

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y MONITOREO DE UNA MICROCENTRAL ELÉCTRICA EÓLICA-FOTOVOLTAICA, PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

*Salazar Cárdenas Lizbeth Alexandra, Vaca Morán Miguel Ángel
Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, 08 de octubre del 2014, Pichincha - Ecuador*

RESUMEN: En el presente proyecto se busca una forma de generación híbrida entre la energía solar y eólica y su posible aplicación en sistemas aislados, donde el acceso a la red de distribución eléctrica se dificulta. La microcentral se halla conformada por un aerogenerador, cuatro paneles fotovoltaicos, dos baterías y sus respectivos elementos de control, con los cuales ofrece a su usuario un consumo de 1468 Wh diarios. Además la microcentral monitorea las variables climáticas y eléctricas inmersas en el proceso de generación, formando una base de datos que llega a visualizarse en una interfaz gráfica desarrollada en LabView.

ABSTRACT: This project tries to find a form of hybrid generation from solar and wind energy and its potential application in isolated systems, where the access to the electrical grid is difficult. The microcentral is composed of a wind turbine, four photovoltaic panels, two batteries and their control elements, which offers the user a consumption of 1468 Wh per day. In addition the microcentral monitors weather and electrical variables embedded in the generation process, forming a database that reaches a graphical interface developed in LabView.

PALABRAS CLAVE: Energías Renovables, Sistemas Híbridos, Energía solar, Energía eólica, Monitoreo.

1. INTRODUCCION

Estamos en una época en la que mundialmente se busca la optimización de los recursos de nuestro planeta, asociado a la conservación ambiental, lo cual se va convirtiendo en una de las principales prioridades de los seres humanos. Partiendo de esto nos damos cuenta que una de las formas más eficientes de aportar, es el uso de energías renovables, siendo algunas de estas la solar (fotovoltaica y termodinámica), eólica, mareomotriz, etc.

Ya en la actualidad en nuestro país existen proyectos a gran escala para la aplicación de estas tecnologías. Pero todos estos proyectos no hubiesen sido factibles sin un estudio previo que nos permita conocerlas y llevarlas a su ejecución de la mejor manera. Este proyecto busca justamente desarrollar un campo no tan desarrollado, la implementación de sistemas híbridos, en este caso concerniente a la energía eólica y solar fotovoltaica.

El objetivo de este proyecto es dejar operable una microcentral eólica-fotovoltaica que tenga una potencia instalada de 570 W en el laboratorio de Energías Renovables de los cuales 450 W corresponden al recurso fotovoltaico y 120 W al recurso eólico. La

misma contará con un control que permitirá la automatización necesaria para administrar los recursos de esta energía mediante la mejora de su uso, minimizando los residuos e informando en tiempo real la generación, consumo y la cantidad de energía almacenada.

La microcentral tendrá un uso didáctico ya que con el mismo se pretende monitorear el rendimiento del sistema solar y eólico. Por lo que se desarrollará un sistema de monitoreo donde se podrán visualizar las diferentes variables implicadas dentro del sistema, como voltaje de generación, radiación solar, velocidad del viento, etc. Para un mejor desarrollo del proyecto se lo ha dividido en los siguientes módulos:

