

Diseño de un banco de laboratorio de energía fotovoltaica y energía eólica

Design of a laboratory bank station for photovoltaic and wind energy

Santos Pimiento, Edinson Fabián¹, Silva Gutiérrez, Luis Carlos¹, Sanabria Muñoz, María Juliana²
Fundación Universitaria de San Gil - UNISANGIL, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería de Mantenimiento
San Gil, Santander, Colombia

edinsonsantos@unisangil.edu.co
luissilva@unisangil.edu.co
msanabria@unisangil.edu.co

Fecha de recepción: mayo 10 de 2018

Fecha de aceptación: febrero 21 de 2019

Resumen—Este artículo contiene el diseño de un banco de energías renovables, principalmente energía solar y eólica para la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Fundación Universitaria de San Gil UNISANGIL. El banco utiliza un diseño ergonómico y ajustado, teniendo en cuenta su factibilidad para ser desplazado, además de su sencilla interfaz en cuanto a los dispositivos y puntos para la toma de datos importantes en la realización de las prácticas a desarrollar. El montaje cuenta con un panel mono-cristalino con potencia de 150 w, un aerogenerador de eje horizontal con potencia de 400 w, una batería de 12V 12A, un inversor de 500 w y un controlador de carga 12 V con corriente programable, junto a una serie de prácticas aplicadas a el aprendizaje del estudiante.

Palabras clave— Banco de laboratorio, energía renovable, energía solar y eólica.

Abstract- This article contains the design of a renewable energy study bank station (for solar and wind energy mainly) to be used by the Faculty of Natural Sciences and Engineering of the University Foundation of San Gil, UNISANGIL. The station is based on an ergonomic and adjusted design, taking into account its viability to be moved, it also has a simple interface referring to devices and points for the collection of important data in terms of carrying out the necessary practices. The assembly has a monocrystalline panel with power of 150 w, a wind turbine of horizontal axis with power of 400 w, a battery of 12V 12A, an inverter of 500 w and a controller of load 12 V with programmable current, along with a series of practices applied to the students learning process.

Keywords- Laboratory bank station, renewable energy, solar and wind energy.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la gran problemática, es el constante deterioro del medio ambiente, ya que ocasiona daños a la biodiversidad y contribuye de gran manera al acelerado calentamiento global por el uso excesivo de combustibles fósiles. Aproximadamente el 79.5% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, el 2.2% de la energía nuclear, mientras que el 18.2% restante proviene de fuentes renovables. Estas últimas se encuentran asociadas en un 7.8%, al uso tradicional de la biomasa en aplicaciones como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios, el otro 10.4% se encuentra distribuido en 3.7% generación de hidroenergía, 4.1% generación de energía térmica a partir del sol, geotermia y biomasa, 1.7% generación de energía eléctrica a través del uso de tecnologías relativamente modernas como la eólica y la solar fotovoltaica, con un pequeño aporte de generación de energía de los mares en forma de mareas, oleaje, gradientes térmicos o gradientes salínicos. Finalmente, se suman al aprovechamiento de fuentes renovables el uso de biocombustibles en el sector transporte con un 0.9% [1].

El propósito de este artículo es dar a conocer el diseño del banco de laboratorio, gracias una descripción de su estructura, funcionamiento y características, con el fin de mostrar la generación de energía a partir de fuentes alternativas de una manera didáctica.

¹ Ingeniero de Mantenimiento, UNISANGIL

² Ingeniera Mecánica, Docente programa Ingeniería de Mantenimiento, Coordinadora semillero de Investigación en Energía Renovables RESD, UNISANGIL.

II. DISEÑO DEL BANCO DE LABORATORIO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA

A continuación, se presentan los dispositivos contenidos en el diseño del montaje:

A. Panel solar

Una de las principales tecnologías del sistema para la generación de energía eléctrica por medio de la luz solar, son los paneles fotovoltaicos [2]. Para su selección, el atlas de radiación solar en Colombia [3] aporta la estadística del comportamiento a través del tiempo de la irradiación solar entre otros aspectos a tener en cuenta. En la figura 1 se presenta el mapa de la irradiación en Colombia.

