alta tasa de precipitación aumenta el caudal de agua disponible, mejorando así la generación de energía. Este tipo de turbinas convierte la energía cinética del agua en electricidad, lo cual es especialmente beneficioso para comunidades rurales que dependen de fuentes renovables.

La implementación de microturbinas permite a estas comunidades reducir su dependencia de fuentes externas y promueve la sostenibilidad. Sin embargo, es crucial considerar las características específicas del entorno, como el régimen pluvial, al diseñar e instalar estos sistemas. En conclusión, el aprovechamiento de la precipitación no solo optimiza la generación de energía, sino que también mejora la calidad de vida en áreas rurales y fomenta un uso responsable del medio ambiente.

Como podemos ver en la Gráfica 1 se presentan los municipios de Antioquia con la valoración más alta en el IFVR, junto con las precipitaciones promedio diarias de cada municipio. Como se observa, algunos municipios combinan altos niveles de lluvia con significativas carencias habitacionales. Al cruzar esta información con los registros del sistema del IDEAM, se seleccionó el municipio de Turbo como el más adecuado para la implementación del sistema propuesto.

Gráfica 1. Correlación IFVR y precipitación. Fuente: Propia



*Datos tomados de Índice de focalización de vivienda rural (2020) y Meteoblue (2024).*

En la Gráfica 1, se presentan los municipios de Antioquia con la valoración más alta en el IFVR, junto con las precipitaciones promedio diarias de cada municipio. Como se observa, algunos municipios combinan altos niveles de lluvia con significativas carencias habitacionales. Al cruzar esta información con los registros del sistema del IDEAM, se seleccionó el municipio de Turbo como el más adecuado para la implementación del sistema propuesto.

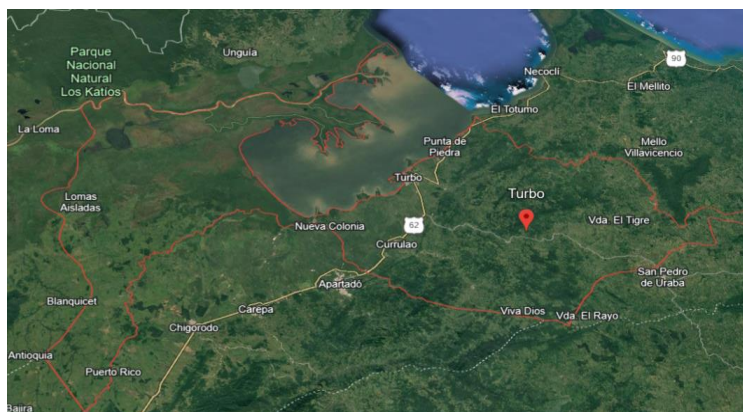
La selección del municipio de Turbo se fundamentó no solo en los valores presentados en la Gráfica 1, sino también en factores de viabilidad para el desarrollo del proyecto tras la finalización de la propuesta. Si se realizara un diagnóstico basado únicamente en los dos factores principales, la elección recaería en el municipio de Vigía del Fuerte. Sin embargo, al investigar la movilidad hacia esta zona, se constató que su acceso es complicado, ya que no se puede llegar por carretera, sino únicamente por vía aérea o a través de trochas, lo que lo convierte en un lugar poco accesible para llevar a cabo estudios in situ.

## 11.2 Contextualización Del Municipio De Turbo, Antioquia.

El municipio de Turbo está ubicado en la zona noroccidental de Colombia, directamente en la región Caribe, este es el municipio más grande de Antioquia y se caracteriza por su vasta extensión y diversidad poblacional. Está conformado por 15 corregimientos y 230 veredas, que, junto con su casco urbano, albergan a cerca de 132.552 habitantes según los resultados del censo nacional de población y vivienda del DANE (2019). De esta población, 56.787 residen en el casco urbano, mientras que 75.765 habitan en el sector rural. La composición étnica de la población es notable, con un 65.5% de afrocolombianos, un 2.3% de indígenas y un 32.2% de otros grupos.

En la Ilustración 2 se evidencia todo el territorio que abarca el municipio de Turbo, tanto el casco urbano como el área rural. Este municipio limita al norte con los municipios de Necoclí y Arboletes; al este, con San Pedro de Urabá, Apartadó, Carepa y Chigorodó; al sur, con Mutatá; y al oeste, con Río Sucio y Unguía. Teniendo una extensión total de 3.055 km<sup>2</sup>, de los cuales 11.9 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana y 3.043,1 km<sup>2</sup> al área rural. La altitud de la cabecera municipal es de 2 metros sobre el nivel del mar, lo que contribuye a su clima cálido y húmedo, con una temperatura media de 28 °C.

*Ilustración 2. Vista aérea de la localización de Turbo. Coordenadas 8°05'35"N76°43'42"O.*

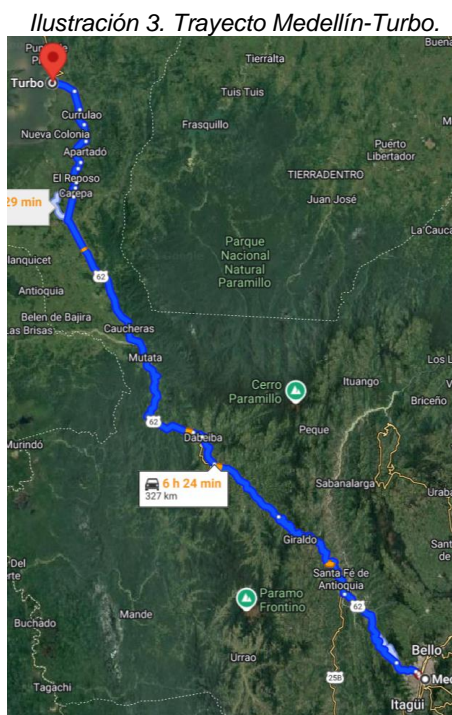


*Fuente: Google Earth.*

Este municipio de Antioquia se encuentra en una región con una alta pluviosidad, superando los 3,000 mm anuales en muchas zonas. Las áreas rurales, a menudo caracterizadas por su aislamiento y falta de servicios básicos, se ven especialmente afectadas por la gestión ineficiente del agua lluvia, por lo que el manejo del agua lluvia en las zonas rurales de Turbo-Antioquia, representa tanto un desafío como una oportunidad. Con estrategias adecuadas, como la implementación de sistemas de captación y almacenamiento y la

generación de energía a través de microturbinas las comunidades rurales pueden aprovechar de manera efectiva este recurso natural, logrando en primera instancia la disminución del consumo de la poca agua potable disponible, dándole un uso eficiente tanto al recurso del agua como de la energía donde este proceso no solo mejorará su calidad de vida, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental y económica de la región.

Como se muestra en la Ilustración 3, el trayecto por vía terrestre desde Medellín hacia el municipio de Turbo cuenta con una distancia de 327 Km y una duración del viaje de 6 horas y 24 minutos, si se toma la ruta indicada por el GPS de Google Maps.



*Fuente: Google Maps.*

### 11.3 Contextualización Impacto Ambiental

Al abordar el tema de estudio de impacto ambiental, es primordial tener en cuenta el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA), el cual es un marco normativo colombiano que tiene como objetivo promover la gestión sostenible de los recursos hídricos y que su utilización sea de manera responsable y sostenible, como informa CORPOURABA (n.d.) el PUEAA fue establecido en la Ley 373 de 1997 y reglamentada por el Decreto 1090 de 2018, adicionando el decreto 1076 del 2015 en lo relacionado con este tema, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Al llevar a cabo este proyecto, y por ser el recurso del agua la parte esencial del funcionamiento del sistema de captación, distribución, uso doméstico y generación de energía por microturbinas, se debe tener en cuenta el PUEAA, ya que es fundamental para promover un uso sostenible del agua, minimizando el consumo y desperdicio, y fomentando prácticas como el reúso y la recirculación del agua.

Como el proyecto se realizará en la zona de Turbo, la entidad encargada de supervisar estas prácticas en su jurisdicción es CORPOURABA, la cual tiene como función principal ejecutar las políticas, planes y programas en materia ambiental definidas por Ley.

La implementación de microturbinas para la generación de energía en viviendas de interés social en el municipio de Turbo representa un avance fundamental hacia la sostenibilidad energética y el aprovechamiento de los recursos naturales locales, respondiendo a las necesidades de esta comunidad rural en un contexto donde el acceso a energía convencional suele ser limitado. En Turbo, el alto nivel de precipitaciones y la disponibilidad de agua de lluvia ofrecen un entorno ideal para sistemas de captación que alimenten microturbinas, proporcionando una fuente energética descentralizada que no depende completamente de la red eléctrica principal.

A diferencia de la infraestructura hidroeléctrica a gran escala, que implica consecuencias ambientales significativas, como la deforestación y la alteración de hábitats locales, el uso de microturbinas en Turbo permite una generación de energía sin impactos negativos en los ecosistemas locales. Las centrales hidroeléctricas, aunque renovables, requieren la construcción de represas que conllevan la deforestación y el desplazamiento de comunidades, generando conflictos sociales y afectando el equilibrio ecológico de la región. En Turbo, donde muchas comunidades rurales dependen del acceso a recursos hídricos no solo para el consumo, sino también para la agricultura y la pesca, la preservación de estos ecosistemas es esencial.

El diseño de un sistema de microturbinas para captar y distribuir energía en Turbo optimiza la eficiencia del recurso hídrico y, al mismo tiempo, mantiene el equilibrio natural y el modo de vida de la comunidad. Aprovechar esta tecnología permite una transición energética justa y sostenible, beneficiando a los habitantes mediante una energía accesible y limpia, e incentivando un modelo de desarrollo en sintonía con la conservación ambiental.

## **11.4 Selección Del Tipo De Vivienda**

Para seleccionar la vivienda más adecuada para la implementación de un sistema de recolección de agua pluvial y la instalación de microturbinas hidráulicas, se consideraron múltiples parámetros arquitectónicos, técnicos y económicos, enfocados en viviendas rurales nuevas, donde el objetivo principal es identificar un diseño que optimice la captación de agua pluvial y facilite tanto la instalación como el funcionamiento eficiente de las microturbinas.

### **11.4.1 Parámetros Arquitectónicos Y Técnicos**

Se realizó un análisis detallado de las características de cada tipo de vivienda, con especial énfasis en:

**11.4.1.1 Distribución De Espacios Interiores.** Se evaluó la disposición de áreas comunes, cocina, alcobas y baño, priorizando la proximidad de estas zonas para optimizar la distribución del agua recolectada. Esta planificación no solo facilita la canalización eficiente del agua, sino que también garantiza un suministro constante y efectivo a las diferentes partes de la vivienda.

**11.4.1.2 Aspectos Exteriores.** Se analizaron cuidadosamente factores como el tipo de cubierta y el área total disponible. La forma y el material del techo son determinantes en la cantidad de agua pluvial que se puede captar. Por ejemplo, un techo inclinado y de amplia superficie es ideal para canalizar el agua de lluvia hacia un sistema de recolección que almacene el agua en tanques, permitiendo su uso posterior para la generación de energía mediante microturbinas.

**11.4.1.3 Área Disponible.** Se consideró el espacio alrededor de la vivienda para garantizar que haya suficiente área para la instalación de tanques de almacenamiento y los equipos necesarios para el funcionamiento eficiente del sistema. Esta planificación asegura que el sistema de recolección y generación de energía sea tanto efectivo como sostenible a largo plazo.

**11.4.1.4 Evaluación Económica.** Al seleccionar el tipo de vivienda más adecuado para la implementación de un sistema de recolección de agua pluvial y la instalación de microturbinas hidráulicas, se realizó una evaluación económica centrada en la viabilidad del proyecto. Este análisis se enfocó en asegurar que la solución sea financieramente sostenible, considerando factores clave como la eficiencia económica, la reducción de costos a largo plazo y el retorno sobre la inversión.

**11.4.1.5 Inversión Inicial.** Se analizaron los costos asociados con la adaptación de las viviendas rurales para la implementación del sistema de recolección de agua y la instalación de microturbinas. Estos costos incluyen la adquisición de equipos, la integración de tecnologías, y las modificaciones necesarias en la infraestructura existente.

**11.4.1.6 Optimización De Recursos.** Se priorizó la selección de viviendas que requieran menos modificaciones estructurales, lo que reduce la inversión inicial para la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias con microturbina hidráulica para la seguridad hídrico-energética en viviendas de interés social rural. Además, se consideró la utilización de materiales locales y tecnologías de bajo costo que, sin comprometer la calidad, minimicen el gasto.

