

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Prototipo de generador hidroeléctrico con molino de agua para una granja y su sistema de riego en zona veredal del Departamento de Santander

AUTORES

Ernesto López Suárez – 1.065.875.067
Javier Mera Vega – 91.271.357

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD
BUCARAMANGA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 08-02-2019**



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Prototipo de generador hidroeléctrico con molino de agua para una granja y su sistema de riego en zona veredal del Departamento de Santander

AUTORES

Ernesto López Suárez – 1.065.875.067

Javier Mera Vega – 91.271.357

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en electricidad

DIRECTOR

Fabio Alfonso González

Grupo de Investigación en Energía - GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD
BUCARAMANGA**

FECHA DE PRESENTACIÓN: 08-02-2019

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este proyecto de grado plasmado en el presente informe, a mi esposa Mariela por su amor permanente y comprensión, también a mis hijos quienes de manera constante me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente para poder lograr todos mis objetivos propuestos ya que todo es posible sin importar las condiciones.

Javier Mera Vega.

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia, en especial a mi hija Clara Lucía, y a todas aquellas personas que me acompañaron en esta etapa tan importante de mi vida; su apoyo incondicional fue fundamental para la materialización de este logro.

Ernesto López Suárez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la bendición y el privilegio del estudio, también porque sin la Sabiduría y fortaleza que constantemente nos entrega para poder terminar mi estudio. Quiero agradecer a todos los docentes del UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER que nos brindaron sus conocimientos durante el proceso académico y por su contribución a nuestra formación personal, los cuales con tanta paciencia nos han enseñado y siempre estuvieron prestos a aclarar nuestras dudas por insignificantes que parecieran. También resaltar a nuestro Director de Proyecto de grado Fabio González; gracias por el tiempo y la ayuda prestada a nuestro crecimiento como profesional y por la confianza y compañerismo que siempre obtuvimos. Finalmente, agradecer a mi hijo Jonathan Mera, por el apoyo en la toma de fotografías para documentar en el proyecto.

Javier Mera Vega

Quiero agradecer a todos los docentes que compartieron conmigo sus conocimientos y cada aporte que realizaron al proceso de desarrollo de este proyecto, de manera muy especial agradecer al ing. Fabio González por su dedicación y acertadas instrucciones, por su tiempo, dedicación y por su pasión en el desempeño como director del trabajo de grado, haciendo un gran aporte para mi crecimiento profesional. También agradecer a Jonathan Mera, quien fue de gran ayuda al momento de documentar fotográficamente el desarrollo del proyecto, y finalmente, pero no menos importante, agradecer a Nancy Quijano por su constante motivación al logro; lo cual fue fundamental para cumplir con este propósito.

Ernesto López Suárez

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>11</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>13</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>14</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	19
<u>2. MARCOS REFERENCIALES</u>	<u>21</u>
2.1. MARCO LEGAL	21
2.2. MARCO AMBIENTAL	21
2.3. MARCO TEÓRICO	22
<u>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>24</u>
3.1. CONDICIONES GEOGRÁFICAS DE LA ZONA.....	24
3.1.1. UBICACIÓN Y POBLACIÓN OBJETO.....	24
3.1.2. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL	27
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO	32
3.2.1. POTENCIA ELÉCTRICA	34
3.2.2. DEMANDA DE LA GRANJA	34
3.3. DISEÑO DEL MOLINO.....	36
3.4. SIMULACIÓN DEL GENERADOR HIDROELECTRICO	38
<u>4. RESULTADOS.....</u>	<u>41</u>
4.1. CONDICIONES GEOGRÁFICAS	41
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO	43
4.2.1. POTENCIA ELÉCTRICA	43
4.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	47
<u>5. CONCLUSIONES.....</u>	<u>56</u>

<u>6.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>57</u>
<u>7.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>58</u>
<u>9.</u>	<u>ANEXOS</u>	<u>62</u>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación del proyecto</i>	24
<i>Figura 2. Río el Hato (inmediaciones del proyecto).....</i>	25
<i>Figura 3. Quebrada el Hato (Ubicación del proyecto)</i>	27
<i>Figura 4. Método del flotador, desplazamiento de la boya y medición del tiempo. 28</i>	
<i>Figura 5. Medición del ancho del afluente</i>	29
<i>Figura 6. Determinación área transversal del río.....</i>	29
<i>Figura 7. Profundidad orilla del río.</i>	30
<i>Figura 8. Profundidad centro del río</i>	30
<i>Figura 9. Determinación de la velocidad con el método del flotador</i>	31
<i>Figura 10. Características del molino propuesto</i>	32
<i>Figura 11. Detalles tapa lateral del molino (cm)</i>	33
<i>Figura 12. Piezas del molino.</i>	36
<i>Figura 13. Relación de poleas.....</i>	37
<i>Figura 14. Ensamblaje del molino de agua.</i>	38
<i>Figura 15. Simulación cambio de velocidad (m/s).</i>	39
<i>Figura 16. Potencia Eléctrica Generada vs Carga Eléctrica tipo</i>	46
<i>Figura 17. Molino a escala con cotas.</i>	47
<i>Figura 18. Piezas del prototipo en MDF</i>	48
<i>Figura 19. Centro cilíndrico del molino</i>	50
<i>Figura 20. Ensamblaje del prototipo</i>	51
<i>Figura 21. Pieza molino ensamblado.</i>	51
<i>Figura 22. Base molino de agua en MDF.</i>	52
<i>Figura 23. Sistema fijo y móvil acoplados.</i>	53
<i>Figura 24. Molino ensamblado, acoplado y barnizado.</i>	54
<i>Figura 25. Prototipo construido del sistema de generación de energía.....</i>	55
<i>Figura 26. Molino en funcionamiento en el río.....</i>	55
<i>Figura 27. Cobertura Electrificadora de Santander SA.</i>	62
<i>Figura 28. Prototipo maqueta vs diseño.</i>	63
<i>Figura 29. Molino de agua en funcionamiento.....</i>	63

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Potencia eléctrica.</i>	34
<i>Ecuación 2. Fórmula de la velocidad.</i>	40
<i>Ecuación 3. Formula del caudal</i>	40
<i>Ecuación 4. Velocidad en función de “Q” y “A”.</i>	41
<i>Ecuación 5. Área transversal.</i>	44

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Viviendas sin servicio de energía eléctrica en Santander.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2. Carga de la granja tipo con sistema de riego.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Demanda de consumo horario.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4. Datos para determinar área transversal</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5. Determinación de velocidad</i>	<i>42</i>

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito principal de este proyecto es diseñar un prototipo de un generador hidroeléctrico que permita alimentar una granja y su sistema de riego por medio del caudal de una quebrada, y evaluar la viabilidad del mismo para implementarlo en zonas veredales del Departamento de Santander. Se busca con ello brindar una alternativa de generación de energía a las viviendas o granjas que cuentan con una actividad económica encaminada al agro y por estar en zonas alejadas no cuentan con el suministro de energía eléctrica o cuentan con el servicio, pero con interrupciones continuas que precarizan la condición de funcionamiento de sus actividades agropecuarias.

La estrategia metodológica utilizada para el diseño del prototipo de generador con molino de agua, se realizará tras la búsqueda de información técnica y recorridos a territorios rurales con fuentes hidrográficas, a las cuales se realizará mediciones del caudal de agua disponible, así como también la velocidad de la corriente de agua con métodos convencionales; para finalizar se proyectarán las cargas que se desean alimentar, de tal modo que se pueda concretar el sistema indicado con sus respectivas especificaciones.

El alcance del proyecto comprende desde la caracterización de las condiciones hidrográficas que se disponen para el prototipo del sistema de energía alternativo a utilizar, hasta el diseño de las piezas del molino y el ensamble del mismo en SolidWorks con el cual se mostrará una simulación del funcionamiento del mismo, el cual será documentado.

Como resultado se obtendrán los planos donde se presentarán los parámetros de diseños, junto con el prototipo a escala, con el cual se podrá iniciar la construcción de un sistema de generación de energía alternativo autosuficiente, con bajo impacto en el medio ambiente; que dentro de su contenido relacionará la información técnica de las condiciones geográficas presentes o necesarias para la implementación.

PALABRAS CLAVE. Energía, Generación, Hidroeléctrica, Renovable.

INTRODUCCIÓN

El proceso de investigación que se presenta a continuación desarrollado en la localidad de la quebrada el Caney del municipio de Piedecuesta – Santander, tiene como propósito la orientación, y promoción, para la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica alternativa y/o renovable, para la resolución de problemas de cobertura de distribución de energía en las zonas vulnerables, las cuáles se ven afectados por no disponer del fluido eléctrico, el cual es considerado como una necesidad básica, a causa del ausentismo en la inversión de entes públicos o privados para solventar esta necesidad inminente; al mismo tiempo se busca mejorar la calidad de vida de esta población, dando acceso al servicio de electrificación.

Dicho lo anterior, da a conocer los posibles factores, y condiciones para la implementación de este sistema de generación de energía, así mismo se impulsará el uso de las energías renovables las cuales producen un bajo impacto ambiental en las zonas donde se implementan, con el fin de sensibilizar a la comunidad sobre el impacto ambiental que produce el uso de los sistemas de generación de energía convencionales.

A continuación se presentará en la primera fase una breve aproximación al planteamiento del problema, para luego continuar con la descripción del marco teórico-práctico en dónde se describirá la finalidad de este proyecto y sus referentes conceptuales correspondientes.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los años 2015 y 2016 se presentó en Colombia, un fenómeno natural “El niño” que afectó de manera especial las condiciones climáticas de la zona costera del país, produciendo de manera significativa disminución en las lluvias, y vientos cálidos, (IDEAM, 2016) los cuales provocaron un desabastecimiento en los múltiples embalses con los que cuenta el país, para la operación de las principales centrales hidroeléctricas que actualmente son maniobradas por ISAGEN y EPM, (UPME, 2016) ocasionando fallas en el suministro de energía eléctrica, esta situación combinada con la falta de previsiones del gobierno colombiano y de las entidades encargadas de la planeación del sector eléctrico en Colombia, llevaron a situaciones que afectaron el usuario final de la energía eléctrica, debido a la disminución de la capacidad de generación del suministro de energía eléctrica, presentando interrupciones en el servicio y racionamientos especialmente en los sectores rurales (Clavijo, 2016), además de incrementar los precios del mercado de energía. A causa de esta eventualidad, se despertó en Colombia interés por las energías alternativas, así como también por la eficiencia energética, motivando al gobierno nacional a crear programas con incentivos para las empresas y/o personas que se acogieran a las políticas y condiciones establecidas, como es el caso de “apagar paga”, (Gutiérrez, 2016) una campaña estatal con la cual se premiaba a quienes se responsabilizaron de su consumo y lo disminuyeron; algunos aplicando uso racional de energía URE y otros apelaron a generación en sitio con sistemas fotovoltaicos y generación con combustibles fósiles “plantas de ACPM”, o con el desarrollo de proyectos para la generación a través de energías limpias (Grupo EPM, 2016).