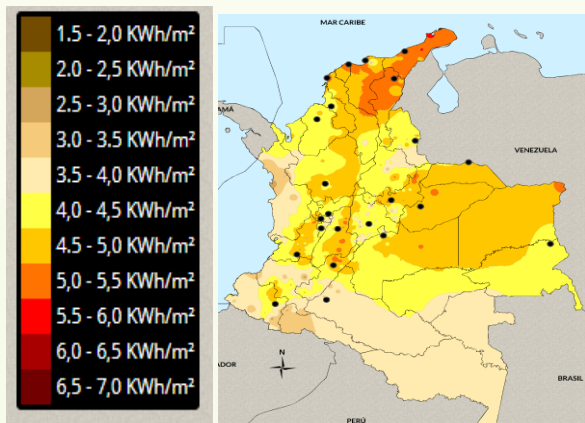


Fig. 1 Mapa irradiación solar IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en Colombia) [3].

El panel solar capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento como energía eléctrica, permitiendo que los fotones, o partículas de luz, al entrar en contacto con las celdas liberen los electrones de los átomos, conocidos como efecto fotoeléctrico, generando un flujo de electricidad [4]. Las placas de silicio o paneles solares realmente son conformadas por muchas celdas enlazadas entre sí.

Como se observa en la tabla 1, la irradiación promedio es de 4 horas solar pico, para la generación directa de energía, utilizando y aprovechando las partículas que viajan a través de la luz solar, las partículas entran en contacto con las celdas solares mediante un choque, de este aprovechamiento, los electrones son los que se desprenden de los fotones, siendo absorbidos por las celdas y dando paso a la corriente eléctrica, dispuesta y dirigida a un circuito exterior.

TABLA 1. ESTUDIO SOLAR DE LA ZONA [3].

IRRADIACIÓN GLOBAL VALORES PROMEDIO (KWH/M ²)	
enero	4 - 4.5
febrero	4 - 4.5
marzo	4.5 - 5
abril	4 - 4.5
mayo	4.5 - 5
junio	4 - 4.5
julio	4 - 4.5
agosto	4.5 - 5
septiembre	4.5 - 5
octubre	4 - 4.5
noviembre	4.5 - 5
diciembre	4 - 4.5

En la figura 2 se presentan los pasos para el aprovechamiento de la energía solar, donde intervienen la energía luminica como fuente primaria de entrada a través del efecto fotovoltaico, la salida es la generación de energía eléctrica.

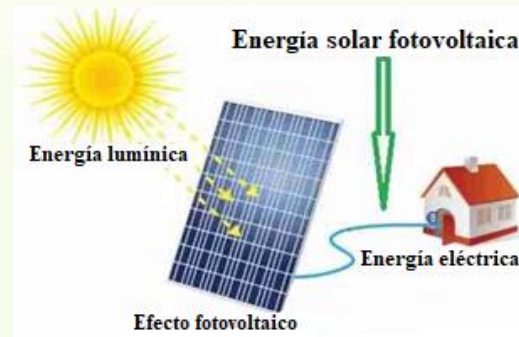


Fig. 2 Pasos para el aprovechamiento de la energía solar.

B. Dimensionamiento sistema fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se debe conocer la energía que va a consumir dicho equipo. En el caso del banco de laboratorio se realizó el cálculo para dos luminarias y una motobomba de medio caballo de potencia. Por otra parte, de acuerdo al atlas de radiación solar de Colombia, la irradiación anual promedio en el campus universitario es de 4.0 kWh/m², de ahí se obtiene el número de horas solares pico. Una vez conocidos estos datos se calcula la potencia mínima requerida por el panel.

$$WP = \frac{ET}{HSP}$$

Donde:

WP: potencia mínima requerida del panel

HSP: horas solares pico

ET: energía necesaria para el funcionamiento de los elementos del sistema.

Para el cálculo del número de paneles es necesario conocer la energía en amperios hora, para esto se debe asumir el valor

del voltaje del sistema, que, para el caso del banco de laboratorio, tomó de 12v.

$$E_{ah} = \frac{ET}{VN_{SIS}}$$

Donde:

Eah: energía en amperios hora

ET: energía total

VN_{SIS}: voltaje nominal del sistema.

Corriente pico del sistema

$$I_{pico} = \frac{E_{AH}}{\eta_{bat} * HSP}$$

Donde:

I_{pico}: corriente pico del sistema

η_{bat}: eficiencia de la batería, para este caso se asumió de un 80%

Número de paneles en paralelo

$$P_{paralelo} = \frac{I_{pico}}{I_{pico\ del\ panel}}$$

Número de paneles en serie

$$P_{serie} = \frac{V_{nominal}}{V_{nominal\ del\ panel}}$$

Número de paneles totales

$$NP_{total} = P_{paralelo} * P_{serie}$$

Finalmente se obtiene el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, en este caso por tratarse de un sistema pequeño se requiere un solo panel con una potencia nominal superior a 98.2W.

