

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS, DE UN GENERADOR HÍBRIDO A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (GENERADOR EÓLICO-FOTOVOLTAICO) PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”

Mario Jiménez, Félix Manjarrés, Katty Mullo, Kléver Herrera

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador

RESUMEN: El Ecuador es un país que se encuentra incursionando en las energías renovables no convencionales y por ende la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE extensión Latacunga está fomentando la formación de profesionales con conocimientos en generación eléctrica, así como el uso de dichas energías.

En el presente trabajo, se diseñó e implementó un módulo de laboratorio para pruebas de generadores eólico y fotovoltaico, usando una interfaz amigable.

Palabras Clave: Generación eléctrica Energías Renovables No Convencionales, laboratorio, generadores, eólico, fotovoltaico, interfaz amigable.

ABSTRACT: Ecuador is a country that is moving into non-conventional renewable energies and thus the Armed Forces University-ESPE Extension Latacunga is promoting the training of professionals with expertise in power generation and use of renewables.

In this paper, we designed and implemented a laboratory module for

testing wind and photovoltaic generators, using a friendly interface.

Keywords: Power Generation Non-Conventional Renewable Energy, laboratory, generators, wind, photovoltaic, friendly interface.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la última década del siglo XX las ERNC empiezan a tener desarrollos sustanciales, constituyéndose actualmente como la alternativa para el futuro de la generación eléctrica, además nace el interés por la preservación del planeta para evitar la contaminación por los gases emitidos de CO₂ de las diferentes generadoras de energía que utilizan combustibles fósiles, orientándose a apoyar el desarrollo sostenible y disminuyendo así la amenaza ambiental, a pesar de que represente una gran inversión de capital. Por lo que son los países del primer mundo los pioneros en invertir gran cantidad de recursos en el desarrollo de estas tecnologías.

Alrededor del planeta el desarrollo de dichas energías varían mucho entre la regiones por depender en gran medida de los recursos naturales disponibles, esto si bien es un limitante, no es un

factor que impida la generación eléctrica; indicando así que el desarrollo que han tenido estas energías, en las últimas décadas las ha hecho competitivas y viables para cualquier medio y condición.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE extensión Latacunga, no existen laboratorios de Energías Renovables no Convencionales, por lo que se ve la necesidad de crearlos para que los estudiantes tengan una mejor comprensión y puedan fortalecer sus conocimientos en esta línea de estudio con aplicaciones prácticas.

II. METODOLOGÍA

La propuesta tiene como objetivo fundamental construir un módulo de pruebas de generadores eólico y fotovoltaico, obteniendo curvas características utilizando equipos reales.

Para el efecto se pretende obtener datos de voltaje corriente, velocidad de viento para mostrar mediante una interfaz amigable las curvas potencia-voltaje y corriente voltaje en los paneles fotovoltaicos y las curvas potencia-velocidad del viento en el aerogenerador.

Para el desarrollo de este módulo, se tomó en cuenta diversos factores determinantes en el diseño final, a continuación se enlistan y se detallan los aspectos considerados:

- Marco teórico sobre Energías Renovables no Convencionales.
- Teoría sobre los equipos que componen los sistemas de generación aislados.
- Diseño y selección de equipos.
- Diseño de las estructuras de soporte de los generadores.
- Selección de los instrumentos de medición.
- Diseño del software a utilizar en las pruebas.
- Validación de los datos obtenidos con el módulo implementado.

Marco teórico sobre ERNC: Se realizó un análisis de los dos tipos de energías utilizados en el presente proyecto, es decir, energía eólica y fotovoltaica, así como también los sistemas de generación aislados y conectados a la red eléctrica.

Equipos que componen los sistemas de generación aislados: Un sistema de generación aislado de la red consta de los siguientes equipos.

- **Aerogenerador:** Los generadores eléctricos son máquinas operadoras que convierten la energía mecánica de rotación disponible en el eje de un motor en energía eléctrica. [1]

La curva característica se muestra en la Figura 1:

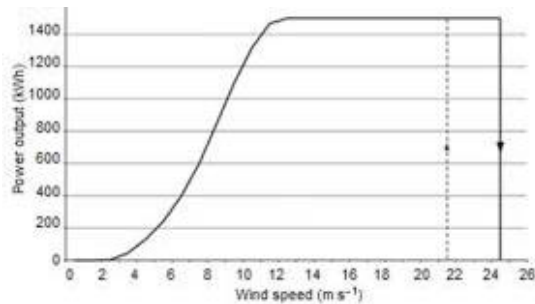


Figura 1: Curva característica del aerogenerador

Fuente: www.proviento.com

- **Paneles fotovoltaicos:** Los dispositivos donde se lleva a cabo la transformación de luz solar en electricidad se llaman generadores fotovoltaicos y a la unidad mínima en la que se realiza dicho efecto se le conoce como celda solar. [2]