La ausencia de energía eléctrica en la zona rural afecta la calidad de vida de los agricultores, además de restringir la posibilidad de crecimiento de la productividad. Por ejemplo, en algunos países el producto interno bruto se ve frenado hasta más del 2% debido a el difícil acceso a la energía eléctrica (Juan Felipe Bustos González, 2014). En Colombia aún sigue siendo precario este servicio para suplir las necesidades energéticas en los centros urbanos.

Por otra parte, el cambio climático, el cual es motivado en gran parte por los efectos dañinos que causan los combustibles fósiles al medio ambiente (Por ejemplo, para el año 2016 en Colombia, la generación de energía eléctrica produjo 1,292,227 toneladas de CO₂, teniendo una relación de 0,0673 tCO₂/MWh (Marcela Bonilla, 2017)), afectan de gran manera los cultivos pues se crean desequilibrios atmosféricos ocasionando anomalías climáticas que a su vez producen inundaciones en los cultivos, propagación de plagas, enfermedades, cambios en los ciclos vegetativos de los cultivos, lo que conlleva a pérdidas en la producción y amenaza a la seguridad alimentaria (Fernández, 2013).

Otra de las grandes problemáticas que se presentan son las interrupciones del servicio de energía eléctrica por fallas técnicas provocadas por condiciones meteorológicas y/o naturales, como caída de árboles, deslizamiento de terrenos donde se encuentran las estructuras que soportan las redes que transportan el fluido eléctrico, extendiendo las fallas hasta por días o incluso semanas según la gravedad del daño y la posibilidad del acceso del personal técnico. (Mantilla, 2016).

Se propone entonces la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo beneficiaría a la población del sector rural la inclusión de un sistema de generación de energía alternativo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo de este proyecto se busca proponer una solución a la problemática del suministro de energía eléctrica que se evidencia de manera tangible en algunas poblaciones vulnerables del territorio colombiano, (Hernández, Alvarado, & López, 2013) como es la población de los campesinos de los sectores rurales que se encuentren fuera de la cobertura del servicio o suministro de energía ofertado por las empresas comercializadoras de energía eléctrica a nivel local o nacional, y/o aquellas poblaciones que disponen del suministro del fluido eléctrico, pero a las cuales no se les garantiza la calidad del servicio como se establece en la ley. (CREG 037, 2004)

Es innegable que el consumo de energía va de la mano con el desarrollo económico (Garrido, 2009), por eso la generación de energía con fuentes renovables como pequeñas plantas hidroeléctricas en los sectores rurales, permite que el productor agropecuario se desarrolle sin necesidad de trasladarse al sector urbano (Siabato, 2004). De hecho, el plan energético nacional 2003-2020 de Colombia, determina las energías renovables como opción para las zonas rurales (Subdirección de Planeación Energética, 2003).

Cabe señalar, en el año 2017 la cobertura energética alcanzó el 97% del país, según manifiesta el ministro de minas y energía Germán Arce Zapata. Sin embargo, según la UPME, para agosto de dicho año aproximadamente 2,5 millones de colombianos aún se mantienen en la oscuridad (Sáenz, 2017), por lo que mediante el proyecto se busca brindar una alternativa de solución para quienes no cuentan con el suministro de energía eléctrica, pero que a su vez disponen de las condiciones necesarias para la implementación del sistema propuesto (Arce, 2017).

El agua es un recurso de suma importancia para las actividades agropecuarias por lo que requiere que se utilice de manera óptima. Los sistemas de riego permiten intensificar la producción en las áreas de cultivo, siendo importantes para el desarrollo agrario sustentado (Pereira, 2010), además, permitiendo el uso efectivo del agua sin dejar de asegurar la producción de calidad (Rural, ABC, 2014). Por lo tanto, este proyecto busca proporcionar la oportunidad de aprovechar aún más los recursos naturales que los agricultores tienen a su disposición, obtenido un servicio de energía continuo, limpio y beneficiando a su vez al medio ambiente.

En este proyecto se analiza una manera de implementar energía no convencional en el sector agropecuario colombiano, las cuales juegan un papel muy importante en el desarrollo energético rural, y en la tecnificación de los procesos agroindustriales (Castañeda, 2014). Además, se realizará un aporte a los documentos de apoyo que alimentan la línea de investigación sobre generación con energías renovables aplicadas a dicho sector, del Grupo de Investigación en Energía – GIE, adscrito al programa de Tecnología en Electricidad de las Unidades Tecnológicas de Santander, fortaleciendo y cooperando con el repositorio institucional.

De cara al compromiso social y académico de la institución, este proyecto concretará los parámetros de diseño para la futura construcción e implementación del mismo; sin duda alguna, la aplicabilidad y viabilidad para la puesta en funcionamiento de este proyecto, junto con los beneficios que se obtendrían de él, hacen de este un atractivo tema de investigación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular el prototipo de un generador hidroeléctrico que permita alimentar una granja y su sistema de riego por medio del caudal de una quebrada, y evaluar su viabilidad para su uso en zonas veredales del Departamento de Santander.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las condiciones geográficas de la zona donde se plantea diseñar el generador hidroeléctrico, determinando si cuenta con reservas hidrográficas con un caudal adecuado para la construcción y funcionamiento del mismo, mediante un recorrido de inspección de la zona que desemboca de la cascada el Caney en zona rural del municipio de Piedecuesta – Santander.
- Establecer las características técnicas del molino de agua vertical con admisión inferior que se adecuen a las condiciones físicas e hidrográficas de la zona inspeccionada, para ofrecer una solución económica mediante revisión de la información relacionada con el tema.
- Diseñar las partes o piezas que componen el sistema de generación de energía alternativo mediante el software SolidWorks, basándose en el principio de las hidroeléctricas tradicionales con pequeños caudales, en respuesta a la necesidad de la demanda de una granja cargas eléctricas tipo.
- Simular por medio del software SolidWorks el sistema de generación de energía que se diseñó, en concordancia con las características y especificaciones que se registraron tras la evaluación de las condiciones presentes, para determinar la viabilidad del sistema.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

A finales del siglo XIX la energía hidráulica se mostraba como un gran potencial para la generación de energía eléctrica, y desde ese momento se ha venido utilizando a gran escala. Para el año de 1879 se construyó la primera central hidroeléctrica en las cataratas del Niágara, y ya para 1881 las lámparas de la ciudad funcionaban mediante energía hidroeléctrica. Para el año 2010, las hidroeléctricas proporcionaban casi un quinto de la electricidad de todo el mundo. Una de las centrales hidroeléctricas más grandes del mundo se encuentra en china, midiendo 2,3 kilómetros de ancho y 185 metros de alto. (Geographic, 2010)

Según los informes de generación de energía de la Unidad de Planeación Minero-Energética **UPME**, durante el año 2016 la generación de energía a través de potencial hidráulico constituye un 69,63% de la energía generada en Colombia, con una capacidad efectiva neta de 11.606,4 MW de los 16.597 MW que representan el 100% de la generación de energía en nuestro País. (UPME, 2016)

Existen reseñas históricas que soportan la viabilidad o factibilidad al desarrollar o implementar este tipo de proyecto, como se da el caso en la universidad EAN de Bogotá, donde se investigó y estudió la factibilidad de implementar una fuente de energía eléctrica para las familias del sector rural mediante un micro generador ecológico utilizando la energía cinética y potencial que posee el agua, basado en el principio de generación hidráulico a una menor escala. (Hernández, Alvarado, & López, 2013)

Las primeras centrales hidroeléctricas fueron hidráulicas de baja potencia con generadores de corriente continua; con el tiempo se consiguió aumentar la potencia

y la generación, no obstante, hasta el siglo XX la generación se dio mediante las pequeñas centrales hidroeléctricas. Con el tiempo las pequeñas centrales hidroeléctricas “**PCH**” pasaron al olvido, debido a esto son limitados los textos que expliquen el dimensionamiento de las mismas. Sin embargo, hay que recordar que, las pequeñas centrales hidroeléctricas se caracterizan por ser tecnologías sencillas además de fácil instalación y un menor costo de implementación y mantenimiento, por eso ha vuelto a surgir interés en este tipo de alternativa para generar energía (Flórez, 2011).

Un factor importante de las PCH es que no generan residuos contaminantes ni al agua ni al aire, ni existe impacto ambiental en la fauna ni flora, o es menor que el de las grandes centrales. Además, el grado de erosión en la desembocadura del agua de la turbina es manejable. Y finalmente, pueden al mismo tiempo aprovecharse para sistemas de riego, suministros de agua, entre otros (Fabio Sierra, 2011).

Con la implementación de proyectos de generación a través con pequeños caudales se busca satisfacer la demanda de energía eléctrica de poblaciones aisladas con dificultad de acceso al servicio y sin impactar a gran manera el medio ambiente (Energías Renovables, 2014).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO LEGAL

Durante el desarrollo investigativo de este proyecto se tendrán en consideración los preceptos de ley y la reglamentación vigente en Colombia, consagrados en la Ley 142 de 1994 – la cual establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y/o residenciales (Congreso de Colombia, 1994), Ley 143 de 1994 donde se citan los parámetros para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica generada en el territorio nacional (Congreso de Colombia, 1994), Norma Técnica Colombiana 2050 – Código Eléctrico Colombiano (ICONTEC, 1998), Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (Ministerio de Minas y Energía, 2013), y la Ley 1715 de 2014 – que regula y controla la integración de los sistemas de energías renovables no convencionales al sistema de distribución energético nacional (Congreso de Colombia, 2014), sin omitir las resoluciones establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) que puedan aplicarse en la investigación.

2.2. MARCO AMBIENTAL

Al momento de la aplicación de este proyecto, se propone una solución que ayude a minimizar el impacto ambiental que producen algunas granjas rurales con el uso de planta eléctricas con ACPM, las cuales producen CO₂ en altas concentraciones, de modo que se respete la conservación del medio ambiente y los recursos naturales, como lo establece la Ley 99 de 1993 – por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza

el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 1993). Adicionalmente se considerará la resolución 1283 del 8 de agosto de 2016, "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios que se mencionan en los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones" (Ministerio del medio ambiente, 2016).

2.3. MARCO TEÓRICO

Para la investigación que se desarrollará, se aprovecharán los conceptos básicos de electricidad obtenidos en el transcurso de los estudios universitarios, así como también se escudriñó exhaustivamente en internet y en los diferentes libros, revistas y/o documentos relacionados, para maximizar la conceptualización del proyecto a desarrollar. Un gran soporte para esta investigación fue el Vol. 30 de la revista Mundo Eléctrico, donde habla específicamente de Energías Renovables y el buen posicionamiento de Colombia entre los países con mayor atractivo para invertir en energías renovables (Portal del plurista, 2015).