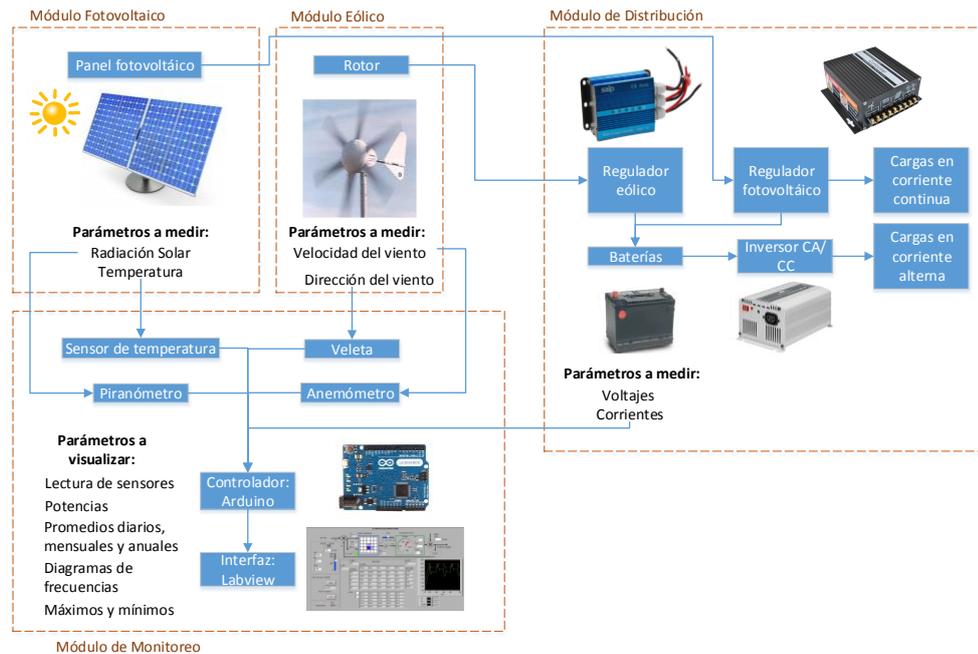


Figura 1 Módulos del Sistema híbrido

2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

Para el inicio del diseño de la microcentral se debe conocer las condiciones del entorno donde se va a ubicar. Para este análisis se realizó la toma de datos cada 10 minutos durante todo el mes de febrero del 2014, mediante la estación meteorológica Vantage-Pro que se halla instalada en la terraza del laboratorio de energías renovables a 10 m de altura. Se procede a comparar con los datos obtenidos de los Atlas Eólico y Solar publicados en los años 2013 y 2008 respectivamente.

2.1 RECURSO SOLAR

Para conocer el potencial solar de un determinado lugar, el punto de partida es determinar la insolación total o global que incide en un día sobre los módulos solares, expresada en KWh/m²/día, o su equivalente horas de sol pico (HSP) que son las horas al día equivalentes a las horas de luz solar con una radiación de 1000 Wh/m². Este dato se obtiene al sumar la insolación total captada cada hora. A continuación se indica la variación de la radiación a lo largo de tres días significativos y la irradiación media para cada mes de año.

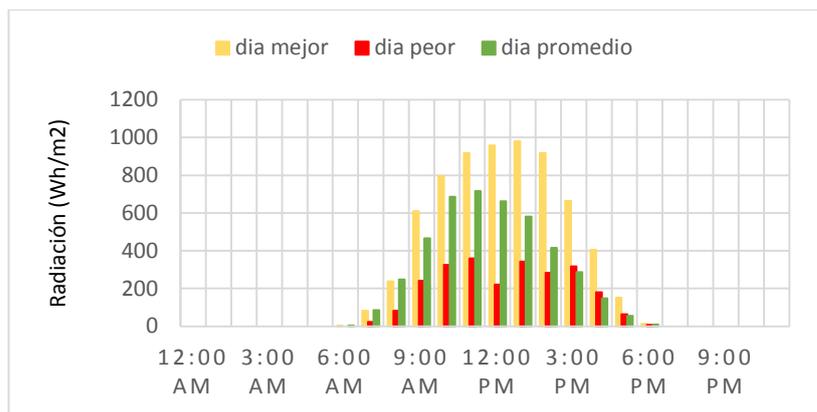


Figura 2 Variación de la radiación en el mes de Febrero

Tabla 1 Irradiación en cada mes de año

Mes	Total	Mes	Total
Enero	5275	Julio	5800
Febrero	5100	Agosto	6010
Marzo	5100	Septiembre	5800
Abril	4750	Octubre	5675
Mayo	5275	Noviembre	5275
Junio	5625	Diciembre	5100
Promedio		5400	

2.2 Recurso eólico

El estudio climatológico constituye una gran fuente de información en generación eólica ya que permite estimar la potencia que se podrá producir y además permite determinar qué tipo de aerogenerador es el más indicado para aprovechar al máximo la energía disponible. La velocidad del viento es un aspecto muy importante ya que un pequeño cambio que se produzca en la velocidad implica una gran variación en el potencial eólico.

Se tomaron los datos de velocidad del viento durante el mes de febrero y el diagrama de frecuencias obtenido se indica a continuación:

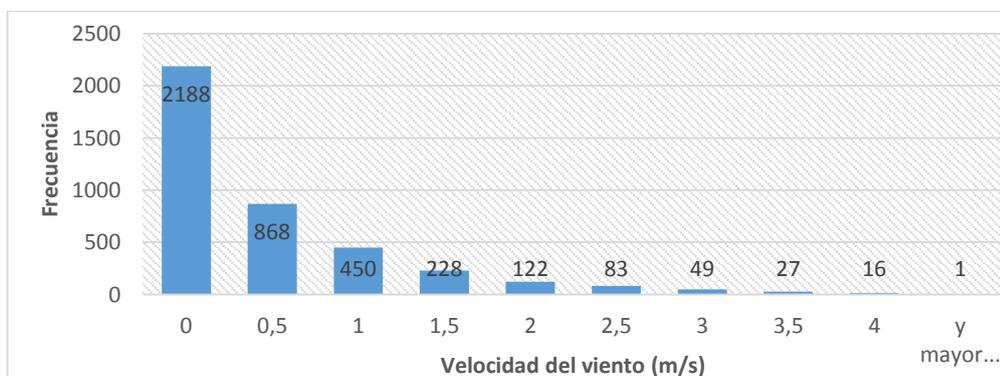


Figura 3 Histograma de la velocidad del viento (Feb. 2014)