Las curvas características se muestran en la Figura 2:

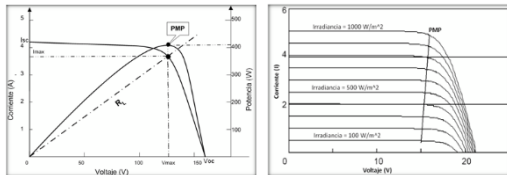


Figura 2: Curvas características del panel FV

Fuente: H. Hadi, "Photovoltaic water pump system"

- **Regulador de carga:** El regulador o controlador de carga, es el equipo que se encarga de gestionar el consumo directo del generador, las baterías y la carga de estas, evitando sobrecargas o descargas profundas, alargando así su vida útil.

- **Inversor:** Los inversores son equipos electrónicos, que permiten

transformar la corriente continua de 12, 24, o 48 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 110 o 220V. [3]

- **Acumulador:** Las baterías o acumuladores, sirven para acumular la energía que los paneles y los aerogeneradores generan diariamente, y así poderla usar en horas donde la energía consumida es superior a la generada, como sucede en la noche.

- **Protecciones:** Los elementos que se utilicen como protección (fusibles, magnetotérmicos e interruptores en general y diodos) deben ser adecuados para los valores de tensión y corriente del sistema.

- **Cables de conexión:** En las instalaciones fotovoltaicas y eólicas aisladas, se dan voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas, por tanto, incluso pequeñas caídas de tensión tienden a ser importantes y pueden producir efectos negativos sobre: [4]

- La corriente entregada por el generador fotovoltaico
- La regulación de la carga de la batería.

Las protecciones y cables utilizados en el sistema se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Cables y protecciones usados en los equipos del sistema.

EQUIPO	In (A)	CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG	PROTECCIÓN
Aerogenerador	36	8	50A - 3F
Paneles FV	16,66	12	10A- 1F
Reg. de carga	52,66	6	-
Baterías	40	8	63A- 2F
Inversor	40	8	-
Puesta a tierra	-	8	-

Elaborado por: Herrera - Mullo

Diseño y selección de equipos: Se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Las condiciones de sol y viento existentes en el emplazamiento.
- La potencia que se desea instalar
- Tipo de sistema
- Voltaje nominal del sistema

Tomando en cuenta los aspectos anteriormente mencionados se ha optado por utilizar los siguientes equipos:

- Un aerogenerador ZONHAN de 750 W a 12 V, con una velocidad nominal de 9m/s. Viene también con un regulador de carga, que permite la conexión de paneles FV de hasta 300W.
- Dos paneles fotovoltaicos EXMORK de 100W a 12V.
- Un inversor AC/DC de 1000W.
- Una batería de 100Ah a 12 V.

Diseño de las estructuras de soporte de los generadores: Para el sistema implementado se ha diseñado dos estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos y una torre de soporte del aerogenerador.

- **Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos:** Se diseñó dos estructuras móviles de acero ASTM A36, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Estructura de soporte de los paneles FV

Elaborado por: Herrera - Mullo

- **Torre de soporte del aerogenerador:** En el programa ANSYS y con la ayuda del programa SolidWorks se realizó la simulación de la torre del aerogenerador llegando a valores de seguridad de 3,21 y un desplazamiento horizontal de 1,05 mm con los cuales se puede concluir que la torre es la óptima para el funcionamiento del aerogenerador. Ver Figura 4.



Figura 4: Estructura de soporte del aerogenerador

Elaborado por: Herrera - Mullo

Selección de los instrumentos de medición: Para la adquisición de datos se utilizó instrumentos de medida detallados en la Tabla 2.

Tabla 2: Instrumentos de medición

Variable	Equipo de medición
Voltaje DC Paneles FV	Divisor de voltaje
Voltaje AC Aerogenerador	Transformador de voltaje de 120Vac a 24Vac
Corriente DC Paneles FV	Sensor de corriente de efecto Hall de 0 a 20A de entrada Y DE 0 A 5Vdc de salida
Corriente AC Aerogenerador	Transformador de corriente de 0 a 40A de entrada Y DE 0 A 1Vac de salida
Velocidad del viento	Anemómetro

Elaborado por: Herrera - Mullo

Diseño del software a utilizar en las pruebas: Se diseñó un software amigable para el usuario en el programa LabView, con el cual se obtiene valores de voltaje, corriente y velocidad del viento con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009.