Las viviendas que se tuvieron en cuenta en un inicio fueron las siguientes:

*Ilustración 4. Plano casa VRSL 1.*



*Fuente: Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural.*

Ilustración 5. Plano casa VRSU1.



Fuente: Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural.

Ilustración 6. Plano casa VRSC2.



Fuente: Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural.

A partir del documento de Minvivienda, programa arquitectónico y consideraciones técnicas (2021), del cual fueron extrahidos los planos de las tres viviendas seleccionadas, estas cumplen con tres criterios clave para la implementación eficiente de un sistema de recolección de aguas lluvias: la interconexión entre la cocina, baño y lavadero, el diseño de la cubierta a dos aguas y costo de construcción de la vivienda. La interconexión entre estos espacios no solo simplifica la distribución del agua recolectada, sino que también permite una gestión más eficiente del recurso, facilitando su almacenamiento y posterior uso en diversas actividades domésticas, como el lavado y el aseo. Esto reduce la necesidad de bombeo y transporte del agua dentro de la vivienda, optimizando el funcionamiento general del sistema.

El diseño de la cubierta a dos aguas desempeña un papel crucial en la captación eficiente del agua de lluvia. Este tipo de cubierta no solo dirige el flujo del agua de manera

natural hacia los puntos de captación, sino que también maximiza la superficie disponible para la recolección, lo que incrementa el volumen de agua recogido. Su inclinación facilita el rápido drenaje, minimizando las pérdidas por evaporación o estancamiento, lo que garantiza un mayor aprovechamiento del agua disponible. Estos dos factores, en conjunto, contribuyen a un sistema de captación y distribución de agua altamente eficiente.

Además, el costo de construcción de las viviendas es un factor fundamental que impacta directamente en la viabilidad del sistema de recolección de aguas lluvias. Al elegir diseños que sean tanto funcionales como económicos, se asegura que el proyecto sea accesible para los habitantes. La selección cuidadosa de materiales y técnicas constructivas no solo optimiza el presupuesto, sino que también garantiza que las viviendas sean sostenibles y se adapten a las necesidades específicas de la comunidad rural del municipio de Turbo. Esto, a su vez, fomenta la sostenibilidad del proyecto y mejora el bienestar de los residentes, creando un entorno más habitable y eficiente.

## 11.5 Tipos De Microturbina

### 11.5.1 Principio de funcionamiento de las microturbinas

Las microturbinas generan energía hidroeléctrica por medio de cada uno de sus mecanismos diferenciadores, por esta razón es que Paish (2002), indica que la energía hidroeléctrica a pequeña escala, conocida como "de pasada", es una tecnología altamente eficiente y respetuosa con el medio ambiente, ideal para la electrificación rural. A diferencia de las grandes centrales hidroeléctricas, no requiere presas, ya que utiliza el flujo natural para generar electricidad. Las hidro turbinas convierten la energía del agua en potencia mecánica, que acciona un generador eléctrico. La potencia generada (P) depende de la altura de caída del agua, el caudal y la eficiencia de la turbina, a partir de la formula:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

- P: Potencia mecánica producida en el eje de la turbina (vatios).
- $\eta$ : Eficiencia hidráulica de la turbina.
- $\rho$ : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).
- G: Aceleración debida a la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s).
- H: Altura de caída (m).

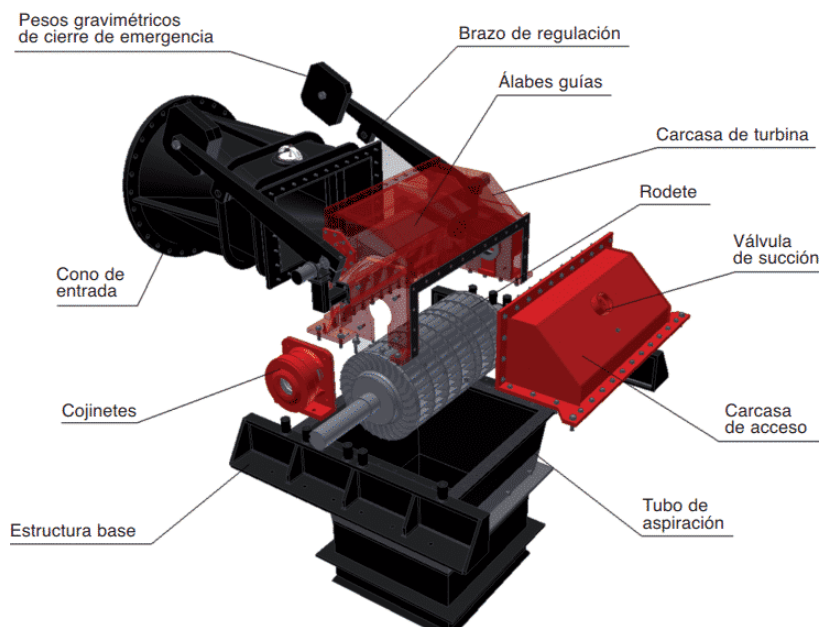
En los sistemas de recolección de agua lluvia, este mismo principio se aplica con microturbinas. El agua captada de techos o superficies se almacena en tanques elevados y, al ser liberada, fluye hacia la microturbina, donde su energía potencial y cinética se convierte en electricidad. Para este proceso se utilizan turbinas como Pelton o Kaplan, que funcionan bien con caídas moderadas y flujos variables, se emplean dependiendo de las condiciones del sistema.

Este método es sostenible y renovable, ya que el agua no se contamina y puede reutilizarse para riego u otros usos. Así, se produce energía limpia de manera eficiente, maximizando el uso de los recursos naturales, lo que lo hace ideal para zonas rurales o fuera de la red eléctrica.

### 11.5.2 Componentes de las microturbinas

Las microturbinas hidráulicas constan de varios componentes esenciales que permiten la conversión eficiente de la energía hidráulica en energía eléctrica; estos componentes los podemos ver en la Ilustración 7.

Ilustración 7. Componentes de la microturbina.



Fuente: FH Solar & Led (2019)

Para este proyecto se consideraron tres diferentes microturbinas, las cuales tienen las siguientes características:

### 11.5.3 *Microturbina Powerspout PLT 150/250*

- Caudal: 0,6-5L/s
- Eficiencia generadora: 70%
- Potencia: 300-1200W
- Turbinas fabricadas en un 60% con material reciclado.
- Altura máxima dinámica: 3-160 m
- Como complemento fiable de producir electricidad, con poco caudal y saltos altos.
- 2 años de garantía ampliables a 7años. Vida útil >15años.
- Costo: \$15.000.000 de pesos

*Ilustración 8. Microturbina powerspout PLT 150/250.*

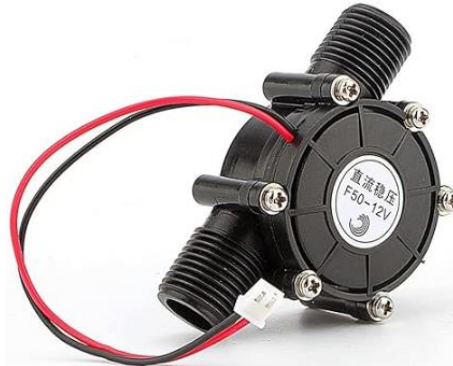


*Fuente: Hidric.*

### 11.5.4 *Microturbina Watris Veiyi.*

- Voltaje: 12 V 60 Hz
- Presión máxima: 0.6 Mpa,
- Presión de arranque: 0.05 Mpa.
- Potencia: 10W
- Puede suministrar fuente de alimentación de radio de 12 V, carga de luz LED de 10 W, carga de batería pequeña, corriente de carga máxima de 220 mA.
- Vida Útil:  $\geq 3000$ h
- Costo: \$75.000 pesos

Ilustración 9. Microturbina Watris Veiyi.



Fuente: Amazon.

### 11.5.5 Microturbina Aecorbir

- Voltaje: 220V 50Hz
- Altura máxima dinámica: 3-30M
- Potencia: 1000W
- Generador respetuoso con el medio ambiente, reciclables y utilizan energía hidroeléctrica natural pura para ahorrar facturas de electricidad.
- Vida Útil:  $\geq 10$  años
- Costo: \$1.500.000 pesos

Ilustración 10. Microturbina Aecorbir.



Fuente: Amazon.

Antes de seleccionar la turbina con la cual se va a trabajar, también se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

## **11.6 Precipitación Y Demanda**

La precipitación y la demanda energética son factores fundamentales para el adecuado funcionamiento de la microturbina destinada a generar energía a partir del agua lluvia, ya que ambos influyen en la disponibilidad de agua y la eficiencia del sistema. La cantidad y frecuencia de las precipitaciones determinan el volumen de agua disponible para alimentar la microturbina, mientras que la demanda energética establece el tamaño y la capacidad de generación necesarias para satisfacer las necesidades energéticas de los habitantes de la vivienda. Así, la precipitación regula la oferta de agua, mientras que la demanda define cuánta energía debe generarse.

Para garantizar un funcionamiento eficiente y sostenible, es crucial mantener un equilibrio adecuado entre la cantidad de agua recolectada y la energía demandada, asegurando así un rendimiento óptimo del sistema.

## **11.7 Material Superficie De Captación Y Coeficiente De Escorrentía:**

La selección del material para la superficie de captación es crítica para optimizar la eficiencia del sistema de recolección de aguas pluviales. En Turbo, donde las temperaturas elevadas y las condiciones climáticas extremas son comunes, se deben considerar materiales que ofrezcan resistencia a la corrosión, durabilidad, y economía. Entre los materiales disponibles, las tejas de arcilla y las tejas metálicas son las opciones más viables.

### **11.7.1 Tejas de Arcilla:**

Las tejas de arcilla presentan diversas variaciones en grosor, longitud y, lo más importante, porosidad. La porosidad de las tejas de arcilla influye directamente en el coeficiente de escorrentía, afectando la cantidad de agua que puede ser captada y almacenada. Además, la arcilla ofrece buenas propiedades térmicas, lo que contribuye a la regulación de la temperatura en la vivienda, aunque su peso y fragilidad pueden ser limitantes en ciertas aplicaciones.

### **11.7.2 Tejas Metálicas:**

Según Jansen Iberia (2022) las tejas metálicas, disponibles en distintos grosores, ofrecen una alta durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas diversas, como la corrosión. Materiales como el acero galvanizado y el acero inoxidable son particularmente

eficaces en ambientes de alta humedad, como Turbo, debido a su baja porosidad, lo que maximiza el coeficiente de escorrentía que para este material es de 0.9. Sin embargo, un desafío inherente a las tejas metálicas es su deficiente aislamiento acústico, lo que podría resultar en niveles elevados de ruido durante las lluvias intensas.

La elección del material de captación debe, por tanto, equilibrar la eficiencia en la recolección de agua con las consideraciones de durabilidad y su resistencia térmica. Estos factores son determinantes para garantizar el rendimiento a largo plazo del sistema de recolección de aguas pluviales en un entorno tan exigente como el de Turbo.

## **11.8 Sistemas De Almacenamiento De Energía**

Los sistemas de almacenamiento de energía son tecnologías fundamentales diseñadas para acumular energía y liberarla cuando se requiere, asegurando un equilibrio eficiente entre la generación y el consumo de electricidad. Estos sistemas permiten optimizar el uso de fuentes renovables, como la energía generada a partir del agua, permitiendo almacenar el excedente generado en momentos de baja demanda y liberarlo cuando la demanda sea mayor. Esto garantiza una mayor estabilidad y fiabilidad de la red eléctrica, al tiempo que promueve una gestión más sostenible y eficiente de los recursos energéticos, optimizando el aprovechamiento de fuentes renovables, que tienden a ser intermitentes, por esta razón a partir de AutoSolar (2020) se describen los tipos principales de baterías existentes en el mercado.

### **11.8.1 Batería de Plomo Acido Abierto**

Estos modelos de batería son los más simples y económicos, compuestos por seis celdas conectadas en serie, inmersas en ácido sulfúrico, lo que les proporciona una tensión nominal de 12V y una capacidad que varía entre 50 y 300 Ah. En su interior, los electrodos polarizados positiva y negativamente se alternan, mientras el ácido sulfúrico actúa como electrolito, facilitando la reacción química que genera la energía. Debido a su bajo costo, este tipo de batería es ampliamente utilizado en instalaciones aisladas de pequeño tamaño. Sin embargo, su durabilidad es limitada en comparación con otras tecnologías, y requieren mantenimiento periódico para asegurar un rendimiento óptimo.