Los datos obtenidos del atlas eólico son los únicos promedios mensuales que existen respecto a la variación del viento para el sector de Sangolquí, debido a esto y al ser un estudio inicial se los van a utilizar en el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 2 Velocidad del viento promedio para cada mes del año

Mes	80 m	10 m	Mes	80 m	10 m
Enero	3	1.68	Julio	4.5	2.51
Febrero	3	1.68	Agosto	4.5	2.51
Marzo	3.5	1.96	Septiembre	4	2.23
Abril	3.5	1.96	Octubre	3.5	1.96
Mayo	4	2.23	Noviembre	3	1.68
Junio	4.5	2.51	Diciembre	3	1.68

3. DISEÑO MECATRÓNICO

Para realizar el dimensionamiento de una central de energía es necesario conocer la demanda, es decir las cargas que serán conectadas al sistema y el número de uso de cada carga. En el presente módulo se ha propuesto usar una carga máxima de ½ Hp o 367W durante un período de 4 horas diarias, lo que significa que diariamente se puede consumir una energía de 1468 Wh, se debe tomar en cuenta que la carga máxima que se puede conectar simultáneamente es de: 350W en AC y 17W en DC o 240W en DC y 127W en AC. A continuación se presentan equivalencias de cargas para determinar qué tipo de equipos pueden estar conectados en el día

Tabla 3 Ejemplo de cargas que se podrán conectar al sistema

Equipo	Pot (W)	horas	Energía (Wh)
2 PC portátil 65 W	130	4	520
PC escritorio pequeña	70	4	280
Router	30	4	120
Impresora multifunción	27	1	27
Radio	20	2	40
Lámpara fluorescente	32	4	128
Humidificador	36	1	36
4 focos fluorescentes 15 W	60	4	240
Energía diaria consumida			1391

3.1 Módulo fotovoltaico

Para realizar el dimensionamiento del módulo fotovoltaico se debe tomar en cuenta el mes en el cual la irradiación sobre la superficie inclinada es menor para que la demanda sea satisfecha durante todo el año, en base a esta irradiación correspondiente al mes de Abril y a la carga a conectar se estima el número de paneles solares necesarios.

Tabla 4 Cálculo del número de paneles solares

Paneles Solares	Unidad	ISOFOTON
Carga	W	367
Horas	h	4
Energía diaria	Wh	1468
Radiación Solar al día	Wh/m ²	4470
Duración solar HSP	h/día	4.5
Energía del panel	Wp	110
Num de paneles teórico		2.99
Rend. sist. Distribución	%	75
Total de Paneles		3.98
Costo unitario	\$	140.00
Costo total	\$	560.00

Se instalarán cuatro paneles fotovoltaicos de este modelo ISOFOTON I110-12, conectados en paralelo obteniendo una potencia instalada de 440 Wp, voltaje nominal de 12 V y una máxima corriente de 25.28 A.

Tabla 5 Características eléctricas del panel solar ISOFOTON i110-12

Características eléctricas	
Potencia pico (Pmax)	110 W
Corriente de cortocircuito (Isc)	6.76 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	21.6 V
Corriente de máxima potencia (Imax)	6.32 A
Tensión de máxima potencia (Vmax)	17.4 V

Tabla 6 Estimación de generación fotovoltaica anual

Mes	HSP	Días	Wh/día	Wh/mes
Enero	5.275	31	1740.8	53963.3
Febrero	5.100	28	1683.0	47124.0
Marzo	5.100	31	1683.0	52173.0
Abril	4.750	30	1567.5	47025.0
Mayo	5.275	31	1740.8	53963.3
Junio	5.675	30	1872.8	56182.5
Julio	5.800	31	1914.0	59334.0
Agosto	6.010	31	1983.3	61482.3
Septiembre	5.800	30	1914.0	57420.0
Octubre	5.675	31	1872.8	58055.3
Noviembre	5.275	30	1740.8	52222.5
Diciembre	5.100	31	1683.0	52173.0
Total				651118.1

3.2 Módulo eólico

Para realizar la selección del aerogenerador se debe establecer el tipo de rotor que presente las características óptimas y facilidades para su implementación en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE tomando en cuenta que las velocidades del viento que se presentan son bajas.