Validación de los datos obtenidos con el módulo implementado: Luego de haber implementado el módulo se obtiene los variables y se las

acondiciona para mostrar valores reales de generación.

III. IMPLEMENTACIÓN

Este apartado comprende la construcción de la infraestructura necesaria que albergue la elaboración del módulo híbrido de generación eléctrica, incluyendo también la construcción de los circuitos de acondicionamiento de las señales eléctricas adquiridas por los generadores. Tomando como base los planos adjuntos en los Anexos L y O del texto completo del Proyecto.

Las estructuras de los paneles fotovoltaicos fueron empotradas con pernos de expansión de 1/2 pulgada. La torre del aerogenerador fue empotrada con un perno de expansión de 5/8 de pulgada y posteriormente cubierta con concreto. Para mayor seguridad se instaló 8 tensores con cable de acero de 8,5 mm de diámetro.

Los conductores eléctricos del aerogenerador y los paneles se colocan sobre una estructura tipo canastilla con una tapa que la cubre para proteger los cables de las condiciones climáticas desfavorables.



Figura 5: Sistema implementado
Elaborado por: Herrera - Mullo

Los equipos electrónicos del sistema se encuentran implementados dentro de la caseta como se observa en la Figura 6.



Figura 6: Equipos implementados dentro de la caseta
Elaborado por: Herrera - Mullo

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez implementado el sistema completo se procedió a realizar las diferentes pruebas experimentales en función del diseño e implementación de los equipos que integran el proyecto del módulo híbrido (eólico-fotovoltaico), para determinar su correcto funcionamiento y la recolección de datos, contrastando las magnitudes adquiridas en el HMI con las medidas obtenidas en el multímetro (voltaje y corriente).

Las pruebas se efectuaron en forma individual de los elementos que componen el proyecto ya que de esta manera se certificará que cada uno de éstos equipos se encuentra apto para trabajar en conjunto.

Pruebas a los equipos

Se realizó pruebas al sistema híbrido conectado completamente, en la Tabla 3 se muestra los datos medidos con el multímetro, los datos mostrados en la pantalla del regulador de carga y los datos obtenidos con el computador.

Tabla 3: Datos obtenidos del sistema

Equipo	Valores medidos		Valores regulador de carga		Valores HMI	
	Volt. (V)	Corriente (A)	Volt. (V)	Corriente (A)	Volt. (V)	Corriente (A)
Aerogenerador	15,7	8,43	15,1	7,3	15,4	7,9
Panels Fotovoltaicos	15,6	11,3	15,0	11,2	15,3	11,6

Elaborado por: Herrera - Mullo

Pruebas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio servirán para acercar al alumno a la realidad, pudiendo observar cómo se obtienen los resultados que ya han sido explicados en la teoría. Las prácticas se realizarán en el laboratorio, calculando, conectando, analizando y comprobando el funcionamiento de las tecnologías eólica y fotovoltaica.

Para cada práctica de laboratorio se realiza una conexión diferente tomando como base el diagrama de la Figura 7, cada diagrama se detalla también en las guías de laboratorio que se encuentran en el Anexo P del texto completo del proyecto.

Resultados: La potencia máxima en los dos tipos de conexiones es casi igual ($P_{\text{máx serie}} = 157,66$; $P_{\text{máx paralelo}} = 155,76$) a diferencia que en la conexión en serie obtenemos mayor voltaje y menor corriente y en la conexión en paralelo viceversa.

Tabla 4: Resumen de los valores obtenidos en los casos estudiados

	Dos paneles (serie)	Dos paneles (paralelo)
Voltaje Pmpp [V]	31,78	14,86
Voltaje Vco [V]	40,22	20,27
Corriente Pmpp [A]	4,97	10,48
Corriente Isc [A]	6,09	11,92
Potencia [W]	157,66	155,76

Elaborado por: Herrera - Mullo

PRÁCTICA DE LABORATORIO # 3

TEMA: Comportamiento de los paneles fotovoltaicos a diferentes Radiaciones Solares.