### **11.8.2 Batería de AGM**

Las siglas AGM significan Absorbed Glass Mat (estera de vidrio absorbido), una tecnología que utiliza una malla de fibra de vidrio para retener el electrolito, manteniéndolo en contacto constante con las placas de plomo, en lugar de estar sumergidas en líquido como en

las baterías de plomo-ácido tradicionales. Una de sus principales ventajas es que no requiere mantenimiento, gracias a su diseño sellado, lo que le permite soportar un mayor número de ciclos y operar sin emisiones durante su funcionamiento. Esto la hace ideal para instalaciones más exigentes. Además, las baterías AGM ofrecen una mayor vida útil y están disponibles en una amplia variedad de formatos, con capacidades que van desde 7 Ah hasta 300 Ah.

### **11.8.3 Batería de Gel**

Las baterías de gel son muy similares a las baterías AGM en cuanto a características y prestaciones, pero ofrecen ventajas adicionales. Su electrolito está en estado gelificado, lo que las hace completamente selladas, libres de mantenimiento y, al igual que las AGM, no emiten gases nocivos, lo que permite su instalación en espacios con poca ventilación. Además, las baterías de gel tienen una mayor capacidad para soportar un mayor número de ciclos de descarga en comparación con las AGM, lo que las convierte en una opción más duradera, aunque también más costosa. Son comunes en el formato monoblock y tienen capacidades que van desde 7 Ah hasta 300 Ah, ofreciendo una mayor durabilidad y fiabilidad en aplicaciones exigentes.

### **11.8.4 Baterías Estacionarias**

Las baterías estacionarias se destacan por su larga durabilidad en sistemas de almacenamiento de energía. Existen dos tipos principales: las de placa plana y las de placa tubular. Las baterías de placa plana tienen un ciclo de vida más corto, mientras que las de placa tubular pueden alcanzar hasta 3,000 ciclos, lo que las convierte en una opción mucho más duradera. Ambas suelen presentarse en vasos unitarios de 2 y 6 voltios, por lo que es necesario conectar varias unidades en serie para alcanzar voltajes comunes de 12V, 24V o 48V, utilizados en instalaciones aisladas.

Entre los tipos más comunes se encuentran las baterías de plomo-ácido abiertas, que contienen electrolito líquido y requieren mantenimiento periódico, y las baterías OPzV (gel), que son libres de mantenimiento y ofrecen una mayor cantidad de ciclos de vida, lo que las hace ideales para instalaciones solares de mediano y gran tamaño.

Se pueden encontrar en los siguientes formatos:

- 2 voltios, con capacidades entre 150 y 4,500 Ah.
- 6 voltios, con capacidades entre 200 y 600 Ah.

Gracias a su alta durabilidad y bajo mantenimiento, las baterías estacionarias de placa tubular, especialmente las OPzV, son las más recomendadas para proyectos de energía solar de alto rendimiento, ofreciendo un equilibrio ideal entre fiabilidad y longevidad.

#### **11.8.5 Baterías de Litio**

Las baterías de litio están cobrando un papel cada vez más destacado en los sistemas fotovoltaicos debido a su alta densidad energética y su ligereza en comparación con otras tecnologías a igual capacidad. Estas baterías ofrecen una durabilidad superior gracias a su configuración de celdas avanzadas, y están diseñadas para ser conectadas en paralelo, lo que facilita su expansión en sistemas de mayor envergadura. Es común encontrarlas en modelos de 24V y 48V para instalaciones aisladas, y hasta 500V en instalaciones solares de autoconsumo con acumulación.

Una de las mayores ventajas de las baterías de litio es que no sufren el efecto memoria, y son mucho más resistentes a las descargas profundas, problemas que afectan a las baterías de plomo. Estas baterías ofrecen más de 6,000 ciclos de vida y suelen venir con garantías de hasta 10 años, lo que compensa con creces su mayor costo inicial.

Otro de sus beneficios es su flexibilidad: muchos modelos tienen un diseño modular, lo que permite ampliar el sistema fácilmente si las necesidades energéticas aumentan. Además, no requieren mantenimiento ni emiten gases, lo que las hace seguras para su instalación en espacios cerrados sin ventilación. Con su alta durabilidad, bajo mantenimiento y facilidad de expansión, las baterías de litio representan una inversión sólida y de largo plazo en sistemas fotovoltaicos.

### **11.9 Sistema De Bombeo**

El sistema de bombeo es un conjunto de equipos diseñados para mover el agua captada desde el punto de almacenamiento (tanque) hacia los diferentes espacios de la vivienda, así como para alimentar las microturbinas. Este proceso se lleva a cabo mediante una bomba que impulsa el agua con la presión adecuada, garantizando un suministro constante y eficiente, teniendo diferentes funciones de suma importancia:

#### **11.9.1 Distribución del agua**

Este proceso permite trasladar el agua desde el tanque de almacenamiento hacia los puntos de consumo en la vivienda, como el baño, la cocina y el lavadero. La distribución

eficiente del agua asegura que cada área reciba el suministro necesario, optimizando así el uso del recurso.

### **11.9.2 Alimentación de la microturbina**

La alimentación de la microturbina impulsa el agua almacenada con una presión necesaria para el correcto funcionamiento de las microturbinas, generando energía eléctrica a partir de la producción del flujo de agua.

### **11.9.3 Equilibrio de la presión**

Mantener el equilibrio de la presión de manera constante garantiza un sistema de agua funcional, esto específicamente en las viviendas que dependen del agua lluvia como fuente primaria.

### **11.9.4 Sostenibilidad**

Al generar la integración del sistema de captación de agua lluvia, el sistema de bombeo contribuye a la autosuficiencia del recurso del agua y energía de la vivienda, reduciendo la dependencia absoluta a las redes de servicios públicos.

### **11.9.5 Tipos de Bombas**

Existen diversos tipos de bombas hidráulicas, cada una diseñada con características y mecanismos de funcionamiento específicos que las hacen más adecuadas para distintas aplicaciones. Según Debem (2022), las bombas se clasifican en varias categorías principales, cada una con ventajas particulares en función del tipo de fluido a bombear, la presión requerida y las condiciones operativas.

Las bombas centrífugas, por ejemplo, son ampliamente utilizadas para mover grandes volúmenes de líquidos a baja presión, siendo ideales para sistemas de distribución de agua en viviendas y edificaciones. Por otro lado, las bombas de desplazamiento positivo, como las bombas de diafragma o de pistón, son recomendadas para aplicaciones donde se requiere un control más preciso del caudal o para manejar fluidos más viscosos o que contengan sólidos.

También se encuentran las bombas de tornillo y de engranajes, comúnmente empleadas en la industria por su capacidad de manejar fluidos con diferentes grados de viscosidad sin perder eficiencia. Las bombas sumergibles, otro tipo importante, son utilizadas en sistemas de extracción de agua subterránea o en pozos, siendo muy útiles en áreas rurales o en viviendas que dependen de fuentes hídricas externas.

Cada tipo de bomba tiene características que la hacen más adecuada para determinados usos, y la selección de la bomba correcta para un proyecto dependerá de factores como la cantidad de agua a manejar, la altura de elevación, el tipo de fluido y las condiciones del entorno. Por tanto, para sistemas de captación y distribución de agua en viviendas rurales, se debe analizar cuidadosamente cuál es la bomba más adecuada para garantizar una operación eficiente y duradera.

## 12 Cálculos para el diseño

### 12.1 Calculo Proporciones Del Tanque

Para determinar el volumen necesario de almacenamiento en el tanque de agua, se utilizó la base de datos de precipitaciones del IDEAM para el municipio de Turbo, con un registro histórico desde 1978, abarcando casi 47 años de datos. Este análisis permite estimar la cantidad de agua que puede recolectarse por metro cuadrado de techo y, con ello, calcular tanto la oferta de agua como la capacidad requerida del tanque para cubrir un área de captación determinada.

Los datos adicionales necesarios para el cálculo incluyen el coeficiente de escorrentía de la teja metálica, el número de habitantes de la vivienda, el área de captación del techo, la precipitación promedio mensual y la dotación de agua potable per cápita, todos estos valores se presentan en la Tabla 4.

Datos:

- Número de usuarios: 6 Personas.
- Coeficiente de escorrentía: 0.9
- Área de captación: 78.97 m<sup>2</sup>
- Precipitación promedio mensual (enero): 92.85 lt/m<sup>2</sup>
- Dotación de agua potable: 100lt/per\*día

El primer paso es calcular la dotación de agua requerida por persona, considerando las actividades domésticas que pueden llevarse a cabo con el agua recolectada. De las 11 actividades identificadas en una vivienda, 6 pueden realizarse con agua de lluvia, representando un 54.55% del total, lo que reduce la dotación de agua a 54.55 lt/persona/día.

Se procede con la determinación de la demanda de agua en la vivienda, a partir de la dotación asumida, y el número de días del mes analizado, todo esto haciendo uso de la siguiente formula:

$$D_i = \frac{N_u * N_d * D_{ot}}{1000}$$

Donde:

- $N_u$ : número de usuarios que se benefician del sistema.
- $N_d$ : número de días del mes analizado

- $D_{ot}$ : dotación (L/personaxdía)
- $D_i$ : demanda mensual ( $m^3$ )

Para enero:

$$D_{Enero} = \frac{6per * 31día * 55 \text{ lt/per} * día}{1000}$$

$$D_{Enero} = 10.23m^3$$

Lo que prosigue es determinar la oferta de agua en el mes, para lo cual se hace uso de la siguiente formula:

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Donde:

- $P_{pi}$ : precipitación promedio mensual (litros/ $m^2$ )
- $C_e$ : coeficiente de escorrentía
- $A_c$ : área de captación ( $m^2$ )
- $A_i$ : Oferta de agua en el mes "i" ( $m^3$ )

Para enero:

$$A_{Enero} = \frac{92.85 \frac{lt}{m^2} * 0.9 * 78.97m^2}{1000}$$

$$A_{Enero} = 6.60m^3$$

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y la oferta mensual de agua de lluvia. A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda para de esta forma determinar el volumen del tanque.

$$V_{Enero}(m^3) = A_{Enero}(m^3) - D_{Enero}(m^3)$$

$$V_{Enero}(m^3) = 6.60m^3 - 10.23m^3$$

$$V_{Enero}(m^3) = -3.63m^3$$

Según este cálculo podemos determinar que para el mes de enero tenemos una deficiencia de  $3.63m^3$  por lo cual se debe de suplir con alguno de los meses que tienen mejor oferta, para esto se realiza el mismo cálculo con cada uno de los meses, el cual podemos ver en la columna "VOLUMEN DEL TANQUE ( $m^3$ )" de la Tabla 5, ya con estos datos procedemos a realizar la suma de los meses con deficiencias entre la oferta y la demanda, ya que al estar uno

consecuente del otro se deben sumar para ver qué cantidad de agua se necesita recolectar para subsistir durante aquellos meses, dichos valores serían los siguientes:

$$V_{Enero}(m^3) = -3.63m^3$$

$$V_{Febrero}(m^3) = -4.96m^3$$

$$V_{Marzo}(m^3) = -3.13m^3$$

$$V_{Tanque}(m^3) = |V_{Enero}(m^3) + V_{Febrero}(m^3) + V_{Marzo}(m^3)|$$

$$V_{Tanque}(m^3) = |-3.63m^3 - 4.96m^3 - 3.13m^3|$$

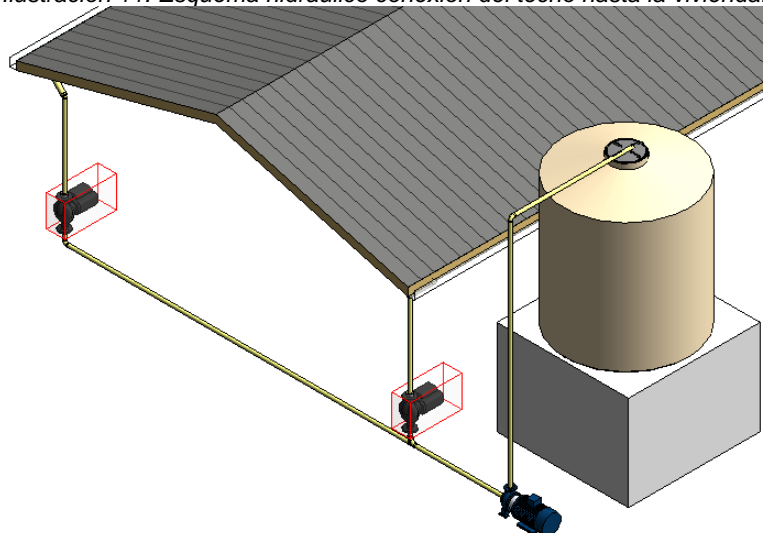
$$V_{Tanque}(m^3) = |-11.72m^3| = 11.72m^3 \approx 12m^3$$

Por lo tanto, el tanque debería tener una capacidad aproximada de  $12 m^3$  para abastecer durante los meses de déficit.