Tomando en cuenta las bajas velocidades presentes en el lugar de aplicación los rotores multipala son los más recomendables, el rotor a instalar es el GudCraft WG300, que presenta las siguientes características:

Tabla 7 Características del aerogenerador GudCraft WG300

Características	Unidad	GudCraft WG300
Número de palas		6
Potencia nominal	W	125
Potencia máxima	W	300
Velocidad de arranque	m/s	2
Velocidad nominal	m/s	12.5
Diámetro del rotor	m	1.12
Peso	lb	26
Costo	\$	300

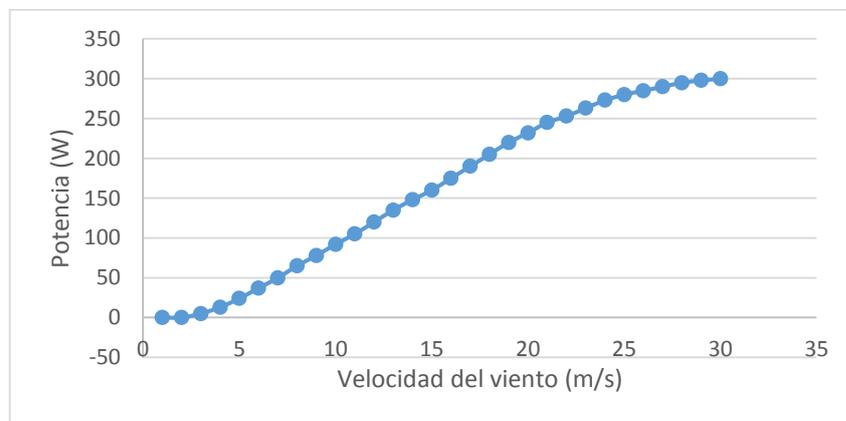


Figura 4 Curva de potencia Gudcraft WG300

3.3 Módulo de distribución

Regulador

En el mercado existen generadores híbridos que manejan la energía solar y eólica de manera simultánea, pero para la aplicación planteada no son válidos debido a que todos presentan una mayor potencia de generación en la parte eólica, mientras que en las condiciones climáticas de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE el módulo solar es la principal fuente de energía. Para la solución de este problema se pretende realizar la conexión de los dos sistemas de generación mediante reguladores independientes conectados a la misma batería.

Tabla 8 Especificaciones técnicas del regulador solar ProStar-30

Característica	Unidad	ProStar-30
Voltaje nominal	V	12
Potencia	W	300
Corriente de Carga	A	30
Autoconsumo de Corriente	mA	<25
Rendimiento	%	90
Peso	kg	0.34
Dimensiones	mm	153x105x55
Voltaje máximo del panel	V	30
Protección de sobrevoltaje	V	15.5
Protección de bajo voltaje	V	9
Visualización		LEDs
Costo	\$	190

Batería

Para la instalación del sistema de acumulación se debe determinar la capacidad necesaria que debe presentar la batería para soportar la autonomía del sistema. Es decir que sea capaz de soportar una carga de 367W durante un tiempo de 4 horas sin la presencia de una fuente de generación. Se utilizarán dos baterías Millenium conectadas en paralelo cuyas características de detallan a continuación:

Tabla 9 Características de la batería Millenium

Característica	Unidad	Millenium
Voltaje nominal	V	12
Capacidad	Ah	115
Peso	kg	40
Temperatura de trabajo	°C	25
Maxima corriente de descarga	A	
Resistencia Interna	mW	---
Profundidad de descarga	%	55
Espectativa de vida	meses	60
Costo	\$	262.08

Inversor

Para la selección del inversor es necesario determinar la potencia que se suministrará en corriente alterna, en este caso el sistema proporcionará una potencia de ½ hp, es decir 367 W y además es necesario tomar en cuenta el tipo de cargas que se alimentaran ya que algunas al ser muy sensibles requieren una onda sinusoidal pura mientras que otras pueden funcionar con un tipo de onda cuadrada o semisenoidal.

Los inversores funcionan a una determinada potencia nominal pero durante cortos periodos de tiempo esta potencia puede alcanzar valores más altos permitiendo el arranque de motores o bombas.