C. Aerogenerador

Los aerogeneradores son dispositivos utilizados para aprovechar la fuerza del viento, fuerza que se transforma en electricidad, a través del movimiento de las aspas que lo conforman [5]. En la figura 3 se presenta el proceso de generación de la energía eólica.

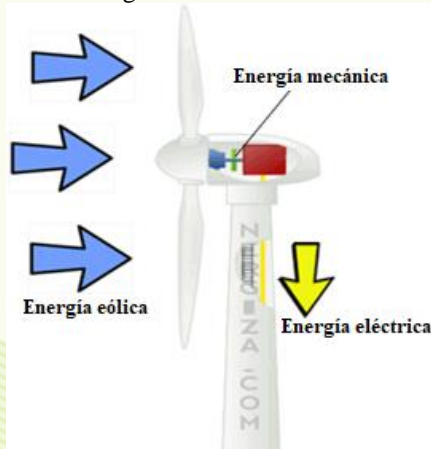


Fig. 3 Generación de la energía eólica.

Los aerogeneradores de eje horizontal disponen de una torre que soporta el peso de la góndola, teniendo rasgos robustos y muy buenos cimientos. Las palas o aspas, capturan la fuerza del viento y transmiten su potencia hacia el buje, el cual está conectado, mediante otro eje, a la multiplicadora, que está situada dentro de la góndola. La góndola, es la caja que acoge la multiplicadora, el generador eléctrico y los sistemas de control, orientación y freno. La energía eólica, es producto de la energía solar que ejerce cambios considerables en la presión y temperatura en la atmosfera del planeta, estos cambios son los responsables del movimiento de masas de aire, por consiguiente creando viento aprovechado por los generadores eólicos, adquiriendo la energía cinética y transformándola en energía mecánica, energía transmitida por un eje al generador, responsable de llevar la última fase de este proceso, convirtiéndola en energía eléctrica y transmitiendo al sistema [6].

C. Dimensionamiento del sistema eólico

Para el dimensionamiento del sistema eólico se determinaron las horas de funcionamiento y la energía generada por el aerogenerador.

De acuerdo con la velocidad del viento aprovechable [7] en la zona se presenta entre 3 y 5 m/s como se puede apreciar en la figura 4.

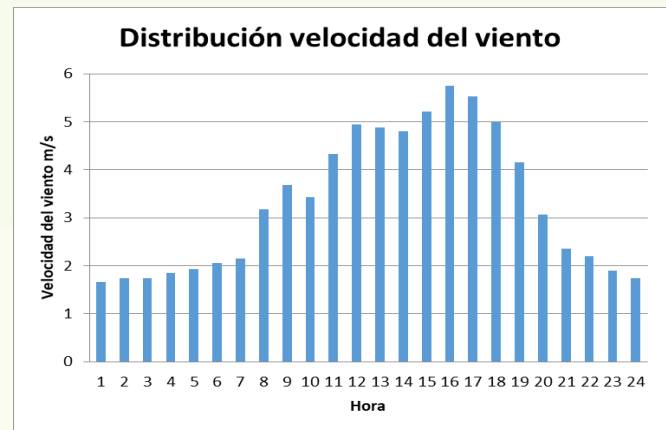


Fig. 4 Distribución velocidad del viento - UNISANGIL [7].

El aerogenerador comercial seleccionado tiene una potencia nominal de 420w a 14,5 m/s, por lo que con una velocidad de 4 m/s generara 115w.

$$E_{aero} = POT_{aero} * horas$$

Donde:

POT_{aero} : es la potencia del aerogenerador

Horas: son las horas de trabajo del aerogenerador

E_{aero} : es la potencia que genera el aerogenerador

D. Regulador de carga

La función del regulador de carga es controlar constantemente el estado de carga de las baterías, así como regular la intensidad de carga con el fin de alargar la vida útil de las mismas. Su ubicación es entre el generador eléctrico o la fuente de generación de energía y el campo de baterías, encargado de controlar el flujo de los equipos [2].