## 12.2 Cálculos de pérdidas en tubería

Como guía inicial para la elaboración de los cálculos se tomó en cuenta lo escrito por Cengel & Cimbala (2012), y de este mismo modo, en la Ilustración 11 podemos observar cómo es la distribución y las medidas de las tuberías desde la conexión con la canaleta hasta el ingreso nuevamente a la vivienda.

Ilustración 11. Esquema hidráulico conexión del techo hasta la vivienda.



Fuente: Propia.

Los datos que necesitamos inicialmente son: Precipitación promedio por segundo, área de techo, que para nuestro caso sería la mitad del área de techo, los diámetros de las tuberías

a usar, coeficiente de fricción del material a utilizar, la cantidad de uniones, coeficientes de pérdida de cada una de ellas, y a partir de estos datos podremos calcular inicialmente el caudal del sistema, la velocidad promedio en cada tipo de tubería, las pérdidas por fricción en tuberías y las pérdidas menores por accesorios, bombas y microturbinas.

Los datos iniciales se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. Información inicial cálculos pérdidas por tubería.

<b>PRECIP. PROM. (L/m<sup>2</sup>s)</b>		8.55E-05
<b>ÁREA TECHO (m<sup>2</sup>)</b>		39.49
<b>DIÁMETRO TUBERÍA DE 1" (m)</b>		0.0254
<b>DIÁMETRO TUBERÍA DE 2" (m)</b>		0.0508
<b>DIÁMETRO TUBERÍA DE 3" (m)</b>		0.0762
<b>DIÁMETRO TUBERÍA DE 4" (m)</b>		0.1016
<b>FACTOR DE FRICCIÓN (f)</b>		0.0119
<b>REDUCCIÓN 4" - 2"</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	2.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.20
<b>REDUCCIÓN 3" - 2"</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	2.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.13
<b>REDUCCIÓN 2" - 1"</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	1.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.20
<b>YEE</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	1.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.80
<b>CODO YEE</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	1.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.40
<b>VALCULA DE COMPUERTA</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	1.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	0.20
<b>MICROTURBINA GRANDE</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	2.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	1.01
<b>MICROTURBINA PQÑA.</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	2.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	1.00
<b>BOMBA</b>	<b>CANT. UNIONES</b>	1.00
	<b>COEF. PÉRDIDA (k)</b>	1.00

Fuente: propia.

Se calculará primero la pérdida por fricción entre los accesorios que manejan la misma velocidad, en este caso se dividirán en 2 secciones, antes de la bomba y después de la bomba, para los accesorios pertenecientes a la primera sección se toma como promedio la velocidad de las tuberías de 2" como principal participante en toda la sección y para la segunda sección se toma como velocidad promedio aquella de las tuberías de 1".

$$\sum_i f_i \frac{L_i V_i^2}{D_i 2g} + \sum_j K_{L,j} \frac{V_j^2}{2g}$$

Primera sección:

Para los accesorios reducción 4"-2", 3"-2" y 2"-1", yee y codo yee se tomará la medida de velocidad de 2", por lo tanto, el procedimiento será el siguiente:

$$h_{\text{accesorios de 2''}} = ((0.2 * 2) + (0.13 * 2) + (0.2 * 1) + (0.8 * 1) + (0.4 * 1)) * \left(\frac{1.67^2}{2 * 9.81}\right)$$

$$h_{\text{accesorios de 2''}} = 0.29$$

Para la válvula de compuerta se tomará la medida de velocidad de 1", por lo tanto, el procedimiento será el siguiente:

$$h_{\text{accesorios de 1''}} = 0.2 * \left(\frac{6.66^2}{2 * 9.81}\right)$$

$$h_{\text{accesorios de 1''}} = 0.45$$

Para las pérdidas mayores por fricción en tuberías se tomaron las distintas velocidades, distintos diámetros y distintas longitudes, por lo tanto, la formula quedo de la siguiente manera:

$$h_{\text{tuberías}} = \frac{f}{2g} * \sum \frac{L * V^2}{D}$$

$$h_{\text{tuberías}} = \frac{0.0119}{2(9.81)} * \left(\frac{6 * 6.66^2}{0.03} + \frac{11.1 * 1.67^2}{0.05} + \frac{2 * 0.74^2}{0.08}\right)$$

$$h_{\text{tuberías}} = 6.065E^{-4} * (11109.56)$$

$$h_{\text{tuberías}} = 6.74$$

La suma hasta este momento de las pérdidas de energía equivalente a  $h_L=7.19\text{m}$

Para calcular las pérdidas por las microturbinas y la bomba conectada se recurre a la ecuación de la energía, de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{\text{bomba,u}} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{turbina,e}} + h_L$$

Para los puntos de referencia de la ecuación de la energía se tomarán la parte superior del tanque y la parte más alta de la cubierta, por lo tanto, se despreciarán las presiones que en

dichos lugares es igual a cero, y en el mismo sentido, al ser áreas tan amplias la velocidad también tiende a cero; por lo tanto, la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$z_{techo} + h_{bomba} = z_{tanque} + h_{turbina} + h_L$$

Como información extra para resolver esta fórmula tenemos que la altura al punto más alto de la canaleta es  $z_{techo} = 3\text{m}$  y la distancia al punto más alto del tanque es  $z_{tanque} = 4.26\text{m}$ , reemplazando los datos que tenemos en la fórmula y generando que quede de la siguiente manera:

$$h_{bomba} - h_{turbina} = -3 + 4.26 + 7.19$$

$$h_{bomba} - h_{turbina} = 8.45\text{m}$$

Una de las reglas de la fórmula de la energía es que debe estar equilibrada, por este motivo se puede deducir que la potencia suministrada por la bomba debe superar las pérdidas totales de energía en el sistema en 8.45m de columna de agua.

### 12.3 Cálculo de energía suministrada

Con puntos álgidos en las lluvias en el municipio de Turbo podemos decir que hay meses en los que la microturbina trabajará todo el día y en otros en los que no trabajará casi, en este sentido, poniendo un promedio de 8 horas diarias en las que la turbina estará en funcionamiento, y con una potencia de 1000 vatios, y que según Cengel & Cimbala (2012) el promedio de eficiencia de estas rondan entre el 50% y el 85% podemos deducir que por esta microturbina ser de alto rendimiento se aplica una eficiencia del 85% pasando así de generar 1000 vatios a 850 vatios; de este modo por medio del cálculo de producción de energía y tomando en cuenta la eficiencia de la bomba.

Para iniciar con el cálculo del suministro de energía, se utilizó la fórmula para hallar la potencia mecánica producida en el eje de la turbina:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

- P: Potencia mecánica producida en el eje de la turbina (vatios).
- $\eta$ : Eficiencia hidráulica de la turbina.
- $\rho$ : Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- G: Aceleración debida a la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
- Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- H: Altura de caída (m).

$$P = 0.85 \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3.38E - 03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3\text{m}$$

$$P = 84.30W$$

Para la producción de energía de 84.3W para la microturbina Aecorbir (AC) y un máximo de 10W para la microturbina Watris Veiyi (WV) multiplicado por las 8 horas promedio de trabajo de la microturbina, se tendrá una producción efectiva de:

$$\text{Producción energética} = \text{Potencia}_{\text{microturbina-AC}} * \text{tiempo de trabajo}$$

$$PE_{\text{Diaria}} = 84.30W * 8\text{horas}$$

$$PE_{\text{Diaria}} = 674.4Wh$$

$$\text{Producción energética} = \text{Potencia}_{\text{microturbina-WV}} * \text{tiempo de trabajo}$$

$$PE_{\text{Diaria}} = 10W * 8\text{horas}$$

$$PE_{\text{Diaria}} = 80Wh$$

Teniendo esta producción diaria procedemos a verificar cual sería la producción mensual, tomando como base la cantidad de 30 días como un mes.

$$PE_{\text{MensualAC}} = 674.4Wh * 30 \text{ días}$$

$$PE_{\text{MensualAC}} = 20.23kWh$$

$$PE_{\text{MensualWV}} = 80Wh * 30 \text{ días}$$

$$PE_{\text{MensualWV}} = 2.4kWh$$

Teniendo estos cálculos se encontrará la producción energética total sabiendo que tendremos dos microturbinas Aecorbir y una Watris Veiyi, la producción total para la vivienda será:

$$PE_{\text{Total}} = (2 * PE_{\text{MensualAC}}) + PE_{\text{MensualWV}}$$

$$PE_{\text{Total}} = (2 * 20.23kWh) + 2.4kWh$$

$$PE_{\text{Totalmensual}} = 42.86kWh$$

$$PE_{\text{Totaldiario}} = 1.43kWh$$

Esto se puede reducir a que necesitamos una batería de al menos 1430 Wh para vivir 1 día, y para la vivienda mínimamente una de 3 días con una capacidad de 4290 Wh, teniendo en cuenta que la batería a utilizar es de litio, la cual posee una profundidad de descarga del 90%, provocando así que el valor necesario para la vivienda será de 4770Wh, lo que equivale en un sistema de 24 voltios a 199 Ah.

Teniendo en cuenta que una bombilla led promedio consume una cantidad de 5w, que se tiene un consumo promedio de 6 horas diarias, y la vivienda tiene un total de 10 bombillas, se realiza el cálculo aproximado del consumo de las bombillas de la siguiente manera:

$$\text{Consumo mensual de las bombillas} = 10\text{bombillas} * 5W * 6 h$$

$$\text{Consumo diario de las bombillas} = 0.3kWh$$

Con este cálculo se puede determinar que el sistema puede abastecer totalmente la iluminación de la vivienda y tendrá más energía para los aparatos electrónicos de uso doméstico.

## 13 Diseño

### 13.1 Bases Del Diseño

Para iniciar el diseño del sistema de captación, almacenamiento y distribución de aguas lluvias, es fundamental realizar un análisis técnico detallado que incluya diversos aspectos clave, como:

- Selección del tipo de vivienda que influye directamente en el diseño del sistema de captación y distribución.
- Material de construcción de la superficie de captación, que puede influir en el coeficiente de escorrentía y, por ende, en la eficiencia del sistema.
- Cantidad de personas que habitan la vivienda, lo que impacta directamente en la demanda de agua mensual y la capacidad de almacenamiento requerida.
- Demanda de agua en función de los estándares de consumo de la zona rural y del número de habitantes, que permitirá dimensionar adecuadamente el sistema de almacenamiento y distribución.
- Precipitación histórica de la zona, abarcando un período mínimo de 10 años para obtener un estudio hidrológico concluyente que permita comprender las variaciones anuales en el régimen de lluvias.

#### 13.1.1 Selección de la vivienda:

La vivienda que cumple con todos los parámetros esenciales es la VRSC2 con un área total construida de 55.55 (m<sup>2</sup>) con un valor por m<sup>2</sup> de \$654.653 teniendo un valor de la vivienda de \$36.365.988 sin incluir los gastos del sistema de recolección de aguas lluvias e instalación de las microturbinas.

La vivienda presentada en la Ilustración 6, fue seleccionada principalmente por su distribución física, que conecta de manera eficiente las áreas de uso de agua, como la cocina, el baño y el lavadero. Esta configuración no solo optimiza el acceso a estos espacios, sino que también permite un diseño más sencillo y efectivo del sistema de recolección de agua lluvia. Esta agua será destinada para usos domésticos, como el lavado de ropa, la limpieza y el riego de jardines, entre otras actividades que no requieren agua potable.

Este enfoque contribuye a una reducción significativa en los costos de consumo de agua potable, promoviendo un uso más sostenible de este recurso y aliviando la presión sobre las fuentes de suministro convencionales.

En cuanto a la eficiencia energética, la energía generada por el sistema no será suficiente para abastecer completamente las necesidades energéticas de la vivienda. Sin embargo, se destinará principalmente a alimentar dispositivos de bajo consumo energético, como bombillas LED y otros aparatos de baja carga. Esta estrategia permitirá a los residentes disfrutar de ahorros en su factura eléctrica, lo que contribuye a la sostenibilidad del hogar.

Aunque este sistema no reemplazará por completo el suministro energético convencional, su implementación ofrece una alternativa viable que complementa el uso de la red eléctrica. Al integrar tecnologías de energía renovable y prácticas de conservación del agua, la vivienda se alinea con las tendencias globales hacia una sostenibilidad integral, promoviendo un estilo de vida más responsable y respetuoso con el medio ambiente.