La **autogeneración** es una de las bases a utilizar para este proyecto, la cual es considerada como las actividades que realizan no solo personas naturales, sino también personas jurídicas para producir energía eléctrica especialmente para satisfacer las necesidades propias de su inmueble, o industria. Si llegado el caso en que se generan por parte de estas personas excedentes de energía eléctrica a partir de la actividad realizada, estos podrán suministrarse a la red de distribución SDL en los términos que instituya la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG para tal objeto "Ley 1715, 2014" (Albarracín Lache & Cruz Rodríguez, 2013),

esto puede conllevar a las granjas a considerarse **autosuficientes**, que se define como el estado en el cual se es capaz de satisfacer sus necesidades de energía eléctrica con sus propios medios.

Durante el desarrollo de este proyecto será considerado como la **cadena energética** al grupo de actividades y/o procesos que buscan el aprovechamiento de la energía generada, que inicia en la fuente de energía misma, y se expande hasta los elementos o componentes de uso final (Docstoc, 2005), creando un **desarrollo sostenible** el cual se entiende como las mejoras que conduzcan a la prosperidad de la economía, a la continua mejora en la calidad de la vida, en concordancia con el bienestar social, sin acabar los recursos naturales renovables que son la base en que se sustenta, ni estropear las condiciones actuales del medio ambiente o delimitar a las futuras generaciones con su derecho a utilizarlo para satisfacer sus propias necesidades “Ley 697, 2001” (U. Externado, 2016). Esas energías renovables que se mencionan, son las fuentes de energías limpias e inagotables. Se diferencian de los combustibles fósiles por que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes.

Dentro de los contextos a utilizar se lleva a consideración el de **energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos**, que es la energía que se obtiene como fundamento de aquella fuente no convencional de energía renovable que se constituye del aprovechamiento de las pequeñas cantidades de agua o de ríos a pequeña escala (U. Distrital, 2107); siendo a su vez las **fuentes no convencionales de energía** consideradas como aquellos recursos disponibles de energía a nivel mundial que son sostenibles sin afectar el medio ambiente, pero que actualmente en el país no son utilizadas o son empleadas de forma secundaria y no se llega a una amplia comercialización (UTP, 2014).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. CONDICIONES GEOGRÁFICAS DE LA ZONA

3.1.1. Ubicación y población objeto

La población objeto para el desarrollo de este proyecto se encuentra ubicada en el sector rural del municipio de Piedecuesta en el departamento de Santander a orillas de un brazo del río el Hato, que desemboca de la cascada el Caney, en una latitud $6^{\circ} 59' 07.7''$ N y longitud $73^{\circ} 01' 28.8''$ W *Figura 1*, población que se encuentra afectada porque no cuenta con la cobertura del servicio de energía eléctrica *Figura 27* para el desarrollo de su actividades agropecuarias que impulsan su economía.

Figura 1. Ubicación del proyecto



Fuente: Google Maps

Este sector se encuentra enriquecido por una vasta zona selvática, la cual complica el acceso de los sistemas de distribución de energía eléctrica, de cara a la demanda de energía de la población que reside en ella; además la inmensa cantidad de

árboles de gran tamaño, complican la proyección de un sistema fotovoltaico por la ausencia en determinadas horas del día de la radiación solar. Por tal razón se ha decidido la implementación de un sistema de generación de energía alternativo que no dependa del sol, sino del aprovechamiento de la fuente de energía hidráulica, la cual en esta zona es favorable como se observa en la *Figura 2*.

Figura 2. Río el Hato (inmediaciones del proyecto)



Fuente: Autores

Según el último informe de cobertura de energía eléctrica emitido por el Sistema de Información Eléctrico Colombiano – SIEL dirigido por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME en Santander existen 19.416 viviendas sin servicio VSS, de las cuales 311 viviendas se encuentran ubicadas en el sector rural del municipio de Piedecuesta, como se observa en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Viviendas sin servicio de energía eléctrica en Santander

Municipios de Santander	Número de VSS cabecera municipal	Número de VSS sector rural	Número de VSS totales	Municipios de Santander	Número de VSS cabecera municipal	Número de VSS sector rural	Número de VSS totales
AGUADA	0	90	90	LA BELLEZA	0	204	204
ALBANIA	0	127	127	LA PAZ	0	103	103
ARATOCA	0	259	259	LANDÁZURI	0	274	274
BARBOSA	0	152	152	LEBRIJA	0	124	124
BARICHARA	0	111	111	LOS SANTOS	0	478	478
BARRANCABERMEJA	0	146	146	MACARAVITA	0	115	115
BETULIA	0	102	102	MÁLAGA	0	42	42
BOLÍVAR	0	1395	1395	MATANZA	0	158	158
BUCARAMANGA	0	83	83	MOGOTES	0	472	472
CABRERA	0	89	89	MOLAGAVITA	0	209	209
CALIFORNIA	0	76	76	OCAMONTE	0	56	56
CAPITANEJO	0	153	153	OIBA	0	358	358
CARCASÍ	0	101	101	ONZAGA	0	465	465
CEPITÁ	0	47	47	PALMAR	0	195	195
CERRITO	0	46	46	PALMAS DEL SOCORRO	0	86	86
CHARALÁ	0	215	215	PÁRAMO	0	48	48
CHARTA	0	171	171	PIEDECUUESTA	0	311	311
CHIMA	0	52	52	PINCHOTE	0	82	82
CHIPATÁ	0	418	418	PUENTE NACIONAL	0	107	107
CIMITARRA	0	320	320	PUERTO PARRA	0	290	290
CONCEPCIÓN	0	91	91	PUERTO WILCHES	0	84	84
CONFINES	0	27	27	RIONEGRO	0	1123	1123
CONTRATACIÓN	0	77	77	SABANA DE TORRES	0	563	563
COROMORO	0	169	169	SAN ANDRÉS	0	284	284
CURITÍ	0	560	560	SAN BENITO	0	208	208
EL CARMEN DE CHUCURÍ	0	618	618	SAN GIL	0	302	302
EL GUACAMAYO	0	101	101	SAN JOAQUÍN	0	83	83
EL PEÑÓN	0	235	235	SAN JOSÉ DE MIRANDA	0	192	192
EL PLAYÓN	0	604	604	SAN MIGUEL	0	256	256
ENCINO	0	131	131	SAN VICENTE DE CHUCURÍ	0	268	268
ENCISO	0	138	138	SANTA BÁRBARA	0	139	139
FLORIÁN	0	221	221	SANTA HELENA DEL OPÓN	0	183	183
FLORIDABLANCA	0	102	102	SIMACOTA	0	636	636
GALÁN	0	136	136	SOCORRO	0	262	262
GAMBITA	0	69	69	SUAITA	0	112	112
GIRÓN	0	529	529	SUCRE	0	422	422
GUACA	0	187	187	SURATÁ	0	81	81
GUADALUPE	0	96	96	TONA	0	175	175
GUAPOTÁ	0	35	35	VALLE DE SAN JOSÉ	0	101	101
GUAVATÁ	0	169	169	VÉLEZ	0	270	270
GÜEPSA	0	100	100	VETAS	0	68	68
HATO	0	117	117	VILLANUEVA	0	169	169
JESÚS MARÍA	0	100	100	ZAPATOCA	0	415	415
JORDÁN	0	78	78		0	19416	19416

Fuente: ESSA

3.1.2. Determinación del caudal

Para determinar el caudal del afluente de agua existente *Figura 3*, es necesario realizar varias mediciones para determinar el volumen de agua disponible para el desarrollo del proyecto; es importante realizar mediciones en diferentes épocas del año, debido a que el caudal depende directamente de la época del año en la que se encuentre. El caudal se expresa como una cantidad volumétrica de agua con relación al tiempo, la cual se puede representar en galones, metros cúbicos o litros por segundo o por minuto.

Figura 3. Quebrada el Hato (Ubicación del proyecto)



Fuente: Autores

El método utilizado para la determinación del caudal es normalmente conocido como el método del flotador *Figura 4*, el cual permite realizar una medición aproximada de la velocidad en la superficie del río, tomando en consideración un área relativamente constante, por lo cual se requiere identificar una zona donde la

cuenca hidrográfica conserve su ancho y profundidad en un tramo considerable de al menos 10 metros. (Canyon Industries, 2014).

Figura 4. Método del flotador, desplazamiento de la boya y medición del tiempo



Fuente: Autores

Paso 1. Cálculo del área del río: Se busca determinar el área de la cuenca de agua sobre la cual se desarrolla el proyecto, de tal manera se realizan las mediciones necesarias, para obtener una medida más precisa. La primera medición realizada fue el ancho de la afluente *Figura 5*, la cual requería de un sector donde el recorrido del agua se mantuviera constante, sin perturbaciones y con una profundidad media en el tramo de la medición realizada; del cual se obtuvo un valor promedio de 7 metros durante el recorrido que se utilizó para la medición de la velocidad; cabe aclarar que en la ubicación del proyecto, no fue posible realizar la medición debido a que se presentaba demasiada velocidad, con relación a la distancia recorrida; lo cual dificultaba la precisión de la medida *Figura 3*.

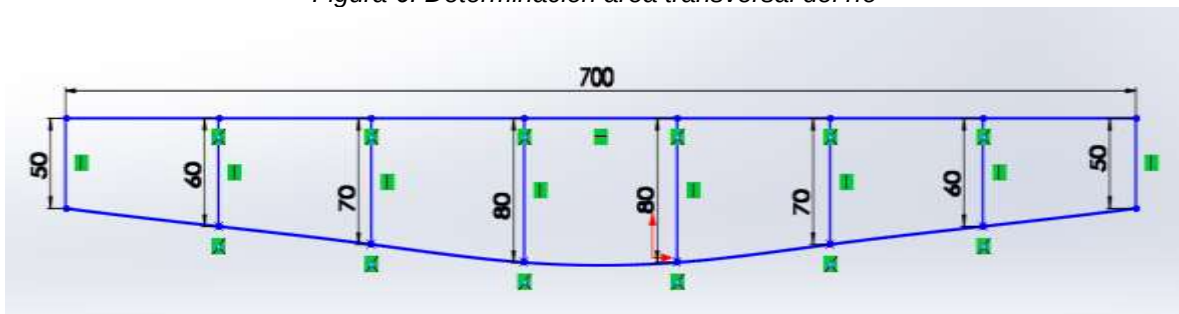
Figura 5. Medición del ancho del afluente



Fuente: Autores

Por otra parte la altura o profundidad del río *Figura 7* y *Figura 8* para calcular el área transversal del mismo, se determinó realizando una medición de la profundidad en cada metro del ancho previamente medido *Figura 5*; con la cual se obtuvieron las mediciones relacionadas en la *Figura 6*.

Figura 6. Determinación área transversal del río



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Fuente: Autores (SolidWorks)

Figura 7. Profundidad orilla del río.