Tabla 10 Características del Inversor Cotek SK350

Características	Unidad	Cotek SK350
Potencia nominal	W	350 W
Potencia pico	W	700 W
Eficiencia	%	89%
THD	%	< 3%
Peso	lb	3.1 lb
Costo	\$	179.20

3.4 Módulo de control

Las variables a monitorear se dividen en tres: las variables climáticas, las variables eléctricas y las variables indirectas. Los dos primeros tipos de variables, al ser de adquisición, tendrán una frecuencia de toma de datos de 10 min y los almacenará en una tarjeta SD para su posterior descarga a la interfaz desarrollada en LabView.

Variables climáticas	Variables eléctricas	Variables indirectas
<ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar: medida en kW/m². • Velocidad del viento: medida en m/s. • Dirección del viento: medida en coordenadas geográficas. • Temperatura de los paneles. 	<ul style="list-style-type: none"> • V1: voltaje paneles solares. • V2: voltaje aerogenerador. • V3: voltaje baterías • I1: Corriente de paneles. • I2: Corriente del aerogenerador. • I3: Corriente batería 1 • I4: Corriente batería 2 • I5: Corriente Inversor • I6: Corriente salida DC 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia disponible • Potencia de generación solar • Potencia de generación eólica. • Potencia suministrada • Eficiencias solar y eólica. • Potencia de consumo AC • Potencia de consumo DC • Nivel de batería

Para medir las variables climáticas y eléctricas se utilizan los sensores cuyas características se detallan a continuación:

Tabla 11 Especificaciones de los sensores utilizados en la microcentral

Nombre	Variable a medir	Cant.	Rango	Precisión	Voltaje	Equivalencia
Davis 7911	Vel. del viento	1	0.5 a 89 m/s	±5%	3.3V	Ec 3.22
	Dir. del viento		0 a 360°	±7°	3.3V	Δ109° α Δ1V
Davis 6450	Radiación solar	1	0 a 1800 W/m ²	±5%	3.3V	Δ598.8Ω/μ ² α Δ1V
DS18B20	Temp.	1	-55 a 125 °C	±1%	5V	OneWire

Divisor de voltaje	Voltaje	3	0 a 20 V	±5%	5V	$\Delta 4.3\text{c}\epsilon \alpha \Delta 1V$
ACS712-20A	Corriente	4	-20 a 20 A	±1.5%	5V	$\Delta 15A \alpha \Delta 1V$
ACS712-30A	Corriente	2	-30 a 30 A	±1.5%	5V	$\Delta 10A \alpha \Delta 1V$

El módulo de control está formado principalmente por un Arduino MEGA 2560, que es el cerebro que recibe y almacena los datos provenientes de los sensores y desconecta el consumo AC si la batería está por debajo de las condiciones óptimas de servicio. Para lograr la conexión del Arduino mega con los diferentes sensores y un correcto funcionamiento se agregaron dispositivos para la obtención de la hora actual, almacenamiento de los datos y alimentación a los sensores.

3.5 Módulo de monitoreo

El monitoreo de datos es realizado mediante el software LabView, y permite la visualización de datos en tiempo real, la descarga de la información almacenada en el módulo SD y en análisis diario, mensual y anual de dicha información.

La ventana principal del programa contiene el acceso a dos subprogramas que son análisis de datos y adquisición de datos, el primer subprograma permite visualizar variables y conocer estadísticas de los datos que esta almacenados en el archivo mientras que el subprograma de adquisición de datos permite descargar los datos guardados en la memoria SD y visualizar distintas variables en tiempo real, para lo cual necesariamente debe estar conectado el arduino al computador.

La ventana Adquisición de datos se subdivide en tres pantallas, estas son:

- Pantalla de adquisición de datos
- Pantalla Tiempo real
- Pantalla Gráficos en tiempo real



Figura 5 Pantalla Tiempo Real

La ventana de análisis de datos permite visualizar la variación de una variable determinada a lo largo del tiempo en el día, mes o año seleccionado y comparar esta variable con otra, además indica su histograma, promedio diario, valores máximos y mínimos y la hora a la cual se produjeron y una tabla donde se pueden observar los datos tomados en el día.