### **13.1.2 Material Superficie De Captación:**

En primer lugar, se seleccionaron las tejas metálicas como material para la superficie de captación debido a sus propiedades superiores en términos de durabilidad y resistencia, lo que las convierte en una opción ideal para enfrentar las condiciones climáticas adversas del municipio de Turbo, Antioquia. Aunque su costo inicial es mayor en comparación con otros materiales, su resistencia a la corrosión y su capacidad de maximizar el coeficiente de escurrimiento las hacen una opción eficiente a largo plazo. Además, aunque presentan un bajo aislamiento acústico, este inconveniente puede ser mitigado mediante la implementación de aislantes adicionales, que no representan un costo elevado en relación con los beneficios aportados por las tejas metálicas.

El área de captación del sistema se ha calculado considerando no solo el área total del techo de la vivienda, sino también una extensión adicional que sobresale de la fachada, alcanzando un área total de 78,97 m<sup>2</sup>. Esta área es clave para determinar la cantidad de agua que puede ser captada durante las lluvias y almacenada en el sistema, lo cual influye directamente en la eficiencia y capacidad del diseño.

### **13.1.3 Cantidad De Personas Que Habitan En Una Vivienda:**

Por otro lado, en cuanto al número de beneficiarios, se ha considerado que las viviendas de interés social rural (VISR) están diseñadas para alojar un máximo de seis personas. Dado que el diseño del sistema se plantea bajo las peores condiciones posibles de precipitación y demanda, se ha medido el consumo promedio diario en función de las actividades domésticas que requieren agua, distinguiendo aquellas que pueden prescindir de agua potable. Esta información, como se evidencia en la Tabla 3, se ha contrastado con los

patrones de consumo común, lo que permite obtener una estimación más realista del volumen de agua requerido por persona.

Tabla 3. Porcentaje de actividades domésticas que necesitan de agua potable.

ACTIVIDAD		CHECK	% CHECK
LAVAR LOSA	REMOJAR	<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
	ENJUAGAR	<input type="checkbox"/>	0.0%
BEBER AGUA		<input type="checkbox"/>	0.0%
COCINAR		<input type="checkbox"/>	0.0%
LIMPIAR LA CASA		<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
BAÑARSE	REMOJAR	<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
	ENJUAGAR	<input type="checkbox"/>	0.0%
LAVAR MANOS	REMOJAR	<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
	ENJUAGAR	<input type="checkbox"/>	0.0%
INODORO		<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
REGAR MATAS		<input checked="" type="checkbox"/>	9.1%
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>	<b>54.5%</b>
<b>CONSUMO SEGÚN %</b>			<b>54.55</b>

Fuente Propia

#### 13.1.4 Demanda de agua

En la Tabla 4, se ha compilado toda la información anterior, sirviendo como base para determinar el volumen del tanque de almacenamiento. El consumo promedio por persona según Minvivienda & Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico Sistemas de Acueducto (2010) es de 100 litros por persona por día (Lt /Per. /Día), y esta ha sido dividida entre las actividades que se pueden desarrollar, con un 54.55% esta ha sido calculada en 54,55 litros por persona por día (Lt /Per. /Día), según los resultados de las tablas previas. Sin embargo, para garantizar un margen de seguridad en el diseño y evitar dimensionar el sistema sobre un mínimo absoluto, se ha redondeado el valor al múltiplo de cinco superior más cercano, es decir, 55 litros por persona por día. Este enfoque permite asegurar que el sistema de captación y almacenamiento sea capaz de satisfacer la demanda hídrica, incluso en escenarios de baja precipitación, garantizando la seguridad hídrica de los habitantes a lo largo del año.

Tabla 4. Conglomerado de datos para el volumen del tanque.

DEMANDA DOCUMENTO (Lt/Pers./Dia)	PERSONAS	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	AREA DE CAPTACIÓN (m <sup>2</sup> )	DEMANDA REAL (Lt/Pers./Dia)
100.00	6.00	0.90	78.97	55.00

Fuente: Propia

Este proceso de diseño asegura que se tomen en cuenta tanto las condiciones climáticas locales como las necesidades de consumo de agua, ofreciendo una solución sostenible y adaptada a las características particulares del entorno rural en Turbo.

### 13.1.5 Precipitación histórica

Para obtener datos precisos sobre la precipitación histórica, se utilizó la información disponible en la página de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos del IDEAM. Específicamente, se seleccionó la estación pluviométrica 12010120 Santa Martha, ubicada en el municipio de Turbo, Antioquia. Esta estación ha estado en operación desde el 15 de julio de 1977 y se encuentra en las coordenadas latitud 7.92 y longitud -76.65, a una altitud de 21 metros sobre el nivel del mar (MSNM).

Con los datos obtenidos de esta estación, se procedió a generar una tabla dinámica que permitió extraer las precipitaciones promedio diarias, mensuales y anuales. Este análisis permitió identificar el mes con menor precipitación, dado que el sistema de captación fue diseñado bajo las condiciones más desfavorables para asegurar su rendimiento en todo el año.

Como se observa en la Tabla 5, el mes con mayor precipitación es mayo con un promedio mensual de 323.15mm, mientras que el mes con menor precipitación es febrero, con un promedio mensual de 60.27 mm. Este último fue el mes de referencia para el diseño del sistema, ya que presenta las condiciones más críticas en cuanto a disponibilidad de agua.

Tabla 5. Caudal, Precipitación, Demanda y Oferta mensual en Turbo.

MES	CAUDAL MEDIO DIARIO (m³/s)	CAUDAL MEDIO DIARIO (l/min)	PRECIPITACIÓN MENSUAL (L/m²)	PRECIPITACIÓN POR SEGUNDO (L/m²*s)	DEMANDA MENSUAL (m³)	OFERTA MENSUAL (m³)	VOLUMEN DEL TANQUE (m³)
enero	2.04	33.97	92.85	3.58E-05	10.23	6.60	-3.63
febrero	1.01	16.79	60.27	2.33E-05	9.24	4.28	-4.96
marzo	1.84	30.74	99.90	3.85E-05	10.23	7.10	-3.13
abril	4.13	68.88	240.27	9.27E-05	9.90	17.08	7.18
mayo	8.04	133.98	323.15	1.25E-04	10.23	22.97	12.74
junio	7.64	127.28	290.24	1.12E-04	9.90	20.63	10.73
julio	6.66	111.04	260.43	1.00E-04	10.23	18.51	8.28
agosto	5.44	90.63	277.57	1.07E-04	10.23	19.73	9.50
septiembre	5.84	97.32	261.50	1.01E-04	9.90	18.59	8.69
octubre	6.81	113.52	277.83	1.07E-04	10.23	19.75	9.52
noviembre	3.46	57.63	282.41	1.09E-04	9.90	20.07	10.17
diciembre	4.43	73.75	193.36	7.46E-05	10.23	13.74	3.51
<b>TOTAL</b>	<b>4.78</b>	<b>79.63</b>	<b>221.65</b>	<b>8.55E-05</b>	<b>10.04</b>	<b>15.75</b>	<b>80.31</b>
							<b>11.72</b>

Fuente: Propia; Datos tomados de IDEAM (2024) y Calculo de Consumo de Agua (2014)

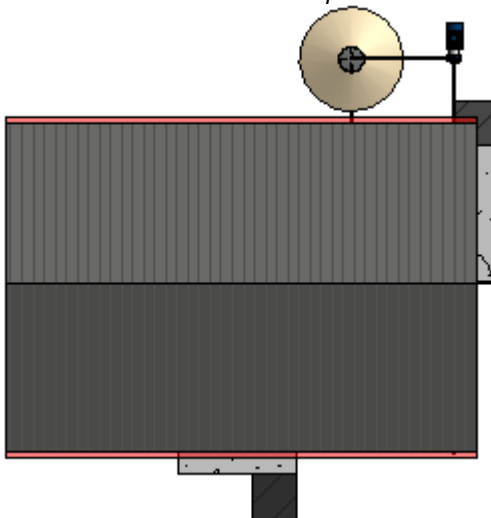
A partir del análisis de los datos de precipitación y el cálculo de la oferta hídrica obtenida mediante la superficie de captación (área del techo) y el coeficiente de escorrentía del material seleccionado, se procedió a determinar la cantidad de agua disponible para la recolección. En este proceso se consideraron tanto la capacidad del sistema de captación como la demanda hídrica de la vivienda, que está diseñada para albergar a seis personas. Estos factores permitieron establecer los parámetros para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento, ajustando no solo a la demanda diaria de los habitantes, sino también a las fluctuaciones climáticas que afectan la disponibilidad de agua a lo largo del año.

## 13.2 Sistema De Captación Y Distribución

### 13.2.1 Sistema de captación:

El sistema de captación estará basado en el uso del techo de la vivienda como plataforma principal para canalizar el agua lluvia de manera eficiente. Este diseño aprovechará la inclinación del techo para dirigir el agua hacia un conjunto de canaletas estratégicamente instaladas en los bordes de la estructura como se puede notar en las líneas rojas de la Ilustración 12. Estas canaletas estarán equipadas con rejillas de filtrado, cuya función será retener hojas, escombros y otras impurezas, evitando así que lleguen al sistema de conducción y puedan afectar el correcto funcionamiento de las microturbinas instaladas en el sistema.

*Ilustración 12. Sistema de recolección para la vivienda VRSC2.*



*Fuente: Propia*

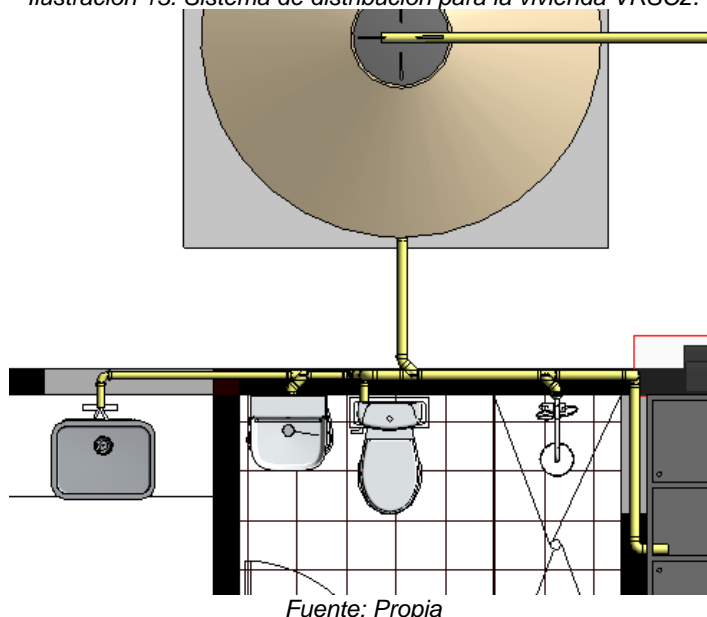
El enfoque de este sistema de captación es sencillo y práctico, diseñado para ser económico, pero sin comprometer la funcionalidad. La simplicidad del diseño no solo facilita su instalación y mantenimiento, sino que también asegura que el agua recolectada se maneje de manera óptima para su posterior almacenamiento y uso. Las rejillas de filtrado también contribuirán a reducir la frecuencia de mantenimiento de las turbinas y a prolongar su vida útil, asegurando un flujo de agua limpio y continuo.

El objetivo de este sistema es garantizar un manejo eficiente del agua, maximizando su recolección durante las lluvias y asegurando que el agua recolectada sea adecuada tanto para el uso doméstico como para la generación de energía a través de las microturbinas. Además, la utilización de materiales accesibles y métodos de instalación simplificados permite que el sistema sea replicable en otras viviendas de interés social rural, fomentando la sostenibilidad y la autosuficiencia energética e hídrica en comunidades con recursos limitados.

### **13.2.2 Sistema de distribución:**

El sistema de distribución contará con una bomba hidráulica encargada de elevar el agua y almacenarla en el tanque, y la distribución se hará de manera eficiente por medio de gravedad a las diferentes áreas de la vivienda que requieren conexión al suministro de agua. La ubicación estratégica del tanque, situado en la parte posterior de la vivienda, facilita el proceso de distribución, ya que minimiza la distancia y optimiza el flujo hacia los puntos de consumo, tales como el baño, la cocina y las zonas de lavado; justo como se evidencia en la Ilustración 13.

Ilustración 13. Sistema de distribución para la vivienda VRSC2.