Fuente: Autores

Figura 8. Profundidad centro del río



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Fuente: Autores

Paso 2. Determinación de la velocidad del río: Para determinar la velocidad del río o de la quebrada, es necesario utilizar un objeto que se mantenga en la superficie del agua, en este caso se utilizó una pelota como se muestra en la *Figura 9*, pero con el peso suficiente para que no se vea mayormente afectado por la fricción del aire; el cual será lanzado en un punto inicial del río y se tomará medición del tiempo que tarde en llegar hasta el punto que se determine como final, aclarando que esta distancia entre el punto inicial y el punto final debe ser medida con precisión. Después de realizar varias mediciones de tiempo en relación a la distancia, se calculará una velocidad promedio, con la cual calcularemos el caudal teniendo presente el área calculada en el paso anterior.

Figura 9. Determinación de la velocidad con el método del flotador

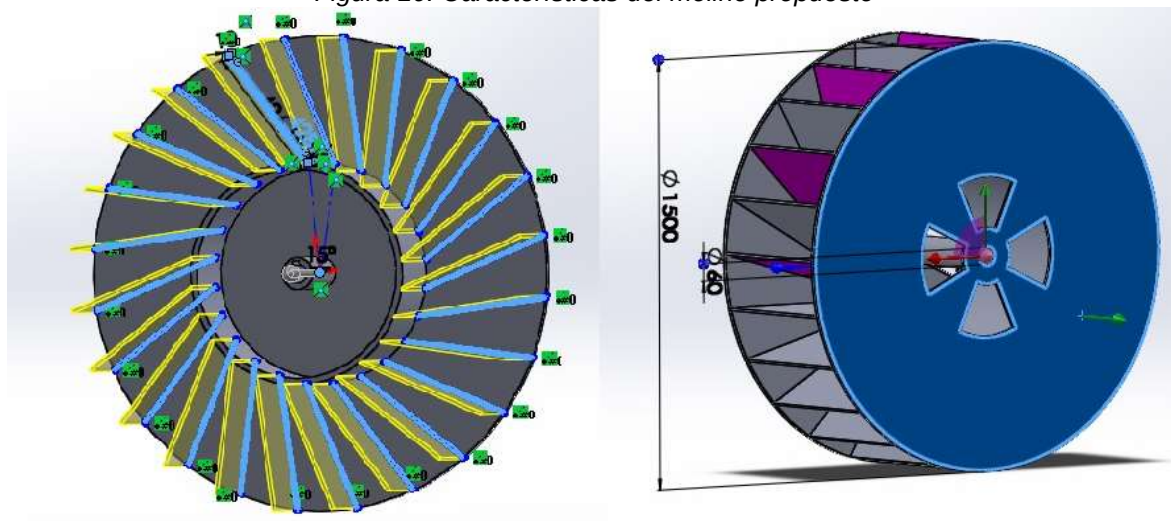


Fuente: Autores

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO

Se debe tener presente que una de las ventajas contempladas para la construcción de este molino, es que no afecte significativamente la fuente hídrica sobre la cual será puesta en funcionamiento; por esta razón es necesario que la profundidad máxima del molino en el agua, sea igual o inferior a la profundidad mínima que se ha medido en la afluente *Figura 7*, esto para no realizar dragado en la zona o desviación del fluido hidráulico.

Figura 10. Características del molino propuesto

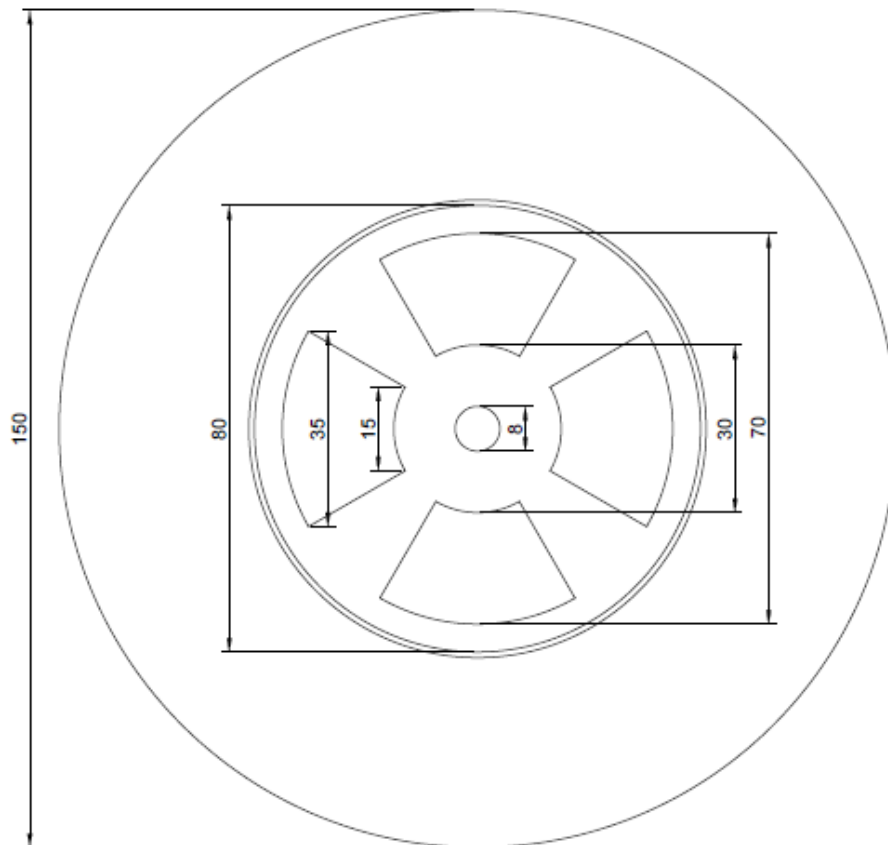


Fuente: Autores (SolidWorks)

Teniendo presente las condiciones hidrográficas del lugar donde se plantea poner en funcionamiento el molino de agua, se procede a definir las dimensiones sobre las cuales se propone construir el molino como se muestra en la *Figura 10*, teniendo en consideración las características de la ubicación donde no se puede exceder el ancho de la quebrada en el lugar de instalación, así como las consideraciones del modelo de molino vertical, el cual no puede sobrepasar la profundidad máxima de la fuente hídrica; por tal razón se tendrá presente que el radio debe ser considerable, esto porque al romper la inercia, generará un giro funcional que será más

complicado de detener con un radio de 75 centímetros *Figura 11*, y se considerarán unas aspas de 35 centímetros de profundidad y 50 centímetros de ancho, para obtener un área de aspas de 1750 centímetros cuadrados, también considerada como área transversal. Cabe precisar que se realizan cavidades en las piezas laterales del molino alrededor del eje central como se observa en la imagen derecha de la *Figura 10*, la cuales tienen como función permitir la inercia del mismo.

Figura 11. Detalles tapa lateral del molino (cm)



Fuente: Autores

El material con el cual será construido el molino debe ser resistente a la humedad permanente, y al sol; también debe considerarse un material que sea resistente a golpes, debido a que en momento de crecientes, el río puede traer consigo materiales flotantes como madera que podrían impactar con él. Por esta razón se

cree conveniente su construcción en fibra de vidrio, que es resistente a las condiciones mencionadas, además es de fácil acceso y de bajo costo; pero también podría considerarse otro tipo de materiales como la madera o el acero.

3.2.1. Potencia eléctrica

Debido a que no solo es importante la hidrografía de la zona, sino también la funcionalidad del molino dentro del sistema, se requiere determinar las variables que afectarán directamente la potencia eléctrica a generar por este sistema; la cual está dada por la fórmula propuesta por el ITDG (Guerra, 2010) la cual se relaciona a continuación:

$$P = 1/2 * K_b * A * R * V$$

Ecuación 1. Potencia eléctrica.

Siendo:

- P = Potencia eléctrica (W)
- K_b = Coeficiente de Betz ($16/27$).
- A = Área aproximada de sección transversal (m^2)
- R = Densidad del agua (Kg/m^3).
- V = Velocidad del agua (m/s).

Esta fórmula propone que la fuerza impulsiva del agua que golpea el área transversal del aspa con una velocidad dada por la corriente del río, la cual entrega como resultado la máxima potencia eléctrica que podría generar el sistema propuesto a partir del fundamento del molino de agua.

3.2.2. Demanda de la granja

De acuerdo al planteamiento del problema, y la solución que se busca ejecutar; es necesario proyectar una carga para el funcionamiento de la granja tipo que desarrolla actividades agrícolas, la cual requiere de un sistema de riego, así como también se contemplan las necesidades básicas en los sistemas eléctricos, como son la iluminación, entretenimiento y sistema para conservar los alimentos como es la nevera. Por esta razón es necesario dimensionar la carga que demandaría el usuario y los tiempos de uso de las mismas, para determinar que no existan picos o excedentes a la generación máxima del sistema.

Tabla 2. Carga de la granja tipo con sistema de riego.

Cargas y consumo estimado diario				
Descripción	Cantidad	Potencia	Tiempo	Total
Ahorrador 3U	9	25 W	5 Hr	1125 W/h
Televisor LCD	2	150 W	6 Hr	1800 W/h
Equipo de Sonido	1	150 W	4 Hr	600 W/h
Nevera Grande	1	200 W	24 Hr	4800 W/h
Lavadora Pequeña	1	450 W	1 Hr	450 W/h
Motobomba de 1/2 HP	1	373 W	2 Hr	746 W/h
Licuada	1	60 W	1 Hr	60 W/h
Total =	1758 w		9581 W/h	

Fuente: Autores

Con la información de las cargas existentes, se procede a realizar una tabla de dimensionamiento de consumo horario Tabla 3, la cual se contrastará con la energía que se proyecta a generar por el molino de agua, como se muestra en la Figura 16.

Tabla 3. Demanda de consumo horario (W/h).