El control de flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de intensidad (I) y voltaje (V), inyectado a las baterías. Este flujo de energía depende principalmente del estado de carga de las baterías, y además de la energía que se genera por el campo fotovoltaico o por la energía dispuesta por el aerogenerador. El regulador de carga controla constantemente el estado de carga de las baterías, teniendo en cuenta el llenado óptimo para así alargar la vida útil de las mismas. Conscientes de la necesidad existente se optó por un regulador híbrido (solar-eólico), el cual satisface las necesidades del banco [6].

E. Inversor de voltaje

Este dispositivo convierte un determinado voltaje de entrada de corriente continua (CC), en otro voltaje de salida de corriente alterna (CA), en otras palabras, hace que el flujo de la corriente continua cambie de dirección y forma, periódicamente haciéndola similar a la corriente alterna [8].

Teniendo en cuenta que la corriente continua es constante y la carga eléctrica fluye en una sola dirección [6] y que por el contrario, en la corriente alterna la magnitud y dirección del flujo cambia de forma periódica con valles y picos que aparecen en intervalos regulares, este dispositivo utiliza circuitos electrónicos para hacer que el flujo de la corriente continua cambie de dirección de forma periódica haciéndola similar a la corriente alterna.

El inversor emplea una serie de filtros, para hacer que estos cambios de dirección sean suaves y regulares de forma que la energía eléctrica resultante pueda ser usada en la mayoría de dispositivos eléctricos domésticos. Los inversores son recomendados, ya que, la corriente alterna es mucho más fácil de cambiar que la corriente continua, por ello es frecuente ver inversores en las fuentes de alimentaciones del PC y baterías, como la de los automóviles y la mayoría de fuentes de energía renovables [4]. En la figura 5 se presenta una conexión inversión de voltaje.

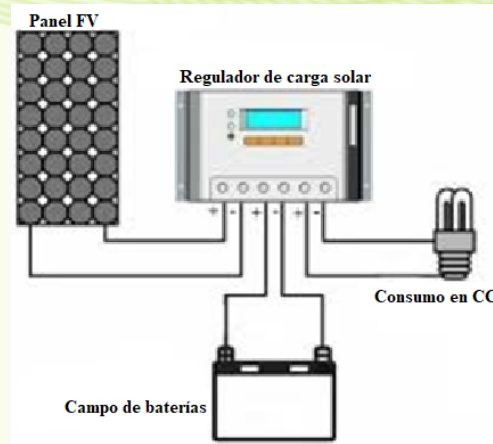


Fig. 5 Conexión inversor de voltaje.

E. Subsistema del inversor

Para la selección del inversor se requiere conocer la demanda de energía del sistema y la eficiencia promedio teórica de los inversores, en este caso se tomó de 85%

$$CAP_{inversor} = \frac{ET * 100\%}{eficiencia\ del\ inverso}$$

Donde:

CAP_{inversor}: potencia mínima del inversor

ET: energía necesaria para el funcionamiento de los elementos del sistema

F. Baterías

Las baterías en un sistema solar fotovoltaico o en un sistema eólico, funcionan debidamente como fuentes de almacenamiento de la energía producida, por el panel solar y el aerogenerador, para ser utilizada posteriormente cuando los dispositivos de generación, no están en uso [5]. Las baterías permiten proveer una intensidad de corriente superior que la que puede ofrecer un panel fotovoltaico en funcionamiento. Este sería el caso si se utilizan varios aparatos eléctricos en el mismo instante.

La función fundamental de las baterías es aportar energía eléctrica en el sistema, justo en el momento en que los paneles fotovoltaicos o el aerogenerador, no puedan generar la capacidad eléctrica necesaria, por ejemplo: durante la noche o condiciones de poca luminosidad por parte del panel solar, y en condiciones de disminución del viento en cuanto al aerogenerador.

En el momento en que los paneles fotovoltaicos o el aerogenerador, pueden generar más energía eléctrica que la demandada por el sistema eléctrico, la energía que se requiere para el funcionamiento del dispositivo será suministrada por

el panel o el aerogenerador y la energía residual no admitida por los dispositivos, se utilizará para cargar las baterías [2].

Capacidad del banco de baterías

$$cap\ bat = \frac{capt * n}{PDD}$$

Donde:

Cap bat: capacidad del banco de baterías

n: días de autonomía como son dos horas, se divide las dos horas en veinticuatro, que son el número de horas totales de un día.