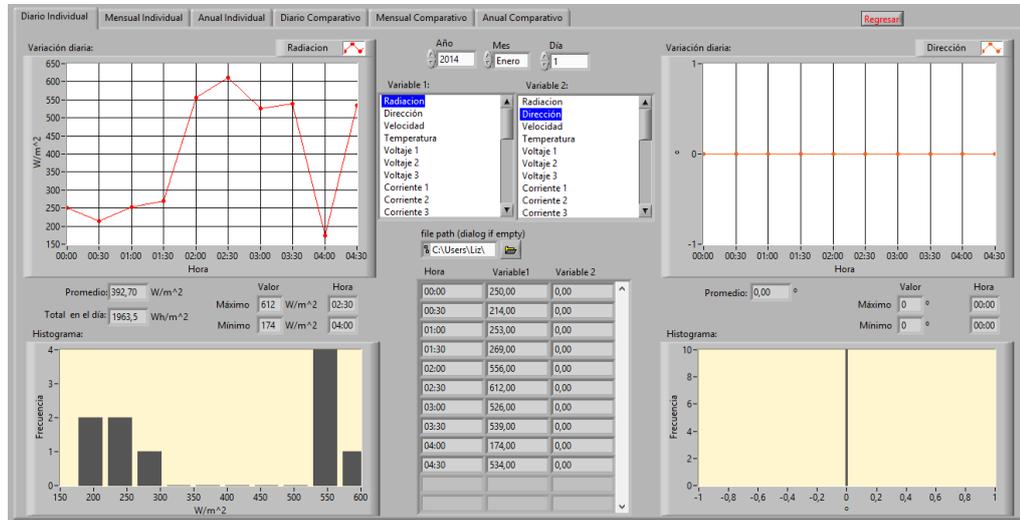


Figura 6 Pantalla Diario Individual

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas de generación

Estas pruebas pretenden obtener el rendimiento de los paneles solares y el generador eólico. Se toman datos de 4 días y posteriormente se comparará el promedio con los valores teóricos, como se indica en las siguientes tablas:

Tabla 12 Pruebas de generación

	Día	1	2	3	4	Promedio
	Fecha	13/06	23/06	25/06	26/06	
Solar	Ener. Disp.	16698	18526	15495	6447	14291.5
	Ener. Gen.	1690	1468	1572	603	1333.25
	Eficiencia	10.1%	7.9%	10.1%	9.3%	9.3%
Eólica	Ener. Disp.	37.16	170.06	42.32	16.31	66.4625
	Ener. Gen.	2.64	19.07	2.33	0	6.01
	Eficiencia	7.1%	11.2%	5.5%	0%	5.9%

Tabla 13 Valores teóricos y prácticos

	Solar		Eólica	
	Práctica	Teórica	Práctica	Teórica
Ener. Disponible	14291.5	19408.5	66.4625	178.3735
Ener. generada	1333.25	1872.75	6.01	60
Eficiencia	9.4%	9.6%	6.0%	33.6%

Teóricamente el módulo fotovoltaico tiene una eficiencia de 12%, mientras que en las pruebas de generación se obtuvo una eficiencia de 9.3%. En la práctica no se llega a este valor debido a que la temperatura en la superficie del panel se eleva hasta los 60°C, mientras que la temperatura óptima de trabajo es de 25°C.

4.2 Pruebas de descarga

Se realizarán dos pruebas de descarga para verificar la autonomía del sistema, en las cuales se desconectan los sistemas de generación y se inicia con la batería completamente llena. Se simulará cargas predefinidas como se detallan a continuación.

Tabla 14 Resultados descarga 1

		Horas				
	Unidad	1	2	3	4	5
Carga	W	325.00	325.00	325.00	300.00	300.00
Corriente de batería 1	A	-0.79	-15.69	-15.67	-14.04	-14.32
Corriente de batería 2	A	-0.55	-15.35	-15.18	-13.92	-14.14
Nivel de batería	%	94.79	75.83	65.21	50.42	28.13
Corriente Consumo	A	10.36	31.04	30.85	27.95	28.46
Energía de Consumo	Wh	120.26	357.17	352.32	315.95	316.32
Hora Inicio:		14h40			Hora Fin:	18h50
Tiempo de descarga:		4h 10m	Ener. Consumida (Wh)			1462

El consumo total diario durante la primera prueba de descarga fue de 1462 Wh, lo cual cumple con la energía AC esperada de 1440 Wh.

En la segunda prueba se partirá de una carga establecida de 285W y se irá disminuyendo cada hora hasta que la batería llegue a su mínimo, con esta prueba se pretende observar el comportamiento de la batería ante la variación de las cargas.