DEMANDA DIARIA CALCULADA																										
P (w)	Descripción \ Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Total
25	Ahorrador 3U	25	25	25	75	75	75	25											50	175	200	175	100	75	25	1125
150	Televisor LCD							75	150	150	150	300	225						150	225	225	150				1800
150	Equipo de Sonido					150	150	75									75	150								600
200	Nevera Grande	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	4320
450	Lavadora Pequeña																450									450
373	Motor 1/2 HP									373							373									746
60	DVD																		60							60
Total Consumo Calculado		205	205	205	255	405	405	355	330	703	330	480	405	180	180	553	705	330	440	580	605	505	280	255	205	9101
Total energía generada		1130	1120	1110	1080	1030	1000	980	960	910	940	930	910	900	920	940	960	980	1000	1010	1030	1020	1090	1100	1140	

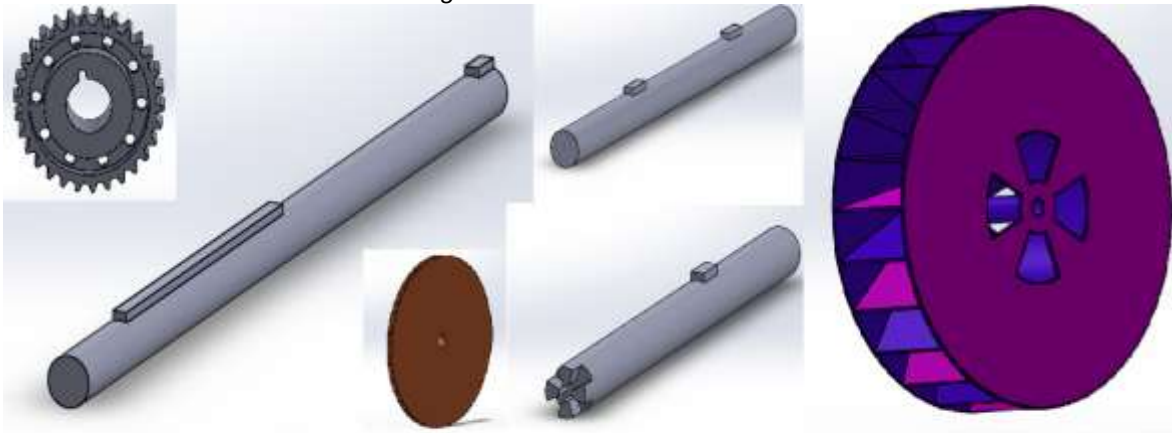
Fuente: Autores

Se realiza una gráfica comparativa para determinar si el consumo o carga del usuario supera la energía que se proyecta a generar, comprobando que se encuentra por debajo de la energía generada; salvo en los arranques de la motobomba, los cuales por ser efectos transitorios no se incluyen en la gráfica; es de considerar que se pueden utilizar arrancadores de motor, para evitar los transitorios de corriente.

3.3. DISEÑO DEL MOLINO

Con las características obtenidas del molino de agua en el numeral 3.2 se procede a diseñar las piezas o partes que componen el molino de agua utilizando la herramienta informática de diseño Solid Works, la cual nos permitirá bosquejar desde los ejes, engranajes, poleas y el molino mismo *Figura 12*; los cuales serán ensamblados para efectos de simulación, y de este modo verificar el buen funcionamiento del prototipo de diseño, para así constatar si es aplicable o si por el contrario, carece de algún factor mecánico.

Figura 12. Piezas del molino.

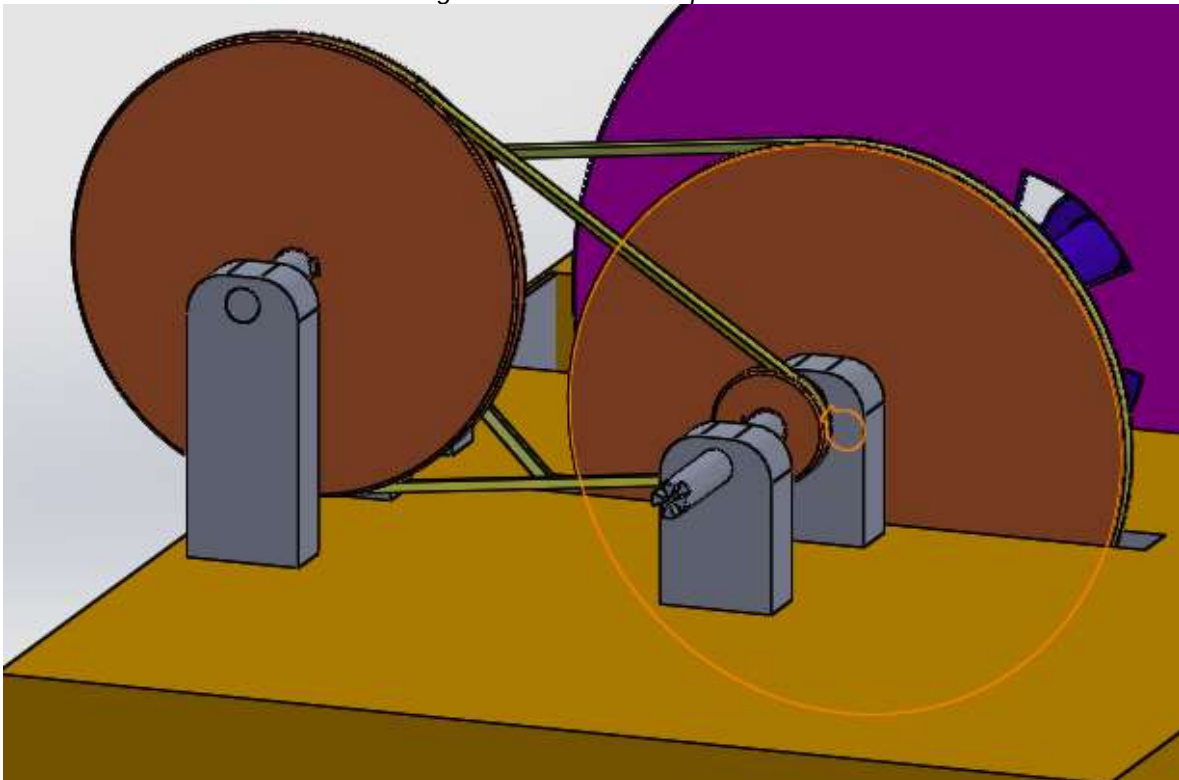


Fuente: Autores

El sistema contará con un molino de dimensiones de 150 centímetros de diámetro y 60 centímetros de ancho, con un orificio en el centro de 2 pulgadas de diámetro y

espacio para una cuña, la cual asegurará el molino al eje, evitando que gire alrededor del eje sin ejercer un torque sobre él; así mismo contará con 3 ejes que dispondrán de 4 poleas con relaciones de 10:1 *Figura 13*, dado que existen dos juegos de poleas, una primera que recibe el torque directamente del molino, relacionada a 10 veces con una segunda polea conectada por un eje a una tercera polea que se relaciona finalmente con la cuarta polea del mismo modo que la primera y la segunda; lo cual proporciona una relación entre el molino y el eje de acople al generador de 100:1 sacrificando fuerza para obtener una mayor velocidad en función del tiempo; la cual garantiza las 3600 revoluciones requeridas por un generador síncrono.

Figura 13. Relación de poleas



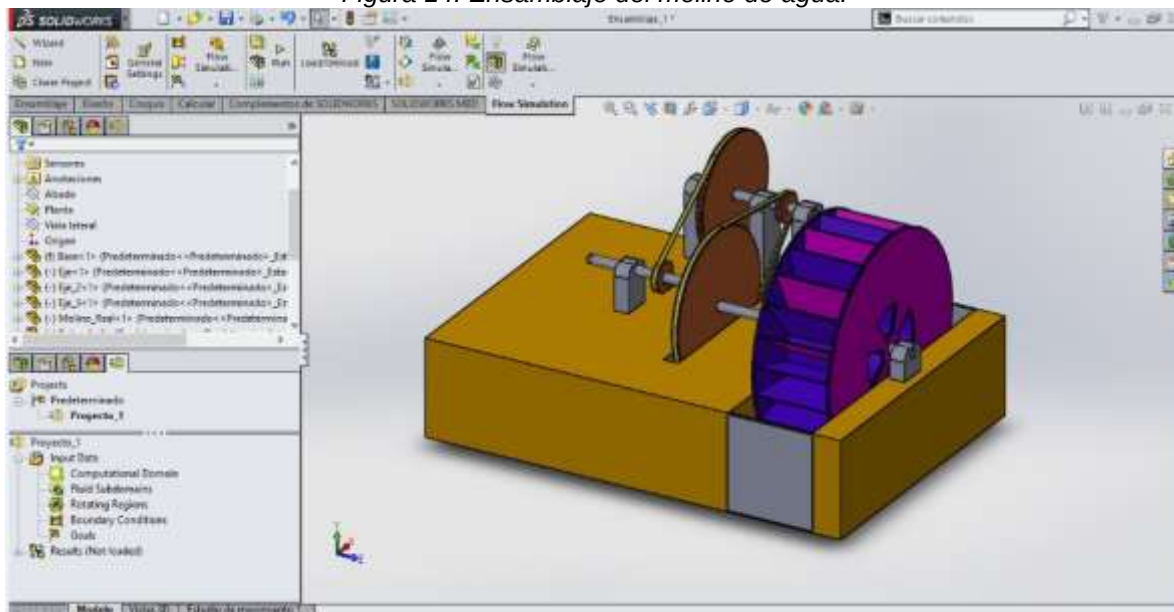
Fuente: Autores (Solid Works)

Dentro de las piezas fundamentales del molino de agua se encuentran las aspas, dado que intervienen directamente como el área transversal utilizada al momento de calcular la potencia eléctrica máxima que puede generar el sistema a construir. Las características de las aspas son de 35 centímetros por 50 centímetros, proporcionando un área transversal de 0,175 metros cuadrados, la cual aprovechará de manera directa la fuerza impulsiva del agua.

3.4. SIMULACIÓN DEL GENERADOR HIDROELECTRICO

Utilizando la ayuda del software informático Solid Works, se procede a ejecutar la simulación del funcionamiento del molino de agua en relación con las condiciones sobre las cuales se diseñó; del mismo modo se valida con el prototipo, las variables que intervienen en el cálculo del caudal, la presión y la velocidad del agua en diferentes puntos del vertedero.

Figura 14. Ensamblaje del molino de agua.

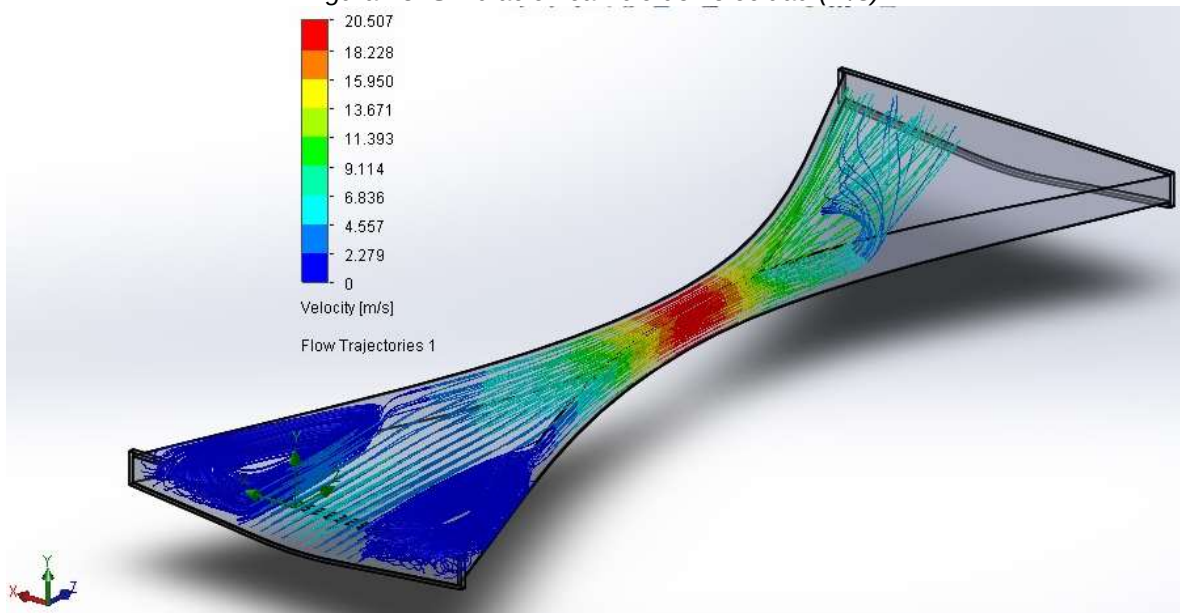


Fuente: Autores (Solid Works)

La *Figura 14* presenta el ensamblaje completo del molino de agua en el software informático Solid Works, donde se puede apreciar el modelo estructural, así como el sistema mecánico de multiplicación de revoluciones y la aplicabilidad del mismo. El sistema ha sido diseñado sobre una plataforma que no afectará el recorrido del río.