PDD: profundidad de descarga de la batería, para el banco de laboratorio se tomó del 70%

Baterías en serie

$$NB_s = \frac{Vn}{Vn\ BAT}$$

Donde:

NB_s: Baterías en serie

Vn: voltaje nominal del sistema (12v)

VnBAT: voltaje nominal de la batería (12v)

Baterías en paralelo

$$NB_p = \frac{cap\ bat}{AH\ bat}$$

Donde:

NB_p: Baterías en paralelo

Cap bat: capacidad del banco de baterías

AH bat: cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de la batería durante una hora

Número de baterías totales

$$NB_t = NB_p * NB_s \quad NB_t = 1$$

Donde:

NB_t: Número de baterías totales

NB_p: Baterías en paralelo

NB_s: Baterías en serie

III. RESULTADOS

A) Diseño del circuito eléctrico

Para el banco de laboratorio se seleccionó un panel comercial de 150W, en el cual va conectado un sensor de temperaturas y de igual manera un aerogenerador con una potencia nominal de 400W, los cuales se conectan a los respectivos bornes negativos y positivos del controlador de carga híbrido (eólico-solar), en el mismo punto se conecta un voltímetro y amperímetro DC dual digital.

El controlador de carga se dispone para controlar el paso de energía a las baterías y dispositivos respectivamente, teniendo en cuenta la necesidad encontrada en cada punto, donde se conecta un voltímetro y un amperímetro digital DC digital.

A continuación, en la figura 6 se presenta el diagrama esquemático de conexión del sistema, se encuentran los bornes de entrada del inversor de corriente, luego a la salida del mismo se conecta a una conexión térmica destinada para las cargas AC dual, en este punto se conecta un voltímetro y amperímetro digital AC dual, para luego ser distribuida a los respectivos puntos de conexión de los equipos.

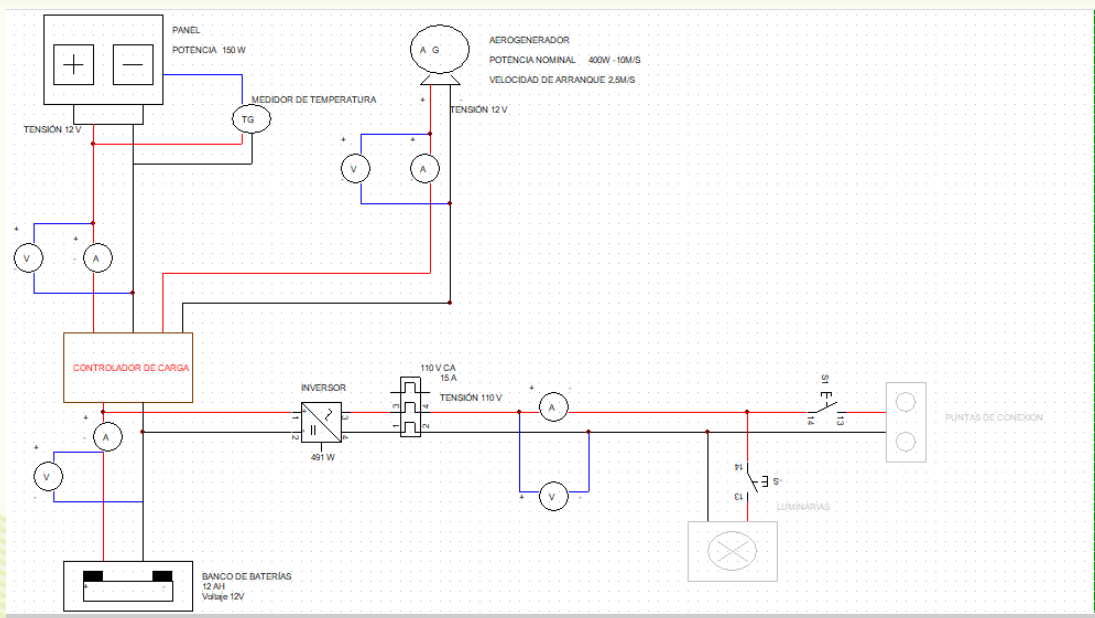


Fig. 6 Diagrama eléctrico del sistema.

B) Diseño de la estructura

El diseño del banco como tal, es principalmente ejecutado sobre una estructura móvil, dispuesta para el fácil desplazamiento de la totalidad del banco con el mínimo esfuerzo, el cual esta reforzado por una serie de tubos de aluminio los cuales componen el esqueleto resistente y liviano, fomentando la ergonomía. Sobre este se ubica la caja de elementos, la cual cuenta con la amplitud necesaria para la instalación de los equipos, así mismo con la capacidad de ser abierta dando como objetivo la inspección y mantenimiento de los equipos allí encontrados. Además, al ser de aluminio da protección a los elementos dispuestos en caso de accidente.