Tabla 15 Resultados descarga 2

		Horas				
	Unidad	1	2	3	4	
Carga	W	285.00	260.00	200.00	180.00	
Corriente de batería 1	A	-11.77	-12.22	-9.95	-8.88	
Corriente de batería 2	A	-11.47	-11.56	-9.47	-8.39	
Nivel de batería	%	78.75	57.29	37.08	39.75	
Corriente Consumo	A	25.80	24.09	20.10	17.83	
Energía de Consumo	Wh	296.56	273.70	225.02	198.58	
		Horas				
		5	6	7	8	
Carga	W	160.00	145.00	85.00	60.00	
Corriente de batería 1	A	-7.39	-7.49	-5.13	-1.49	
Corriente de batería 2	A	-6.89	-6.63	-3.39	-0.86	
Nivel de batería	%	32.50	7.75	0.63	22.92	
Corriente Consumo	A	15.54	14.66	8.60	1.70	
Energía de Consumo	Wh	173.45	160.72	93.39	18.74	
Hora Inicio		11h10			Hora Fin:	18h30
Tiempo de descarga:		5h 20m	Ener. Consumida (Wh):			1442.84

4.3 Pruebas de carga

Para verificar la carga de las baterías se realizarán dos pruebas, la primera consiste en analizar la carga con las dos fuentes de generación: eólica y solar, y la segunda prueba solo con energía solar. Los resultados obtenidos se indican a continuación:

Carga solar

La primera prueba se realizó sin la conexión del aerogenerador, se parte de una batería completamente descargada con un voltaje de 11.75 V y los resultados de carga se indican a continuación:

Tabla 16 Prueba de carga (Energía solar)

	Unidad	Horas				
		6	7	8	9	10
Radiación	W	6.83	135.17	140.83	600.17	649.50
Voltaje paneles	V	9.13	13.41	13.51	14.43	14.97
Voltaje baterías	V	11.75	12.16	12.23	12.72	12.73
Corriente panel	A	0.23	3.99	3.81	14.35	11.98
Corriente batería 1	A	-0.10	1.79	1.79	7.63	4.54
Corriente batería 2	A	-0.09	1.72	1.61	7.14	4.11
Ener. generada solar	Wh	2.88	54.08	51.67	209.98	181.71
		Horas				
		11	12	13	14	15
Radiación	W	773.17	600.33	373.00	578.00	571.33
Voltaje paneles	V	16.01	15.30	14.43	15.37	16.17
Voltaje baterías	V	12.86	12.88	12.93	13.11	13.25
Corriente panel	A	18.34	10.55	8.97	11.89	14.60
Corriente batería 1	A	9.30	4.97	4.19	6.46	6.14
Corriente batería 2	A	9.01	5.06	4.33	6.67	6.10
Ener. generada solar	Wh	302.24	163.11	129.51	187.99	237.20
Energía de carga total (Wh)		1280.29				
Tiempo total de carga (horas)		8				

Como se puede observar, la batería empieza con un nivel de carga bajo correspondiente a 11.75 V, durante el proceso de carga se genera una energía de 1280.29 Wh y está totalmente cargada dentro de 8 horas, alcanzando un voltaje de 13.11 V.

Carga eólica y solar

En la segunda prueba se cargó la batería con los dos sistemas de generación partiendo con baterías con un nivel de descarga menor al de la prueba anterior y un voltaje de 12.09 V. Los resultados de carga se indican en la siguiente tabla:

Tabla 17 Prueba de carga (Energía eólica y solar)

	Unidad	Horas			
		6	7	8	9
Radiación	W	6.5	172.83	390.17	691.3
Velocidad media	m/s	0.25	0	0.4967	0.91
Voltaje paneles	V	9.8767	13.898	14.398	15.7
Volt. aerogenerador	V	0	0	0	0.862
Voltaje baterías	V	12.093	12.58	12.875	13
Corriente panel	A	0.4167	5.36	11.643	11.09
Corr. aerogenerador	A	0	0	0	0
Corriente batería 1	A	-0.052	2.4317	5.59	6.437
Corriente batería 2	A	0.0317	2.5817	5.795	6.72
Ener. generada solar	Wh	5.1984	74.699	167.8	168.7
Ener. generada eólica	Wh	0	0	0	0
		Horas			
		10	11	12	13
Radiación	W	470.33	874	532.5	481.5
Velocidad media	m/s	1.075	1.9817	1.5683	1.817
Voltaje paneles	V	15.03	16.77	15.348	15.85
Volt. aerogenerador	V	0	0.6017	4.355	7.355
Voltaje baterías	V	12.895	12.928	13.145	13.14
Corriente panel	A	7.6183	3.3683	9.52	4.968
Corr. aerogenerador	A	0	0	0	0
Corriente batería 1	A	3.6783	1.5367	4.5183	3.54
Corriente batería 2	A	3.6967	1.4667	4.7533	3.963
Ener. generada solar	Wh	110.41	49.47	141.94	72.96
Ener. generada eólica	Wh	0	0	0	0
Energía de carga total (Wh)			713.05		
Tiempo total de carga (horas)			6		

En esta tabla se muestran los resultados de carga de la batería, en esta prueba se empieza con un nivel de descarga menor al de la prueba anterior correspondiente a 12.09 V, razón por la cual el tiempo de carga es menor y alcanza el 100% con un voltaje de 13.15 V después de 6 horas y ocupando una energía de 713.05 Wh.