Con la ayuda del software de diseño se busca precisar el incremento de velocidad del agua en la zona estrecha del cauce del río como se observa en la *Figura 15*, más exactamente donde se planea instalar el molino de agua, con el fin de aprovechar al máximo la mayor cantidad de energía hidráulica de la afluyente.

Figura 15. Simulación cambio de velocidad (m/s).



Fuente: Autores (Simulación Solid Works)

Cabe resaltar que la velocidad del río se calculó teniendo presente mediciones realizadas en una zona del mismo, donde tanto su ancho, como su profundidad no variaban de manera significativa, o se conservaban como una constante, para no afectar los resultados obtenidos; por tal razón y de acuerdo a la búsqueda para obtener el mayor aprovechamiento de la energía hidráulica es necesario calcular el

cambio de velocidad del río y contrastarlo con los resultados que se obtuvieron de la simulación realizada. Es válido recordar que:

$$V = \frac{x}{t}$$

Ecuación 2. Fórmula de la velocidad.

Donde:

- V = Velocidad (m/s)
- x = Distancia recorrida (m)
- t = Tiempo (s)

Es de precisar que el caudal del vertedero es el mismo durante el recorrido realizado, siempre que no se vea afectado por otros ríos que desemboquen en él, de forma que para compensar la conservación de la energía hidráulica, se presenta un incremento de velocidad y/o disminución de acuerdo al cambio de las condiciones del terreno sobre el cual es sometido.

Entonces sí:

$$Q = A * V$$

Ecuación 3. Formula del caudal

Donde:

- Q = Caudal (m^3/s)
- A = Área transversal (m^2)
- V = Velocidad media del agua (m/s)

Al obtener el caudal, entra en función de constante para efectos de cálculos de la velocidad; dependiendo directamente del área, la cual es inversamente proporcional a la velocidad. De modo que se puede comprobar el cambio de la velocidad en cada

área transversal del río, despejando de la *Ecuación 3*, la velocidad; obteniendo finalmente como la fórmula la *Ecuación 4*:

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

Ecuación 4. Velocidad en función de “Q” y “A”.

4. RESULTADOS

4.1. CONDICIONES GEOGRÁFICAS

La ubicación seleccionada cumple con los requerimientos específicos de esta investigación, debido a que carece del servicio de energía, y aquellos que pueden acceder al mismo, no cuentan con un suministro de energía digno para satisfacer sus necesidades básicas. Además de contar con un afluente de agua, es importante que ella disponga de las características requeridas, por tal razón se dispuso a realizar el cálculo del caudal siguiendo los pasos propuesto en el numeral 3.1.2 en el cual se obtuvieron los datos expuestos a continuación:

Tabla 4. Datos para determinar área transversal

Profundidad:	0,65	metros
Ancho promedio:	7	metros

Profundidad a:		
Distancia	h	unidad
0,5 metros	0,50	metros
1,0 metro	0,55	metros
1,5 metros	0,60	metros
2,0 metros	0,65	metros
2,5 metros	0,70	metros
3,0 metros	0,75	metros
3,5 metros	0,80	metros

Área:	
4,55	metros cuadrados

4,0 metros	0,80	metros
4,5 metros	0,75	metros
5,0 metros	0,70	metros
5,5 metros	0,65	metros
6,0 metros	0,60	metros
6,5 metros	0,55	metros
7,0 metros	0,50	metros

Fuente: Autores

Se realiza la medición de la profundidad del vertedero, cada medio metro de ancho medido en el mismo, con lo cual se determina la profundidad promedio de la afluente; que es multiplicada por el ancho del mismo *Ecuación 5*, donde se obtendrá el área transversal del río *Tabla 4*.

Determinada el área transversal de la afluente sobre la cual se está realizando la evaluación de las condiciones para considerar la aplicabilidad del proyecto, se procede a calcular la velocidad de la corriente de agua *Tabla 5*, dando uso a la *Ecuación 2*, con la velocidad obtenida finalmente se puede determinar el caudal.

Tabla 5. Determinación de velocidad

Distancia a recorrer:	7	metros
------------------------------	---	--------

Velocidad promedio:	1,857	m/s
----------------------------	-------	-----

Tiempos medidos:		
Intento	tiempo	unidad
1	4,075	Segundos
2	3,464	Segundos
3	3,798	Segundos
4	3,9	Segundos
5	3,65	Segundos
6	4,005	Segundos
7	4,2	Segundos
8	3,47	Segundos
9	3,568	Segundos
10	3,72	Segundos

Velocidad:	
1,7178	m/s
2,0208	m/s
1,8431	m/s
1,7949	m/s
1,9178	m/s
1,7478	m/s
1,6667	m/s
2,0173	m/s
1,9619	m/s
1,8817	m/s

Fuente: Autores

Con el área transversal determinada, así como la velocidad de la corriente de agua calculada, es posible proceder a calcular el caudal, sobre lo cual se destaca que es posible que este caudal varíe de acuerdo a las condiciones climáticas y/o temporada del año, así como también depende de la medición diurna y nocturno.

$$\text{Caudal} = (\text{Velocidad} * \text{Area transversal})$$

$$\text{Caudal} = (1,857 \text{ m/s} * 4,55 \text{ m}^2)$$

$$\text{Caudal} = 8,44935 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este resultado es el caudal considerando un sistema ideal, por tal razón es necesario aplicar un coeficiente de error del 90%, debido a que la superficie del río no es lisa, presentando así cavitación en la zona profunda de este; obteniendo finalmente como resultado un caudal de $7,604415 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOLINO

Las características del molino de agua son las que determinan el aprovechamiento del caudal presente en la ubicación seleccionada en el numeral 4.1 para la instalación del mismo. Por tal razón es necesario dimensionar el sistema adecuado para obtener de este los mejores resultados.

4.2.1. Potencia eléctrica

Para la generación de energía eléctrica, es muy importante tener presente las características de diseño que se plantearon para el molino, en el numeral 3.2 del

presente documento, considerando las fórmulas para la generación de energía, y en contraste con las características del molino; se procede a calcular el potencial energético aproximado del sistema de generación de energía utilizando la fórmula propuesta en el numeral 3.2.1:

- Se calcula la potencia eléctrica máximo de la afluente, esto si se aprovechara toda la fuerza hidráulica presente en el recorrido de ella, sin tener presente las dimensiones del aspa como tal. Partiendo de la fórmula documentada con la *Ecuación 1* de este informe.

$$P = \frac{1}{2} * \frac{16}{27} * 4,55 \text{ m}^2 * 1000 \text{ Kg/m}^3 * 1,857 \text{ m/s}$$

$$P = 2503,51 \text{ W}$$

De acuerdo al cálculo realizado se podrá producir *2,5 kW* de potencia. Dado que las condiciones para la generación del molino son diferentes, y dependen del área transversal de las aspas, así como de la velocidad del agua en el estrecho donde se proyecta su instalación, a continuación se presenta los cálculos a los que se somete el molino y la potencia eléctrica generada:

$$A = a * h$$

Ecuación 5. Área transversal.

Donde:

- A = Área transversal.
- a = ancho
- h = largo

Entonces:

$$A = 0,5 \text{ m} * 0,35 \text{ m}$$

$$A = 0,175 \text{ m}^2$$

Ahora se requiere obtener la velocidad del agua en el estrecho donde se proyecta ubicar el molino de agua, utilizando las formulas de la *Ecuación 2* y *Ecuación 5*.

En esta ubicación el río se reduce a un ancho de 70 cm (0,7 m) y una profundidad aproximada de 60 cm (0,6 m) con el cual se obtiene un área transversal de $0,42 \text{ m}^2$.

$$A_e = 0,7\text{m} * 0,6\text{m}$$

$$A_e = 0,42 \text{ m}^2$$

Teniendo presente el caudal calculado en numeral 414.1 de $7,604415 \text{ m}^3/\text{s}$, se procede a calcular la velocidad del agua en esta zona aplicando la *Ecuación 4*.

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

$$V = \frac{7,604415 \text{ m}^3/\text{s}}{0,42 \text{ m}^2}$$

$$V = 18,10575 \text{ m}/\text{s}$$

Con las variables y constantes ya definidas, se procede a determinar la potencia eléctrica que podría generar el molino de agua en las condiciones geográficas seleccionadas y con las características del diseño del molino, que se relacionan a continuación:

- $A = 0,175 \text{ m}^2$
- $V = 18,10575 \text{ m}/\text{s}$

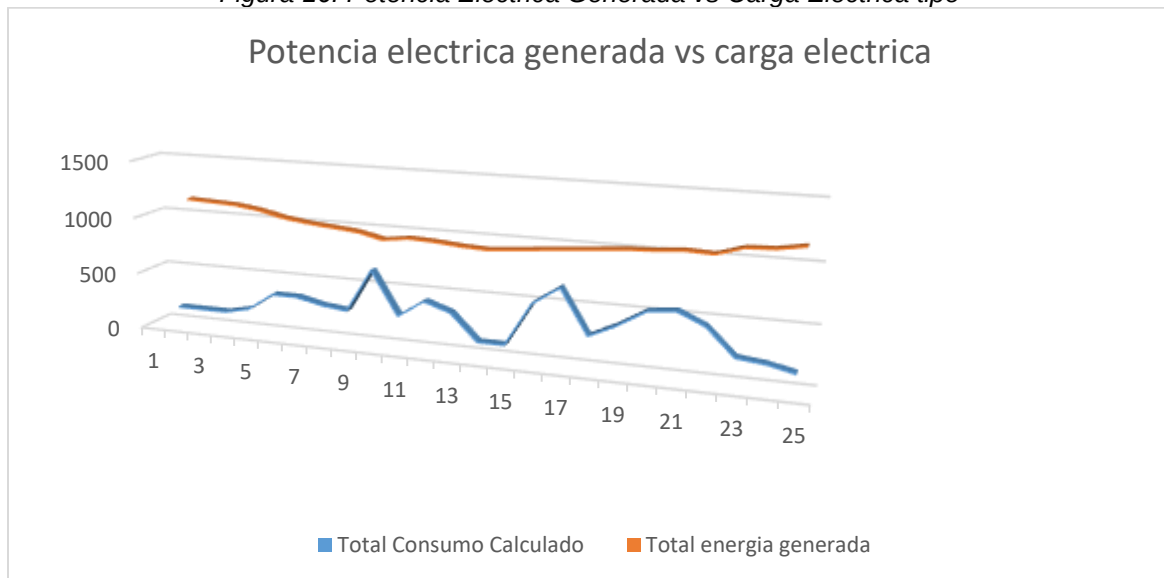
- $d = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$

$$P = \frac{1}{2} * \frac{16}{27} * 0,175 \text{ m}^2 * 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 18,10575 \text{ m}/\text{s}$$

$$P = 938,81 \text{ W}$$

Con el desarrollo y puesta en funcionamiento de este molino de agua en las condiciones y características determinadas y expuestas durante el desarrollo de este informe, se proyecta la generación de aproximadamente 0,93 kW de potencia eléctrica, que sería aprovechado para satisfacer las necesidades básicas del usuario, en un pequeño sistema de riego y/o demás necesidades de la vivienda. Ofreciendo una solución práctica a los problemas de cobertura de energía eléctrica de la zona, esto sin afectar el ecosistema existente, siendo una energía limpia y renovable.

Figura 16. Potencia Eléctrica Generada vs Carga Eléctrica tipo



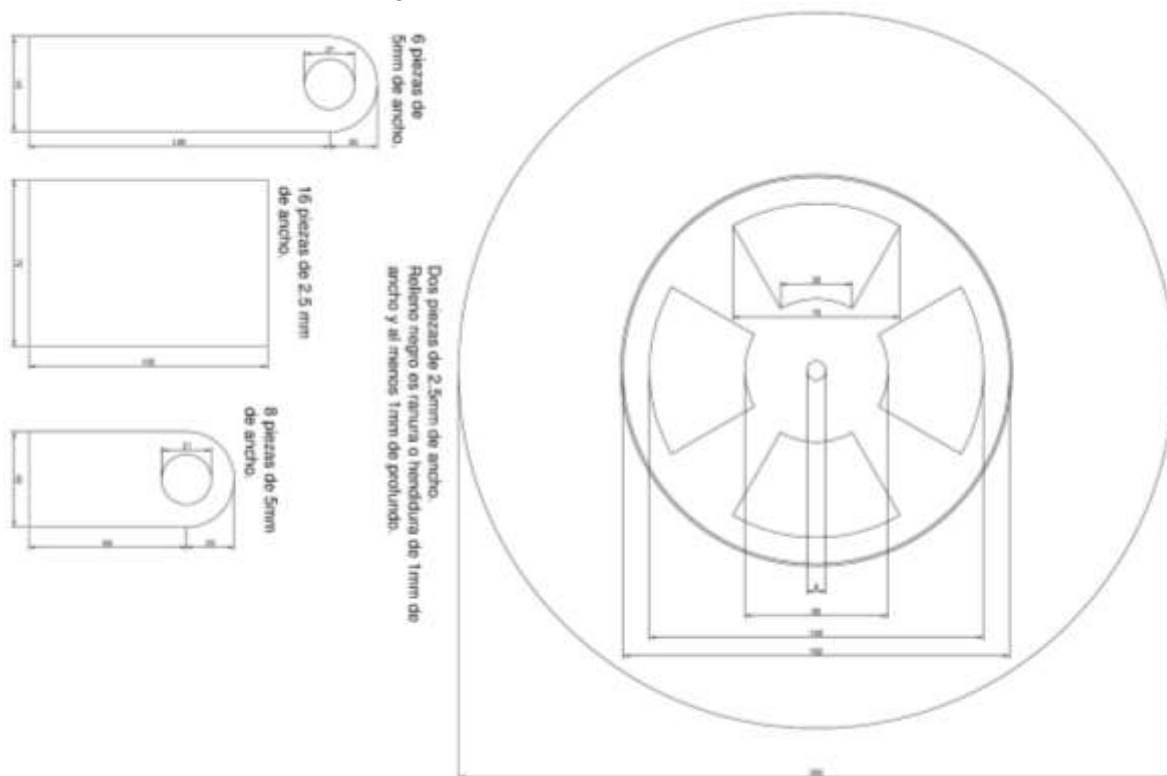
Fuente: Autores

En la *Figura 16* podemos observar como la curva de generación no es constante, debido a que a diferentes horas del día el caudal puede variar, como sucede en las noches que el nivel de los ríos se incrementa, logrando así una mayor generación de energía.

4.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Al momento de empezar a construir es muy importante pensar en el costo que ese proceso conlleva, pero más allá de los costos representativos, es importante saber identificar los materiales a utilizar; en especial si lo que se desea es construir un prototipo a escala *Figura 28*. Para empezar es completamente necesario identificar la escala sobre la cual se piensa trabajar, y llevar los planos reales a la escala de impresión a trabajar como se muestra en la *Figura 17*.

Figura 17. Molino a escala con cotas.



Fuente: Autores (AutoCAD)

Es muy importante identificar la cantidad de piezas que se van a utilizar, debido a que la construcción de este podría verse afectada si no dispone de la cantidad de piezas necesarias. Cabe destacar que si está dentro de la posibilidad realizar unas piezas adicionales que puedan reemplazar a las piezas que al momento de la construcción se rompan o se vean afectadas por el mal esfuerzo que se pudiera aplicar durante el ensamble, tendríamos un imprevisto menos al momento de la construcción.

Después de un análisis de la oferta de posibles materiales a utilizar, se ha identificado como la más practica la madera MDF; debido a que es de bajo costo, resistente y se deja trabajar muy bien, con la cual se pueden realizar cortes incluso en láser como se realizó en este proyecto *Figura 18*.

Figura 18. Piezas del prototipo en MDF



Fuente: Autores

Una de las piezas o materiales que más problemas nos causó para conseguir al momento de decidir cuál utilizar para construir el prototipo, fue el centro cilíndrico del molino *Figura 19*, intentando utilizar desde cartón, rollos de papel o madera; y después de muchos intentos fallidos que de a poco desanimaban el proceso de construcción, se encontró un material que vendría bien para la aplicabilidad que se requería.

Tras haber encontrado la pieza necesaria para continuar con el ensamblaje, se presentó el segundo problema en la construcción del prototipo y se trataba de la compatibilidad de los materiales para unirlos, debido a que una pieza era en PVC y las demás en madera prensada; resolviendo el inconveniente con un pegamento altamente eficiente.

Figura 19. Centro cilíndrico del molino



Fuente: Autores

Se procede a realizar el ensamblaje de las piezas del molino de manera milimétrica, uniendo cada una de ellas, conforme el diseño establecido y utilizando la herramienta adecuada para esta labor *Figura 20*.

Figura 20. Ensamblaje del prototipo



Fuente: Autores

Es de suma importancia que las piezas queden muy bien fijadas entre sí, debido a que se expondrá a esfuerzo al momento de probar su funcionamiento en el río que se estableció como condiciones adecuadas.

Figura 21. Pieza molino ensamblado.



Fuente: Autores

Con el molino ensamblado en su totalidad *Figura 21*, encontrándose fijo con todas sus piezas, se precisa el inicio de la construcción de la base donde reposará y funcionará el molino *Figura 22*.

Figura 22. Base molino de agua en MDF.



Fuente: Autores

Con el ensamblaje del molino como pieza independiente, y de la base con sus respectivos rodamientos, se puede iniciar el proceso de acople del sistema fijo, con el sistema móvil del proyecto *Figura 23*.

Figura 23. Sistema fijo y móvil acoplados.



Fuente: Autores

Cuando se terminó de acoplar el sistema fijo con la pieza móvil, y solo restando la instalación de las banda de trasmisión, se identifica la tercera falencia en la construcción del prototipo del molino de agua; considerando que la madera prensada o MDF no puede tener contacto con el agua porque se sopla, y teniendo como presente que el molino está destinado a utilizar todo el tiempo en el agua, se requiere de una solución que no conlleve el proyecto a empezar de cero, por tal motivo se decide iniciar un proceso de barnizado a todas las piezas del molino con el objetivo de permeabilizar en lo posible la totalidad de las piezas *Figura 24.*

Figura 24. Molino ensamblado, acoplado y barnizado.



Fuente: Autores

Aplicado el barniz y con la plena seguridad que el prototipo no se verá afectado por la humedad, se procede con la instalación de las bandas de transmisión, donde se presenta el cuarto inconveniente de la construcción del molino, dado que no se precisó la manera de instalar y desinstalar las bandas de transmisión, quedando fijo todos los sistemas acoplados. Por este motivo se procede a identificar una solución práctica para la instalación de las mismas sin afectar las piezas acopladas. A continuación se puede observar las condiciones en las que termina la construcción

del prototipo *Figura 25*, así como su aplicabilidad en el cauce de la fuente hidrográfica seleccionada *Figura 29*.

Figura 25. Prototipo construido del sistema de generación de energía.



Fuente: Autores

Durante la prueba de funcionamiento del molino de agua en el río, se puede observar la generación energía eléctrica a partir de la fuerza impulsiva del agua, tal y como se había planteado dentro de los objetivos del proyecto; demostrando que la aplicabilidad del sistema de generación de energía es viable.

Figura 26. Molino en funcionamiento en el río.



Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada, el caudal calculado del río el Hato, disponen de las características necesarias para la construcción e implementación de un sistema de generación de energía, basado en molino de agua para el aprovechamiento de la fuerza de la fuente hídrica.

Se pudo determinar las características del molino de agua que se acoplen a las condiciones de la zona, del cual se obtuvo un prototipo con el que se podrá iniciar la construcción de un sistema de generación de energía alternativo autosuficiente con bajo impacto en el medio ambiente y bajos índices de inversión en su construcción, así como en su mantenimiento.

Con la implementación de este proyecto se permite el acceso al servicio de energía eléctrica a la población vulnerable de Santander que se encuentran fuera de la cobertura del suministro de energía de los operadores de red y/o distribuidores actuales, para satisfacer las necesidades demandadas en las granjas.