Junto a este se encuentra la estructura del panel, la cual le permite ser inclinado en un rango determinado por el operador del banco.

La estructura al ser compuesta principalmente en aluminio da una vida útil extensa, además es resistente al agua, la corrosión y los rayos ultravioleta, su bajo peso específico es idóneo para esta estructura, teniendo la certeza que esta deberá ser transportada para el desarrollo de las prácticas. Su diseño ergonómico justifica la capacidad de la estructura, siendo cómoda, desde su desplazamiento hasta el lugar al cual será situado, teniendo en cuenta que la función del banco es llevar el entorno práctico fuera del aula con un entorno más didáctico.

En las figuras 7 y 8 se presentan los planos del banco de energías alternativas junto al aerogenerador y panel solar fotovoltaico.

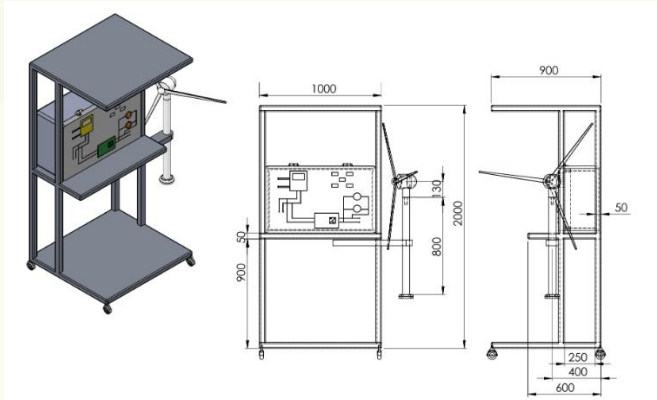


Fig. 7 Dimensiones de la estructura móvil y aerogenerador.

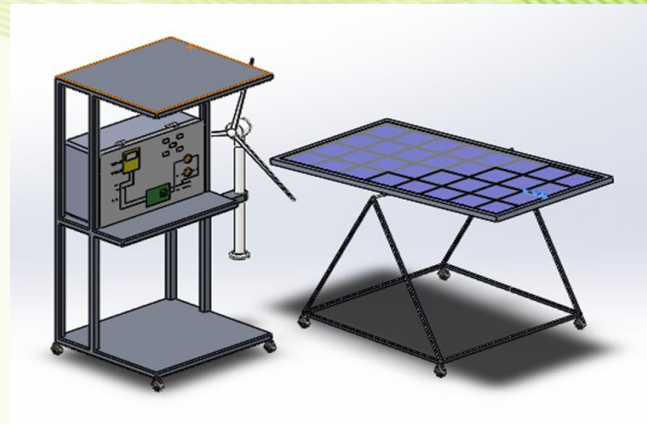


Fig. 8 Estructura final, banco de energías alternativas.

Finalmente, una vez identificada la forma en que se desea la construcción del banco y los elementos que se van a utilizar para la elaboración del mismo, se presenta a continuación en la figura 9, la simulación del montaje del banco con cada uno de sus componentes.

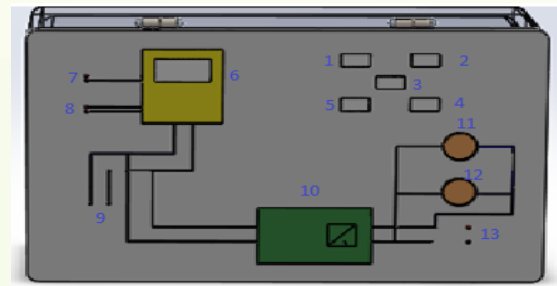


Fig. 9 Montaje del banco con sus componentes.