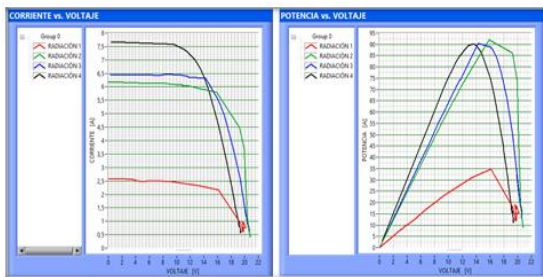


Figura 11: Curvas característica de un panel fotovoltaico a cuatro diferentes radiaciones solares.

Elaborado por: Herrera - Mullo

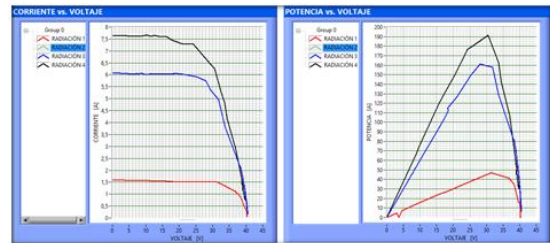


Figura 12: Curvas característica de dos panel fotovoltaico conectados en serie, a tres diferentes radiaciones solares.

Elaborado por: Herrera - Mullo

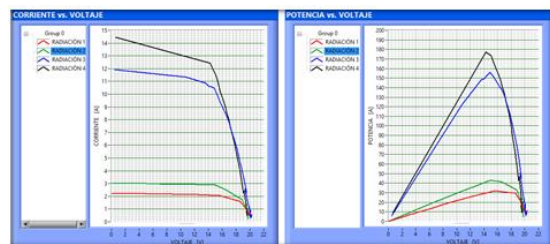


Figura 13: Curvas característica de dos panel fotovoltaico conectados en paralelo, a cuatro diferentes radiaciones solares.

Elaborado por: Herrera - Mullo

Resultados: En las figuras anteriores se puede observar como varía en magnitudes la curva característica del panel fotovoltaico a diferentes radiaciones solares, al aumentar la radiación solar se observa claramente un incremento en la corriente y por ende la potencia se incrementa, sin afectar el voltaje.

Tabla 5: Resumen de datos obtenidos en la prueba a varias radiaciones solares

Conexión	Radiación Solar [W/m²]	Potencia [W]
Un panel solo	350	34,83
	1000	90
	1100	90
	1200	90
Dos paneles en serie	350	48
	600	160
	1000	190
Dos paneles en paralelo	350	32
	600	45
	900	158
	1000	180

Elaborado por: Herrera - Mullo

PRÁCTICA DE LABORATORIO # 4

TEMA: Efecto de la sombra en un panel fotovoltaico.

Tabla 6: Datos obtenidos de la prueba a un panel fotovoltaico aplicando sombra.

	CASO 1 Un panel		CASO 2 Dos paneles (serie)		CASO 3 Dos paneles (paralelo)	
	Sin sombra	Con Sombra	Sin sombra	Con Sombra	Sin sombra	Con Sombra
Volt. Pmp [V]	15,88	15,71	31,78	12,93	16,01	14,86
Volt. Vco [V]	20,80	19,79	40,22	26,79	20,27	19,87
I Pmp [A]	5,80	3,29	5,32	4,97	10,48	4,98
I Isc [A]	6,29	6,18	6,42	6,09	11,92	6,62
Pot [W]	92,10	51,69	169,0	64,26	167,7	74,00

Elaborado por: Herrera - Mullo

Resultados: De la tabla anterior, por lo tanto de los casos 1 y 3 realizados, se observa que cuando se aplica sombra

a los paneles fotovoltaicos la corriente que circula por el módulo es aproximadamente la mitad que en el caso que no hubiese sombra. Este descenso de corriente afecta directamente a la potencia que da el módulo que se ve reducida aproximadamente a la mitad. Esta reducción de potencia, proporcional a la corriente, indica tal y como muestra la tabla anterior, que la tensión no se ve afectada a grandes rasgos. En el caso 2 en cambio es el voltaje el que se reduce a la mitad, afectando proporcionalmente a la potencia, y la corriente no recibe mayor variación.

PRÁCTICA DE LABORATORIO # 5

TEMA: Curva característica del aerogenerador.