La aplicabilidad del proyecto en cuestión es viable, como recurso alternativo de generación de energía eléctrica, en sectores que dispongan de una hidrografía adecuada y que por razones de infraestructura o planeación no pueden acceder al servicio de energía eléctrica

6. RECOMENDACIONES

Para el desarrollo y construcción de prototipos en proyectos futuros es necesario identificar muy bien el tipo de material a utilizar, debido a que se seleccionó un material como la madera prensada o MDF, la cual es altamente sensible al contacto con el agua, y el prototipo debía exponerse directamente y casi que permanentemente al agua; por tal razón es recomendable utilizar materiales como vinilos o acrílicos.

Es importante realizar mediciones del caudal del río en diferentes épocas del año, observando la variabilidad de las condiciones climáticas y estaciones, dado que las condiciones hidrográficas de la zona pueden variar entre estaciones como invierno y verano o incluso en situaciones como el fenómeno del niño.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarracín Lache, C. M., & Cruz Rodríguez, W. L. (2013). *Repositorio Universidad de la Salle*. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co>

Arce, G. (22 de Octubre de 2017). Cobertura energética alcanzó el 97% en Colombia. *Vanguardia liberal*.

Castañeda, M. L. (2014). *Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Clavijo, S. (6 de Abril de 2016). La crisis energética de Colombia (2015-2016). Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Congreso de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). Ley general ambiental de Colombia. Bogotá, Colombia.

Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). Régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia.

Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). Régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Bogotá, Colombia.

Congreso de Colombia. (13 de Mayo de 2014). Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá, Colombia.

CREG 037. (25 de Junio de 2004). Metodología para el cálculo de indicadores de calidad para la continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica en sistemas de transmisión regional y/o distribución local. Medellín, Antioquia, Coombia.

Docstoc. (2005). *Docs toc*. Obtenido de <http://www.docstoc.com>

El Tiempo. (7 de Octubre de 1995). Hidroeléctricas, problema o solución. *Diario el Tiempo*.

Energías Renovables. (17 de Noviembre de 2014). *Energías Renovables*. Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/hidraulica/energia-hidraulica-ventajas-desventajas/>

Fabio Sierra, A. S. (11 de 08 de 2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. Colombia: SENA.

Fernández, M. E. (03 de 2013). FONDO FINANCIERO DE PROYECTOS DE DESARROLLO . *fectos del cambio climático en la producción de cultivos por sectores*. Colombia: IDEAM.

Floréz, R. O. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: Ediciones de la U.

Garrido, A. A. (2009). *La energía como elemento esencial de desarrollo*.

Geographic, N. (2010). *Energía hidroeléctrica*.

Grupo EPM. (2016). *Empresas Publicas de Medellin*. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/Clientes-y-usuarios/Empresas/Energia/Apagar-Paga

Guerra, A. J. (31 de 03 de 2010). *Mecanotecnia*. Obtenido de <http://mecanotecnia.blogspot.com>

Gutiérrez, L. (2016). *Ministerio de Minas y Energia*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/tips-de-ahorro-de-energia>

Hernández, W., Alvarado, L., & López, M. (2013). *Proyecto de Factibilidad de implementación de Microgeneradoras Hidroelectricas Rurales en Cundinamarca*. Bogotá: Universidad EAN.

ICONTEC. (25 de Noviembre de 1998). Norma Técnica Colombiana 2050. *Código Eléctrico Colombiano*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Ideam. (2016). www.ideam.gov.co. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima/fenomenos-el-nino-y-la-nina>

Juan Felipe Bustos González, A. L. (2014). *Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia*. Bogotá: Centro de investigaciones para el desarrollo.

Ley 1715. (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Bogotá.

Ley 697. (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*. Bogotá.

Mantilla, K. (6 de Abril de 2016). Gerente ESSA se reunió con alcaldes del sur de Santander. *Vanguardia liberal*.

Marcela Bonilla, H. H. (2017). *Factores de emisión del sistema interconectado nacional colombia-SIN*. Bogotá: UPME.

Ministerio de Minas y Energía. (30 de Agosto de 2013). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. Bogotá, Colombia.

Ministerio del medio ambiente. (8 de Agosto de 2016). Resolución 1283 de 2016. Bogotá, Colombia.

Orvisa Comunicaciones. (2016). Energías Renovables. *Mundo Eléctrico*, 46-47.

Pereira, L. S. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Lisboa: Europea-Americana.

Portal del plurista. (2015). *Portal del Plurista*. Obtenido de <http://www.portaldelpluralismo.cl/>

Siabato, F. P. (11 de 10 de 2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Javeriana.

Subdirección de Planeación Energética. (2003). *Plan Energético Nacional*. Unidad de Planeación Minero Energética.

U. Distrital. (2107). *Universidad Distrital Francisco de Paula*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/>

U. Externado. (2016). *Medio Ambiente - Universidad Externado*. Obtenido de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/>

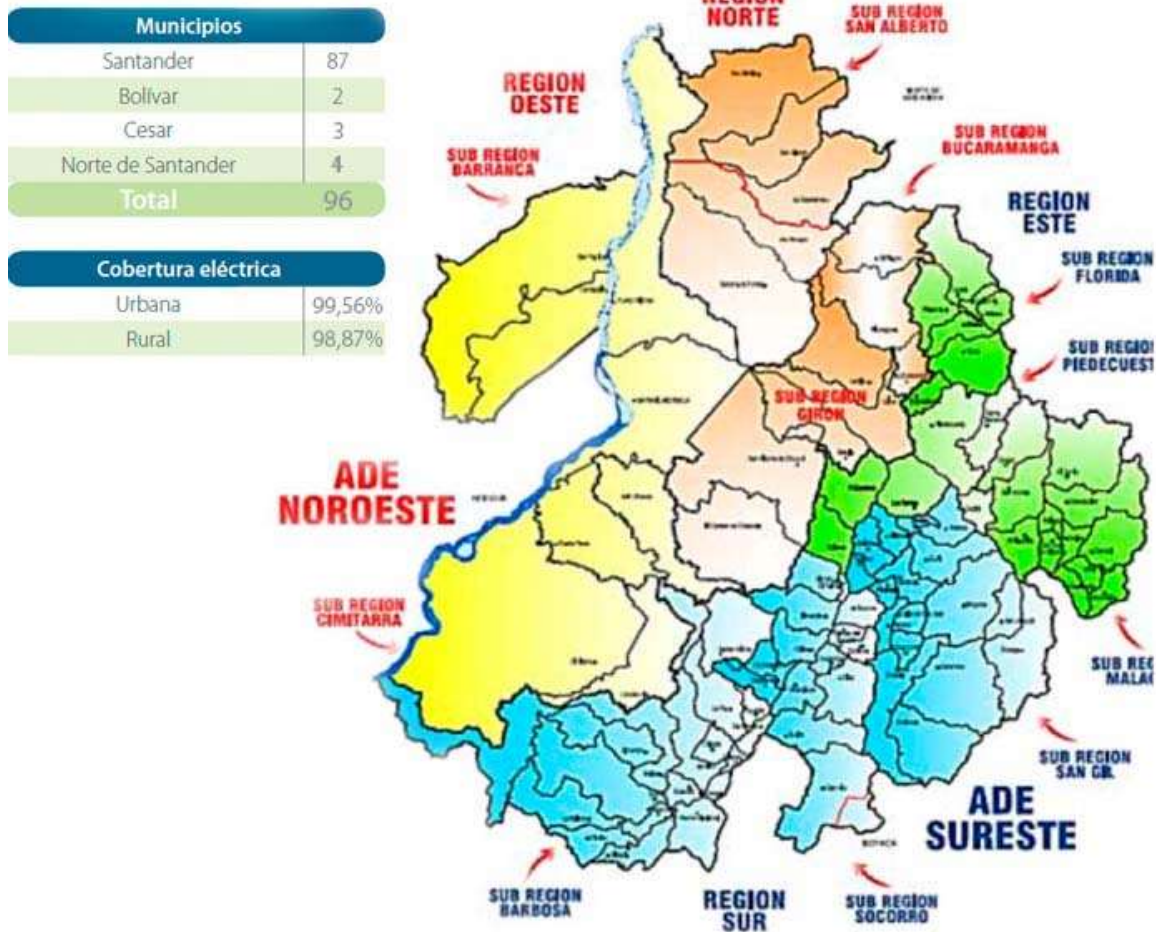
UTP. (2014). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/>

UPME. (2016). *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano*. Bogotá: Siame.

UPME. (Diciembre de 2016). *SIEL*. Obtenido de SIMEC: http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf

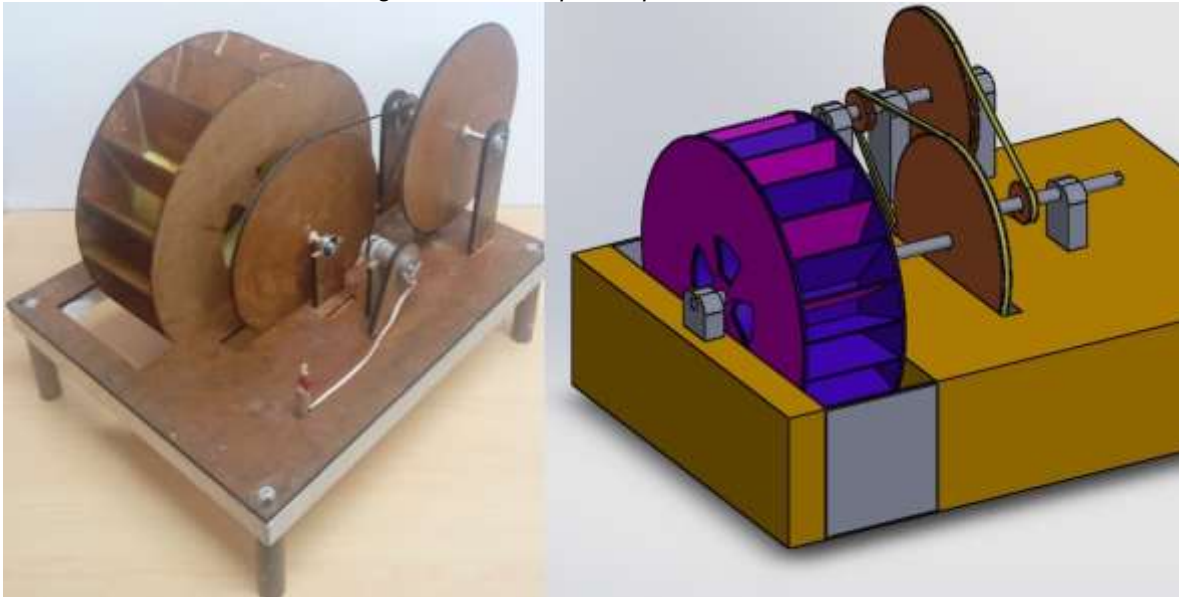
9. ANEXOS

Figura 27. Cobertura Electrificadora de Santander SA.



Fuente: www.essa.com.co

Figura 28. Prototipo maqueta vs diseño.



Fuente: Autores

Figura 29. Molino de agua en funcionamiento.



Fuente: Autores