Fuente: Propia

La bomba hidráulica será seleccionada según la capacidad necesaria para garantizar un flujo constante y suficiente para satisfacer la demanda de agua en el hogar. Este sistema no solo permite una distribución equitativa del recurso hídrico, sino que también asegura que el agua recolectada sea utilizada de manera eficiente en todas las actividades domésticas. Además, se considerará la presión de agua adecuada en cada punto de consumo, para que el sistema funcione correctamente sin pérdidas o caídas de presión que afecten el uso cotidiano.

Este enfoque simplifica el proceso de instalación y reduce la necesidad de extensas tuberías, gracias a la cercanía del tanque con las áreas que necesitan suministro. Así mismo, la bomba hidráulica optimiza el uso del agua almacenada, garantizando que incluso en los meses de menor precipitación, el recurso esté disponible para todas las actividades domésticas. Este diseño de distribución contribuye a la sostenibilidad del sistema, maximizando el uso del agua captada y almacenada, y asegurando un suministro continuo para los habitantes de la vivienda, incluso en zonas rurales donde el acceso a agua potable puede ser limitado.

### 13.3 Selección Microturbina Hidráulica

Con base en los parámetros establecidos para el diseño del sistema de captación y distribución de agua, se ha decidido instalar un conjunto de 3 microturbinas, distribuidas entre dos marcas para garantizar un suministro eficiente y continuo de energía. El sistema contará con 2 microturbinas de la marca Aecorbir que cada una tiene un costo de \$1.500.000 para un subtotal de \$3.000.000, que proporcionarán la mayor parte de la energía necesaria para el

hogar, y 1 microturbina Watris Veiya con un costo de \$75.000, que actuará como soporte adicional y reserva en caso de periodos de alta precipitación, en total toda la parte de las microturbinas tienen un costo de \$3.075.000.

Este sistema de la combinación de las marcas y estilos de microturbina se escogió principalmente por la parte económica, de igual manera con respecto al rendimiento de las microturbinas de la marca Aecorbir cuentan con una muy buena recolección de energía, a diferencia de la microturbina Powerspout PLT 150/250 que tiene un costo demasiado elevado y un rendimiento similar a la microturbina Aecorbir que no justifica su elevado precio.

La distribución de las microturbinas se organizará de la siguiente manera:

- Las microturbinas Aecorbir se instalarán en la parte inferior de los bajantes, aprovechando la propulsión de la gravedad para generar energía a partir del flujo descendente del agua pluvial.
- En la línea de distribución que sale del tanque de almacenamiento, se instalarán la microturbina Watris Veiya, la cual operará utilizando la presión generada por la cantidad de agua del tanque. Este sistema de doble nivel asegura que, incluso en épocas de abundantes lluvias, el flujo de agua no se desperdicie, maximizando la generación de energía y garantizando un suministro energético ininterrumpido.

La combinación de estas microturbinas no solo optimiza la eficiencia del sistema, sino que también proporciona una solución redundante, lo que aumenta la fiabilidad energética del sistema, especialmente en comunidades rurales con acceso limitado a fuentes de energía convencionales. Además, el diseño permite que las microturbinas funcionen tanto de manera individual como complementaria, asegurando un balance entre el rendimiento energético y la capacidad de recolección de agua.

#### **13.4 Selección De Bomba**

Se ha seleccionado una bomba centrífuga de baja capacidad que cumple con los requisitos del sistema, el cual requiere una elevación de 5 m, un caudal de operación de entre 16.83 y 134 l/min, una viscosidad de 0.001 Pa·s y una temperatura de 20 °C. De acuerdo con la ficha técnica del catálogo de la marca Humboldt se selecciona la referencia 296065, la cual tiene las siguientes características de operación: altura máxima de 22 m, un caudal máximo de 110 l/min y puede operar con temperaturas de hasta 40 °C, ver Ilustración 14 y Anexo 1, lo cual asegura el cumplimiento de los parámetros del sistema de captación. Aunque el caudal del

sistema excede la capacidad máxima de la bomba, esta será adecuada para su funcionamiento. Según el análisis en la Tabla, durante los meses de menor precipitación, el sistema no experimentará pérdidas. En los meses de mayor precipitación, el exceso de caudal podría resultar en reboses y pequeñas pérdidas de agua; sin embargo, esto no comprometerá la oferta mensual de agua del sistema.

*Ilustración 14. Ficha técnica Electrobomba Centrifuga 1/2 hp.*

Ficha técnica	
Especificaciones	
Potencia	370 W
Voltaje	110 V
Amperaje	7.8
Profundidad máxima de aspiración	8 cm
Diámetro	1 pulgadas
Material	Metal y plástico
Caudal máximo	110 l/min
Uso	Básico
Garantía	3 años
Alimentación	Eléctrica
Altura máxima de elevación	8 m
Características	Gran caudal, alto rendimiento, diámetro 1 pulgada
Flujo de salida	2.8 m <sup>3</sup> /h

*Fuente: Homecenter (2024).*

En el Anexo 1 se muestra la curva de rendimiento hidráulico de la bomba seleccionada y se muestra la relación inversa entre el caudal y la altura de elevación: a medida que disminuye el caudal, la altura que la bomba puede alcanzar aumenta, lo que establece una relación directamente proporcional. Esta característica es fundamental para comprender el comportamiento de la bomba en distintas condiciones operativas.

En este caso en particular, junto con el cálculo de pérdidas en tubería, la altura que debe lograr la bomba es de 8.45m, en la cual la bomba puede lograr un caudal máximo de 110 l/min, lo que la hace adecuada para aplicaciones donde se requiera un flujo considerable a esta altura.

Por otro lado, cuando se eleva a 20 m, el caudal máximo se reduce a 30 l/min, reflejando la capacidad limitada de la bomba para mantener un alto flujo a mayores alturas. Este comportamiento es típico de las bombas centrífugas, donde el diseño y la eficiencia hidráulica juegan un papel crucial en el rendimiento.

El valor de mercado de este tipo de bombas es de \$516.900 pesos.

### 13.5 Selección De Cubierta

Se ha optado por una teja de cerramiento ondulado Aluzinc, diseñada para minimizar la pérdida de agua y reducir al máximo la infiltración, proporcionando una protección superior contra las filtraciones. En la Ilustración 15 se muestra el perfil de esta teja, cuya forma ondulada y material de alta resistencia aseguran un rendimiento óptimo incluso en condiciones climáticas exigentes.

*Ilustración 15. Teja de cerramiento ondulado Aluzinc*



*Fuente: Homecenter (2024)*

La cubierta metálica seleccionada tiene un espesor de 0.13 mm, lo que le confiere ligereza, resistencia y facilidad de instalación. Cada lámina tiene unas dimensiones de 3 m de largo por 0.8 m de ancho, lo cual permite calcular de manera precisa la cantidad de material y el costo de adquisición.

Para cubrir una superficie de 10.6 X 7.8 m, y considerando un traslape de 25 cm entre láminas, se requieren aproximadamente 15.14 láminas a lo ancho y 3 a lo largo, cubriendo un área de 45.42 m<sup>2</sup>. Redondeando para evitar faltantes, se necesitarán 46 láminas en total.

Con un precio unitario de \$22,800 por lámina, el costo total del material de la cubierta es de \$1,048,800. Esta inversión asegura una instalación completa, precisa y sin excedentes significativos.

### 13.6 Selección De Canal

En el proceso de selección del canal de recolección, se seleccionó al distribuidor Pavco. Como se muestra en la Ilustración 16, se optó por el canal Amazonas blanco de 3 metros, requiriéndose 7 unidades para cubrir la totalidad del sistema, el paquete por 4 unidades tiene un costo de \$137.283, requiriendo la cantidad de 2 paquetes, lo que representa un subtotal de \$274.566. Además, se incluyen 6 uniones de canal Amazonas, con un precio por el paquete de 25 unidades de \$27.246, con un costo total de \$6.539 por las 6 unidades. Para la conexión con el sistema de bajantes, se utilizaron dos uniones canal a bajante Amazonas, con un costo por paquete de 10 unidades a \$36.745, con un costo total de \$7.349 por las 2 unidades, junto con dos adaptadores de bajante agua de 3", con un costo por paquete de 20 unidades a \$10.312, con un costo total de \$1.031 por las 2 unidades, se le adicionan dos tapas exteriores izquierda y dos derechas sin cambiar el costo final. El costo final de los componentes para el sistema asciende a \$288.455 pesos.



*Fuente: Pavco Wavin (2024).*

### 13.7 Selección De Tubería

En la selección de tuberías se tuvo en cuenta el diámetro de entrada y de salida de la microturbina que es de 2 y 4 pulgadas (in) respectivamente, además también se tuvo en cuenta el diámetro de entrada y de salida de la bomba que es de 1 in, para este proceso se determinó escoger la marca de Pavco, puesto que es un distribuidor bastante conocido en Colombia y cuenta con todos los diámetros y especificaciones necesarios, además de contar con las familias BIM para el diseño del sistema.

De acuerdo con el catálogo de se seleccionaron las siguientes referencias de tuberías:

Ilustración 17. Tuberías para el sistema de recolección.



Fuente: Pavco Wavin

Para el proyecto, se especifica el uso de tubería de 3 pulgadas de diámetro exterior con una longitud requerida de 2 metros. Considerando que las longitudes comerciales disponibles en el mercado son de 1, 3 y 6 metros, se selecciona una tubería de 3 pulgadas con la longitud de 2 metro a un costo unitario de \$33,900.

Adicionalmente, se requiere tubería de 2 pulgadas de diámetro en una longitud total de 11 metros. Para cumplir con esta especificación, se adquieren dos tramos de 6 metros, cada uno con un valor unitario de \$99,900, lo que genera un costo total de \$199,800 para este diámetro.

Finalmente, se selecciona tubería de 1 pulgada de diámetro en un tramo de 6 metros como se muestra en la Ilustración 11, con un precio unitario de \$31,900.

El costo acumulado de las tuberías asciende a \$265,600, excluyendo accesorios. Para completar el sistema, se incorporan 7 accesorios (una ye, un codo y cinco bujes de reducción) con un costo total de \$172,200. Esto eleva el costo total de los materiales a \$437,800.

### 13.8 Diseño De Tanque De Almacenamiento

De acuerdo con la Tabla 5 se estimó un consumo promedio diario de 54,55 litros por habitante, considerando las actividades domésticas y el uso eficiente del recurso hídrico. Para enfrentar la variabilidad climática, especialmente en los meses de sequía, se identificó un déficit hídrico de 11,72 m<sup>3</sup>, por lo que se diseñó un tanque de almacenamiento con una capacidad de 12.5 m<sup>3</sup>, capaz de acumular agua durante los periodos de mayor precipitación y cubrir la demanda hídrica en los primeros meses del año, cuando las lluvias son escasas. Este tanque proporciona una reserva estratégica que garantiza la seguridad hídrica, maximizando la

eficiencia del sistema y equilibrando la oferta y demanda de agua, evitando así desabastecimientos en los periodos secos.

Por esta razón, se optó por utilizar un tanque jumbo de 12.500 litros de la marca Resinca, ver Ilustración 18. Este tanque tiene un costo de \$8.650.000 pesos y es capaz de satisfacer completamente las necesidades del sistema de recolección implementado en este proyecto, con una altura de 2.83 m y un diámetro de 2.36m.

Este tanque no solo proporciona el volumen necesario para el almacenamiento de agua, sino que también garantiza un suministro adecuado y constante, contribuyendo a la eficiencia del sistema. La elección del jumbo tanque se basa en su capacidad para manejar las fluctuaciones en la demanda de agua, asegurando así que se mantenga un nivel óptimo de abastecimiento durante los períodos críticos, además, como punto a favor este tanque se tiene que cuenta con tapa segura diseñada con pestañas de encastré y cierre de media vuelta que mantiene el agua libre de agentes externos y sin derrames; aros de refuerzo para mayor resistencia y durabilidad.

*Ilustración 18. Jumbo Tanque 12500.*



*Fuente: Resinca.*

Para el pedestal en el cual estará apoyado el tanque de 12500 litros elevado a 1.8 m del nivel del terreno, se le solicitó a un constructor la cotización para dicho pedestal nos entregó un precio a todo costo de \$5'219,000 como se puede observar en la Ilustración 19.

Ilustración 19. Cotización pedestal para tanque de 12500 litros.