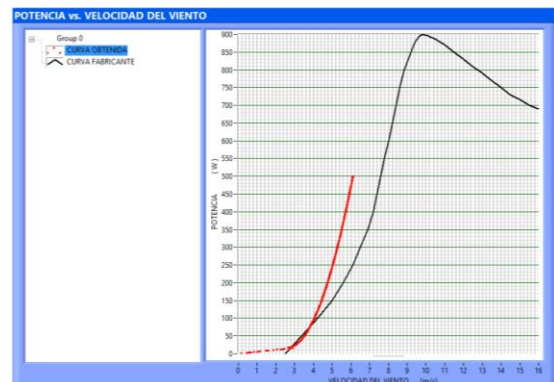


Figura 14: Curva característica del aerogenerador

Elaborado por: Herrera - Mullo

Resultados: Debido a que el ingreso de las variables tiene un margen de error, se tiene una diferencia en algunos puntos de las curvas, pero se ha obtenido la curva característica del aerogenerador y se puede comparar con la curva proporcionada por el

fabricante teniendo similitud, la velocidad máxima del viento en Latacunga según el Atlas Eólico está entre 5,5 a 6 m/s, por lo tanto la curva obtenida no podrá llegar a su máximo pico como se puede observar en la curva proporcionada por el fabricante.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El módulo de pruebas fue probado e implementado, posee una interfaz intuitiva, amigable y de fácil acceso. Los usuarios pueden acceder a las ventanas que permiten desarrollar las prácticas, así como también visualizar las curvas características de los generadores de datos obtenidos en la práctica o de valores obtenidos en prácticas anteriores.

Análisis de resultados de las pruebas realizadas a los equipos.

Como indica la Tabla 3, se obtuvo valores de voltaje y corriente de los equipos de tres formas diferentes notándose que no existe mayor variación, por lo tanto el error es despreciable.

VI. CONCLUSIONES

- Basado en los cálculos realizados en la propuesta se pudieron elegir los equipos de generación, instrumentación, adquisición de datos, y estructuras de soporte, para la implementación del módulo didáctico de generación de energía eléctrica híbrido a base de energías renovables no

convencionales (generador eólico-fotovoltaico) para la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga.

- Se diseñó un software HMI amigable para el usuario en el programa LabView, el mismo que permite obtener curvas características de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y del aerogenerador, ingresando variables de voltaje, corriente y velocidad del viento mediante una tarjeta DAQ-6009.
- El sistema híbrido en funcionamiento, asociado a ensayos de los módulos fotovoltaicos y el aerogenerador en laboratorio, permitió obtener resultados importantes para la caracterización de tales sistemas en condiciones reales de operación.
- Al realizar las pruebas respectivas a los paneles fotovoltaicos se obtuvo que las curvas características, I-V y P-V, las cuales se ven afectadas por factores ambientales tales como la intensidad de iluminación (irradiación), la temperatura y la distribución espectral de la luz, es decir que dependen de la intensidad de la radiación incidente y de la temperatura de trabajo del panel fotovoltaico.
- El módulo fotovoltaico se ve afectado considerablemente al aplicar sombras, dando lugar a

una disminución considerable en el rendimiento del mismo.

- Al realizar la prueba al aerogenerador se obtuvo la curva característica, potencia vs. Velocidad del viento, la cual se ve afectada por la variación del viento existente en la zona.

VII. REFERENCIAS

- [1] A. B. Dominguez, «Generadores Eólicos o Aerogeneradores,» de *Generadores de baja potencia*, Buenos Aires, Academia Nacional de Ingeniería, 2007, pp. 416-417.
- [2] J. Sánchez, «Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua,» Centro de Investigación en Energía CIE-UNAM, Temixco, 2002.
- [3] S. Poza, «Contribución al diseño de procedimientos de control de calidad para sistemas de bombeo fotovoltaico», Dr. Tesis. Universidad Politécnica de Madrid., España., 2007.
- [4] M. Á. Sanchez, *Energía Solar Fotovoltaica*, Mexico, D.F.: LIMUSA, S.A. de C.V., 2011.

BIOGRAFÍAS:

Mullo Tarco Katty Maribel:



Nació el 16 de diciembre de 1989 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios de bachillerato en el Colegio “Hermano Miguel” de la ciudad de

Latacunga, sus estudios superiores de Ingeniería Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga.

Su proyecto de titulación trata sobre diseño e implementación de un módulo didáctico de generación de energía eléctrica híbrido a base de energías renovables no convencionales (generador eólico-fotovoltaico) para la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga.

Herrera Moreno Kléver Wladimir:



Nació el 06 de noviembre de 1989 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios de bachillerato en el Instituto Tecnológico Superior “Vicente León”

de la ciudad de Latacunga, sus estudios superiores de Ingeniería Electromecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Extensión Latacunga.

Su proyecto de titulación trata sobre diseño e implementación de un módulo didáctico de generación de energía eléctrica híbrido a base de energías renovables no convencionales (generador eólico-fotovoltaico) para la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Extensión Latacunga.