- Indicador de amperaje y voltaje DC para panel (1)
- Indicador de amperaje y voltaje DC para aerogenerador (2)
- Indicador de temperatura panel (3)
- Indicador de amperaje y voltaje AC para panel (4)
- Indicador de amperaje y voltaje AC para aerogenerador (5)
- Controlador de caga híbrido (eólico-solar) (6)
- Punta de conexión para panel (7)
- Puntas de conexión para aerogenerador (8)
- Puntas de conexión para batería (9)
- Inversor de corriente (10)
- Conexión para lámpara No 1 (11)
- Conexión para lámpara No 2 (12)
- Puntas de conexión para el motor (13)

C) Guías prácticas de laboratorio

Las guías se encuentran enfocadas en compartir los conocimientos básicos de la generación de energía limpia, teniendo en cuenta que el estudiante adquiera los principios básicos de funcionamiento y producción de la misma, dando la posibilidad de que los conocimientos obtenidos puedan ser aplicados en proyectos benéficos en el área.

Las guías de laboratorio se enfocan en seis prácticas, cada una de ellas presenta los objetivos de la práctica, las competencias a desarrollar, una breve introducción del tema,

las herramientas a utilizar en la práctica, el procedimiento (prelaboratorio y el desarrollo del laboratorio) y finalmente las conclusiones:

- Práctica 1. Introducción al laboratorio de energía solar fotovoltaica y eólica y sus componentes.
- Práctica 2. Eficiencia en paneles fotovoltaicos con relación al ángulo de inclinación.
- Práctica 3. Eficiencia en el aerogenerador con relación a la dirección del viento.
- Práctica 4. Eficiencia del panel solar con respecto a las sombras.
- Práctica 5. Eficiencia del sistema híbrido (eólico-solar).
- Práctica 6. Distribución horaria de la radiación y del viento.

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó un banco de pruebas para la experimentación con generación de energía eléctrica por medio de un panel solar de 150 W y un aerogenerador de 400 W. Finalizando con un diseño de fácil transporte, que se acopla a un presupuesto asequible y las necesidades de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de UNISANGIL.

Se determinaron, las características que son solicitadas para la selección de equipos y materiales por medio de los cálculos, además de su adaptabilidad con respecto a la zona teniendo en cuenta los niveles de radiación y velocidad del viento presente.

Mediante el desarrollo de este banco, se busca que el estudiante pueda adquirir los conocimientos básicos de obtención de energía limpia, identificando los elementos o componentes necesarios, además de los principios de funcionamiento de los dispositivos útiles para este proyecto.

Lo que se ha aportado en cuanto a conocimiento por parte del proyecto, es el enfoque del estudiante en un alto grado de interés en cuanto a la energía solar y eólica, descubriendo su producción y sirviendo como apoyo para más investigaciones que podrían llegar a desarrollarse en el área.

Se propusieron una serie de guías de laboratorio para ser implementadas por los estudiantes, estas guías pueden ser desarrolladas como proyectos de clase. Con el fin de motivar al estudiante a utilizar un medio de producción energética poco convencional, buscando nuevas aplicaciones y desarrollando destrezas en esta área.

REFERENCIAS

- [1] REN21 (2018). Renewables 2018 Global Status Report. Disponible en <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
- [2] L. Bohórquez, Implementación de equipo energía renovable (solar y eólico) en la universidad militar nueva granada. Bogotá.
- [3] Mapa de radiación en Colombia (2017) IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en Colombia). [En línea]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [4] Castillo, R., Martínez, R., Delgado, F., & Campos, I. (2013). Sistema híbrido fotovoltaico-eólico. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/13/energia.html>
- [5] Patel, M. R. (1999). Wind and Solar Power Systems. CRC Press.
- [6] Aerogeneradores (2016), ecovive: Los aerogeneradores según la orientación del rotor. Recuperado de <http://ecovive.com/los-aerogeneradores-segun-la-orientacion-del-rotor/>
- [7] Araque, C., González, L. Diseño de un sistema de energía eléctrica híbrido basado en el potencial eólico y solar de UNISANGIL y su evaluación técnico-económica (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria de San Gil, San Gil. 2017.
- [8] Durán, M., & Durán, E. (2015). Laboratorio de enseñanza de energías limpias: el caso de la Universidad Simón Bolívar y su impacto en la comunidad Camurí Grande – Anare (Venezuela). [En línea]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1CrF5fFWi4wJ:revistas.ufps.edu.co/ojs/index.php/respuestas/article/download/631/650+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- [9] Energía solar (2016), Energía solar: energía solar fotovoltaica. [En línea]. Disponible <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>
- [10] L Peralta y R. Eduardo. La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare. 2011. [En línea]. Disponible <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1085>
- [11] UNISANGIL. (2016). Direccionamiento estratégico UNISANGIL [En línea]. Disponible http://www.unisangil.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=480&Itemid=650