14/10/24, 10:43 a.m. Cotización - iSligo

Cotización			
No. C-1-39			
Para :		Federico Parra	
Nit :		1.001.540.186-2	
Fecha :		2024-11-14	
COTIZACIÓN			
Pedestal en concreto para tanque de 13 toneladas.			
Item	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Total
1	Concreto en m3	530,000.00	1,219,000.00
2	Acero en kilos	5,000.00	1,500,000.00
3	Encofrado, mano de obra y preparación	2,500,000.00	2,500,000.00
Total Bruto		5,219,000.00	
Subtotal		5,219,000.00	
IVA 0%		0.00	
Total a Pagar		5,219,000.00	

Elaborado por Sligo S.A.S Nit: 530.046.146-8

Nota: Cotización a todo costo

Fuente: Cotización constructor.

### 13.9 Selección De La Batería

La batería seleccionada es la de litio, ya que esta permitirá almacenar la energía generada por el sistema de captación y conversión de agua lluvia, asegurando que la energía recolectada esté disponible para su uso posterior, incluso en períodos de baja captación.

Dado que las baterías de litio ofrecen una mayor capacidad de almacenamiento, eficiencia de carga y durabilidad en ciclos de carga/descarga, resultan ideales para maximizar el rendimiento energético del sistema. Además, su bajo requerimiento de mantenimiento y su alta densidad energética permiten aprovechar al máximo el espacio y el peso, lo cual es ventajoso en instalaciones que requieren un diseño compacto y eficiente.

Por otro lado, la estabilidad y confiabilidad de las baterías de litio aseguran un suministro de energía continuo, que puede ser utilizado tanto para las bombas de agua, para la distribución del agua captada, como para otros componentes eléctricos del sistema. Estas características no solo optimizan los recursos y minimizan la intervención técnica, sino que también contribuyen a la sostenibilidad del sistema de captación de agua lluvia al prolongar la vida útil de la batería y reducir el impacto ambiental asociado con el reemplazo frecuente de componentes.

Teniendo en cuenta que la batería a utilizar es de litio, la cual posee una profundidad de descarga del 90% y que la producción de la microturbina será de 4290Wh, esto provoca que el valor necesario para la vivienda sea de 4770Wh, lo que equivale en un sistema de 24 voltios a

199 Ah; por lo tanto, la batería a utilizar es la presentada en la Ilustración 20 que se visualizara a continuación.

*Ilustración 20. Batería de Litio GreenPoint 24V 200Ah.*



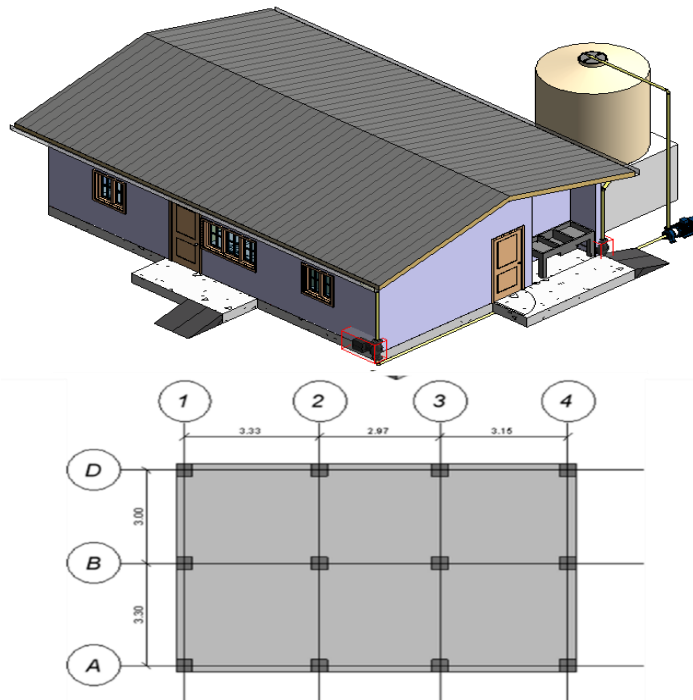
*Fuente: Emergente (2024).*

### **13.10 Visualización de la vivienda seleccionada:**

A partir de la vivienda seleccionada y los materiales de construcción, se plasmó en un sistema BIM (Revit), para tener la visualización en 3D.

Como se observa en la Ilustración 21, se denota no solo las medidas de la vivienda si no también la distribución del sistema.

Ilustración 21. Rrender y medidas vivienda modelo VRSC 2.



Fuente: Propia.

Dado que el sistema de recolección de aguas lluvias no cubrirá completamente las necesidades de agua potable de la vivienda, se ha diseñado un sistema integrado que permite la utilización eficiente tanto del agua potable proveniente de la red de servicios públicos como del agua lluvia recolectada por el sistema, por tanto, este sistema operará de manera similar a un sistema de agua fría y caliente, pero con agua potable y agua lluvia. De esta forma, los residentes de la vivienda podrán seleccionar el tipo de agua desde una misma salida o grifo, eligiendo la fuente según el tipo de uso.

El agua lluvia captada en la cubierta a dos aguas de la vivienda será almacenada y distribuida hacia las zonas de uso específico, como el enjuague de la losa, el enjuague corporal mientras se bañan, la limpieza del hogar, el riego de plantas, y el vaciado y limpieza del inodoro. Estas actividades no requieren agua potable, lo que permite aprovechar el agua de lluvia y reducir significativamente el consumo de agua de la red pública. Al disminuir la demanda de agua potable, este sistema contribuye a un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

El sistema también está diseñado para integrarse a la infraestructura de servicios públicos existente sin necesidad de modificaciones complejas. Las válvulas de selección y las tuberías duales permiten la distribución controlada de ambos tipos de agua a través de un único grifo, conservando la infraestructura preexistente y asegurando que la instalación sea de bajo costo y fácil mantenimiento.

Además, el diseño incorpora una microturbina hidráulica que generará energía a partir del flujo de agua de lluvia, proporcionando una fuente de electricidad adicional para la vivienda. Este ciclo integrado de agua y energía no solo optimiza el uso de los recursos naturales, sino que también mejora la autonomía hídrica y energética de las comunidades rurales, contribuyendo a su seguridad hídrico-energética y reduciendo la dependencia de los servicios públicos convencionales.

### 13.11 Costo ponderado del proyecto:

La información sobre los costos del proyecto se puede encontrar resumida en la Tabla 6, en donde se evidencia cada uno de los ítems o elementos necesarios que componen el sistema y, además, cuál sería el costo total de implementar el sistema de recolección, almacenamiento y distribución de aguas lluvias con microturbinas hidráulicas.

*Tabla 6. Costos totales del proyecto.*

<b>CANAL</b>	\$	288,455.03
<b>BOMBA</b>	\$	516,900.00
<b>TUBERÍA Y ACCESORIOS</b>	\$	437,800.00
<b>MICROTURBINA</b>	\$	3,075,000.00
<b>BATERÍA</b>	\$	5,047,000.00
<b>TANQUE</b>	\$	8,650,000.00
<b>PEDESTAL-TANQUE</b>	\$	5,219,000.00
<b>COSTO DEL SISTEMA</b>	\$	9,365,155.03
<b>COSTO DE LA VIVIENDA</b>	\$	50,234,988.00
<b>COSTO TOTAL</b>	\$	59,600,143.03

*Fuente: Propia.*

## 14 Conclusiones

- La implementación de un sistema de captación de aguas lluvias acoplado con microturbinas hidráulicas en viviendas rurales de Turbo proporciona una alternativa viable y sostenible para suplir las necesidades básicas de agua y energía en comunidades con escaso acceso a la red eléctrica y suministro de agua. Esta integración no solo satisface la demanda doméstica, sino que además promueve una autosuficiencia energética e hídrica
- El proyecto se ajusta a marcos regulatorios como el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA) y la Ley 697 de 2001, que fomentan el uso racional de recursos hídricos y energéticos. Cumplir con estos lineamientos refuerza el compromiso del proyecto con la sostenibilidad y respalda su viabilidad a largo plazo, garantizando que se gestionen los recursos de manera eficiente.
- El sistema de recolección de aguas lluvias con generación de energía mediante microturbinas hidráulicas diseñado para viviendas de interés social rural en Turbo, Antioquia, logra una cobertura del 50% de las necesidades energéticas y de agua de una vivienda típica en esta región. Con una producción aproximada de 42.86 kWh mensuales a través de tres microturbinas, el sistema se sostiene mediante un caudal promedio generado por las precipitaciones locales, cumpliendo en gran medida con el consumo básico requerido. A pesar de no cubrir la totalidad de la demanda, el sistema permite reducir significativamente la dependencia de fuentes externas y asegura un aporte estable de recursos hídricos y energéticos.

## 15 Recomendaciones

- Para optimizar el funcionamiento del sistema, se propone utilizar dos tanques de almacenamiento en lugar de uno. Este diseño incluye un primer tanque ubicado al nivel del terreno de la vivienda, que recolectará directamente el agua lluvia captada por la cubierta a dos aguas. Al mantener este tanque a nivel del suelo, se minimizan las pérdidas de agua que podrían ocurrir si estuviera colocado por encima de las canaletas de la cubierta, asegurando que toda el agua recolectada sea dirigida eficazmente hacia el sistema de almacenamiento.

El segundo tanque se instalará a una altura de aproximadamente 1.8 metros como se implementó inicialmente, permitiendo que el agua se eleve de manera controlada desde el tanque inferior. Esta configuración aprovecha la gravedad para mejorar el flujo de agua hacia las zonas de uso, reduciendo la carga de trabajo de la bomba y aumentando así la eficiencia energética del sistema. Este tanque elevado proporciona una presión adicional que facilita la distribución del agua hacia los puntos de consumo en la vivienda.

Este diseño de doble tanque no solo maximiza la captación y el aprovechamiento del agua lluvia, sino que también optimiza el rendimiento del sistema, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

- Para implementar un sistema de agua potable en la vivienda, a partir de las “Guías para la calidad del agua potable” escrita por la Organización Mundial de la Salud (1998), se propone la instalación de un cajón de potabilización, que utilizará un sistema de filtración por capas para mineralizar y purificar el agua antes de su ingreso. Este cajón de potabilización estará equipado con una serie de componentes técnicos dispuestos en capas: agregados pétreos en el ingreso, para eliminar partículas grandes, seguido de capas de arena para filtrar partículas finas, y una capa de carbón activado que ayudará a absorber impurezas, olores y contaminantes químicos. Este diseño permitirá que el agua pase a través de cada capa en una serie de procesos de filtración, eliminando progresivamente las impurezas y proporcionando una calidad de agua adecuada para el consumo humano.

Este sistema se instalará en la conexión de las tuberías cercanas al punto de entrada del suministro de agua a la vivienda, garantizando que el agua sea filtrada inmediatamente antes de distribuirse a las zonas de consumo. Para complementar este proceso de filtración

física, se recomienda la adición de tabletas de desinfección en el tanque de almacenamiento, lo cual asegura un nivel adicional de purificación, eliminando bacterias y microorganismos patógenos. Esto proporcionará agua potable segura y permitirá cubrir todas las necesidades de los habitantes de la vivienda, tales como el consumo, la higiene y la preparación de alimentos.

La combinación de este cajón de potabilización con las tabletas desinfectantes representa una solución integral de purificación que no solo es efectiva, sino que también es accesible y fácil de mantener en zonas rurales, contribuyendo así a la seguridad hídrica de la vivienda.

- Para lograr un sistema casi completamente autónomo, se recomienda integrar un sistema de paneles solares que cubra en su totalidad las necesidades energéticas del proyecto. Esta solución permitiría generar de manera independiente la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba, la microturbina hidráulica y otros componentes del sistema, desvinculándose así de la red eléctrica convencional. Los paneles solares, al ser una fuente de energía renovable y sostenible, garantizarían un suministro energético constante durante el día. Esto no solo maximiza la eficiencia operativa del sistema, sino que también reduce significativamente los costos operativos a largo plazo. Además, el uso de energía solar contribuye a la sostenibilidad del proyecto al disminuir su huella de carbono y su dependencia de fuentes de energía no renovables. En consecuencia, esta integración no solo hace que el sistema sea más resiliente y autónomo, sino que también refuerza el compromiso con prácticas ambientales responsables, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.
- Se recomienda dar mantenimiento y limpieza a cada una de las piezas que hacen parte del sistema, desde las rejillas de las canaletas hasta el mismo tanque.

## 17 Bibliografía

- Allpe Ingeniería Y Medio Ambiente S.L. (n.d.). *Estudios Hidrológicos*. Medio Ambiente - Hidrología. Retrieved June 12, 2024, from <https://www.allpe.com/medioambiente/hidrologia/estudios-hidrologicos/#:~:text=Los%20Estudios%20Hidrol%C3%B3gicos%20consisten%20en,el%20perfil%20topogr%C3%A1fico%20del%20terreno.>
- AutoSolar. (2020, July 5). *¿Qué tipos de baterías existen?* <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/tipos-baterias-solares>
- Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). *Historia De Los Sistemas De Aprovechamiento De Agua Lluvia*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BALLEN%20et%20al.%202006.%20Historia%20de%20los%20sist%20de%20aprovechamiento%20agua%20lluvia.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BALLEN%20et%20al.%202006.%20Historia%20de%20los%20sist%20de%20aprovechamiento%20agua%20lluvia.pdf)
- Barrero Parra, A., & Beltrán Beltrán, D. A. (2018). *Diseño Del Sistema De Recolección De Aguas Lluvias Más Eficiente Para El Plan Parcial De La Vereda San Bartolomé En El Municipio De Gachancipá Departamento De Cundinamarca* [Proyecto de trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a2a91a9-d34e-4b8e-acc4-0b7657b71dd7/content>
- Carter, J., Rahmani, A., Dibaj, M., & Akrami, M. (2023). Rainwater Energy Harvesting Using Micro-Turbines in Downpipes. *Innovate Energy Harvesting*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041660>
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *Mecánica de fluidos* (M. A. Toledo, P. E. Roig, M. I. Rocha, A. L. Delgado, & García. Ceferino, Eds.; 2da ed.). McGrawHill.
- CEPAL. (2022, September 7). *Los servicios básicos de agua potable y electricidad como sectores clave para la recuperación transformadora en América Latina y el Caribe*.
- CORPOURABA. (n.d.). *Recurso - Agua*. Retrieved November 2, 2024, from <https://corpouraba.gov.co/recurso-agua/>
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

- DANE. (2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*.  
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190719-CNPV-presentacion-Antioquia-2.pdf>
- DANE. (2020). *Resultados Déficit Habitacional 2018*.  
<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/deficit-habitacional/deficit-hab-2020-presentacion.pdf>
- Debem. (2022, December 28). *Bombas hidráulicas: definición y tipos*.  
<https://www.debem.com/es/tipos-de-bombas/>
- Emergente. (2024). *Batería de Litio GreenPoint 24V 200Ah*.  
<https://www.emergente.com.co/producto/bateria-de-litio-greenpoint-24v-200ah>
- Fernández, M. (2023). ¿Cómo superar los retos de la vivienda rural en América Latina y el Caribe? *Banco Interamericano de Desarrollo (“BID”)*. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/soluciones-retos-vivienda-rural-america-latina-caribe/>
- FH Solar & Led. (2019, November 3). *Instalación de Turbinas de generación de energía hidráulica (mini turbinas)*. <https://fhsolarled.com/turbinas-de-generacion-de-energia-hidraulica-mini-turbinas/>
- Gaviria Muñoz, S., Castro Quiroz, M. F., Mejía Alzate, L. F., Cuestas Gómez, J. M., Lloreda Becerra, C. E., González Ramírez, A. Y., Granados Riveros, J. C., Mejía Villegas, Á., Hurtado González, C. A., Torres Laitón, C. J., Reyes Salcedo, J. E., Pérez Pinto, J. M., Feria Casas, J. M., Ladino Bolívar, J. P., Ramírez Arango, L. M., Jiménez Ríos, L. P., González del Río, W., Olarte Ávila, L. J., Villamizar Camargo, C. E., ... Tobón Lozano, J. M. (2017). *Proyectos tipo Construcción de vivienda de interés social rural*.  
<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendainterresrural/ptviviendarural.pdf>
- Gobernación de Antioquia. (2023). *Cobertura residencial de acueducto(%) en la zona urbana y rural de los municipios, distritos, provincias y subregiones de Antioquia. Año 2021*.  
<https://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/servicios-publicos-2021/>
- González, J. I., Ochoa Ochoa, B. D., Morera Afanador, C. A., Rebolledo Peluffo, R. A., Pacheco Romero, E. E., Espinosa Sierra, Z. Y., Malagón Ramírez, J. D., Montero Pereira, R. A., Ramírez Montilla, C. A., Higuera Salazar, D. S., Garzón Medina, L. A., Cepeda Gómez, M. F., Velasco Campuzano, C., Arbouin Gómez, F., Rey Sepúlveda, J. A., Arango Ramos, P. J., Pinillos Patiño, J. C., Arias Guzmán, C. J., Ching Ruiz, J. D., ... Pizarro Ríos, A.

(2023). *Lineamientos para la aplicación de programas de vivienda nueva rural de Orden Nacional*.

[https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendaruralnueva/Guia\\_Lineamientos\\_Vivienda\\_Nueva\\_PUBLICACION.pdf](https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendaruralnueva/Guia_Lineamientos_Vivienda_Nueva_PUBLICACION.pdf)

Homecenter. (2024). *Electrobomba Centrifuga 1/2*.

<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/296065/electrobomba-centrifuga-1-2-hp/296065/>

Jansen Iberia. (2022, April 5). *Acero galvanizado: ventajas y desventajas*.

<https://jansen.es/acero-galvanizado-ventajas-y-desventajas/>

León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C., & Carreño Sayago, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), 141–153.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>

Ley 697, Mediante La Cual Se Fomenta El Uso Racional y Eficiente de La Energía, Se Promueve La Utilización de Energías Alternativas y Se Dictan Otras Disposiciones., Congreso de Colombia, 3 de octubre (2001).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>

Ley 1537, Por La Cual Se Dictan Normas Tendientes a Facilitar y Promover El Desarrollo Urbano y El Acceso a La Vivienda y Se Dictan Otras Disposiciones., Congreso de Colombia, 20 de junio (2012).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47971>

Ley 1715, Por Medio de La Cual Se Regula La Integración de Las Energías Renovables No Convencionales al Sistema Energético Nacional., Congreso de Colombia, 13 de mayo (2014). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Ley 2099, Por Medio De La Cual Se Dictan Disposiciones Para La Transición Energética, La Dinamización Del Mercado Energético, La Reactivación Económica Del País Y Se Dictan Otras Disposiciones., Congreso de Colombia, 10 de Julio (2021).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Ley 2294, Por El Cual Se Expide El Plan Nacional de Desarrollo 2022- 2026 “Colombia Potencia Mundial de La Vida,” Congreso de Colombia, 19 de mayo (2023).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=209510>

- Lira, G. (2012). Reciclaje de aguas lluvias para uso en viviendas. *Revista Científico Tecnológica Departamento de Obras Civiles*, 1/2012, 79–98.  
<https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1973/1763>
- Malagón González, J. T., Ruiz González, C. A., & Samur Pertuz, S. A. (2021). *Documento técnico de parametrización del Subsidio Familiar de Vivienda Rural - SFVR Vivienda Nueva de Interés Social Rural y Mejoramientos de Vivienda*.  
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-11/anexo-i.-politica-publica-de-vivienda-de-interes-social-rural.pdf>
- Malagón González, J. T., Ruiz Martínez, C. A., & Samur Pertuz, S. A. (2020). *Política Pública De Vivienda De Interés Social Rural*.  
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-11/anexo-i.-politica-publica-de-vivienda-de-interes-social-rural.pdf>
- Meteoblue. (2024). *Tiempo Medellín*.  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/medell%C3%ADn\\_colombia\\_3674962](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/semana/medell%C3%ADn_colombia_3674962)
- Minvivienda. (2020). Índice de Focalización de Vivienda Rural. *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/ifvr-municipal.pdf>
- Minvivienda. (2021). *Programa Arquitectónico y consideraciones técnicas de la Política de Vivienda Rural*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/fichas-tecnicas-vivienda-nueva-vivienda-rural.pdf>
- Minvivienda, & Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico Sistemas de Acueducto. (2010). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS. *Sistemas de Acueducto*, 2, 32. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- Murillo Díaz, J. Manuel., López Geta, J. Antonio., & Rodríguez Hernández, Luis. (2010). *Desarrollo sostenible, uso conjunto y gestión integral de recursos hídricos estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante*. Diputación de Alicante.  
[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ciclohidrico.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2Fusoconjunto\\_bj.pdf&psig=AOvVaw2wgcUQLNBeSs\\_e\\_AKZgkO1&ust=1718427418491000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAGQr5oMahcKEwiw1dyPp9qGAxUAAAAHQAAAAAQBw](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ciclohidrico.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2Fusoconjunto_bj.pdf&psig=AOvVaw2wgcUQLNBeSs_e_AKZgkO1&ust=1718427418491000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAGQr5oMahcKEwiw1dyPp9qGAxUAAAAHQAAAAAQBw)

NTC 2888, Laminados de Plásticos Termoestables Reforzados (PTR) Moldeados Por Contacto, Para Equipos Resistentes a La Corrosión., 10 de diciembre (2014).

<https://tienda.icontec.org/gp-laminados-de-plasticos-termoestables-reforzados-ptr-moldeados-por-contacto-para-equipos-resistentes-a-la-corrosion-ntc2888-2014.html>

NTC 2890, Tanques Resistentes a La Corrosión Fabricados Con Resina Termoestable Reforzada Con Fibra de Vidrio, Modelados Por Contacto., 18 de Julio (2012).

<https://tienda.icontec.org/gp-tanques-resistentes-a-la-corrosion-fabricados-con-resina-termoestable-reforzada-con-fibra-de-vidrio-moledados-por-contacto-ntc2890-2012.html>

NTC 5770, Sistemas de Saneamiento Básico. Tanques Sépticos Prefabricados Con Materiales Plásticos., 16 de junio (2010). <https://tienda.icontec.org/gp-sistemas-de-saneamiento-basico-tanques-septicos-prefabricados-con-materiales-plasticos-ntc5770-2010.html>

Organización Mundial de la Salud. (1998). *Guías para la calidad del agua potable* (2nd ed., Vol. 3). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>

Paish, O. (2002). Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(6), 537–556. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00006-0)

Pantoja Reyna, Á. G., Bravo Menéndez, A. J., & Ortiz Caaspa, C. J. (2023). Estudio del aprovechamiento de la energía Pluvial con turbinas hidráulicas de una vivienda residencial en la ciudad de Santo Domingo. *Revista Social Fronteriza*, 3(3), 185–195. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8003867>

Pavco Wavin. (2024). *Lista de precios 2024*. <https://pavcowavin.com.co/lista-de-precios>

Programa de la ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC). (2014, January 11). Nota informativa: Agua y energía. *Decenio Internacional Para La Acción “El Agua Fuente de La Vida” 2005-2015*. [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_energy.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_energy.shtml)

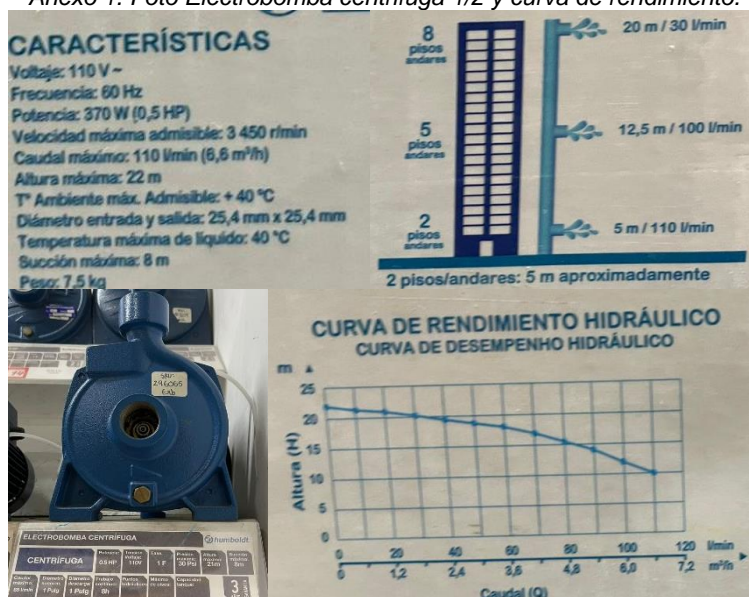
Resolución 943, Por La Cual Se Compila La Regulación General de Los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, y Se Derogan Unas Disposiciones., 29 de abril (2021). [https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion\\_cra\\_0943\\_2021.htm](https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_cra_0943_2021.htm)

Sandoval Betancour, G. A. (2016). Ventajas económicas del aprovechamiento del agua lluvia. *Equidad y Desarrollo*, 26, 101–113. <https://doi.org/10.19052/ed.3650>

Tecnoturbines. (n.d.). *Micro-Turbinas generadoras de energía*. Retrieved September 21, 2024, from <https://tecnoturbines.com/faq>

## 18 Anexos

Anexo 1. Foto Electrobomba centrífuga 1/2 y curva de rendimiento.



Fuente: Propia.