4.4 Pruebas de funcionamiento continuo

Para verificar el funcionamiento de toda la estación se realiza una prueba donde se consumirá diariamente una energía de 1440Wh, la prueba tiene una duración de tres días consecutivos. Los resultados obtenidos se indican a continuación:

Tabla 18 Resultado de prueba de funcionamiento continuo

	Unidad	Día 1	Día 2	Día 3
Fecha		23/06	24/06	25/06
Insolación	Wh/m2/día	5515	5104	3553
Velocidad promedio	m/s	1.78	1.38	0.94
Energía Disponible	Wh	19029	17536.1	12193.1
Energía Generada	Wh	1437.83	1005.13	1224.83

Generación fotovoltaica	%	98.7	99.5	99.8
Generación eólica	%	1.3	0.5	0.2
Energía Consumida	Wh	1476.71	1446.05	1659.97
Corriente max. batería 1	A	4.25	6.54	6.74
Corriente max. batería 2	A	4.05	5.13	6.88
Corriente max. consumo AC	A	26.22	21.02	28.93
Nivel de Batería	%	100	100	60

Como se puede observar, en los tres días de funcionamiento continuo hubo un consumo de más de 1440 Wh diarios. Durante los tres días se generó una energía total de 3667.79 Wh y se ocupó una energía de 4582.73Wh.

Al final de los dos primeros días la batería sigue conservando el 100% de su nivel, esto se debe a que la insolación fue elevada, en el tercer día la insolación disminuye, por lo que el nivel de batería baja hasta el 60%, sin embargo en días posteriores será posible seguir consumiendo la misma cantidad de energía.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

En base al costo de cada módulo se determina que, como indica el siguiente gráfico, el mayor costo es en el módulo de distribución correspondiente al 34% esto se debe al elevado precio de los acumuladores, este gasto se podría eliminar en estaciones conectadas a la red donde el exceso de energía se transmite a la red y no se almacena, siendo una de las principales ventajas de las estaciones generadoras a gran escala.

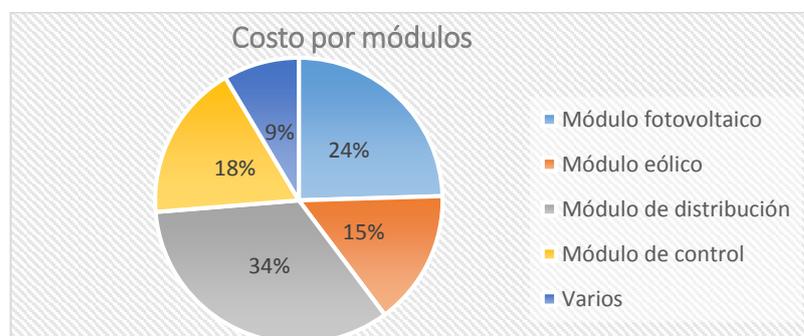


Figura 7 Costo por módulos

Además de la inversión en los módulos se toma en cuenta los costos de diseño e implementación, mismos que corresponden al 30% y 10% respectivamente del costo por módulos, lo que nos da una inversión inicial de:

Tabla 19 Inversión inicial

Ítem	Denominación	Valor (\$)
1	Costo por módulos	2814
2	Diseño Ingenieril	845
3	Implementación	280
Inversión inicial		3939

El funcionamiento óptimo de la microcentral está estimado para 20 años a partir del cual su rendimiento empieza a decaer. La mayoría de componentes presentan una vida útil de 20 años a excepción de las baterías, las cuales ofrecen una durabilidad de 5 años por lo que pasado este tiempo deben ser reemplazadas. Esto representa un costo adicional a la inversión inicial, además para mantener el correcto funcionamiento se debe realizar un mantenimiento preventivo cada seis meses.

Los costos adicionales a lo largo de los 20 años serán:

Tabla 20 Costos adicionales en 20 años

Denominación	Cant.	Cost. Unit. (\$)	Cost. total (\$)
Bat. adicionales	6	262	1572
Mantenimiento	40	20	800
Repuestos	1	50	50
Total			2422

El costo total de la microcentral para un funcionamiento óptimo en 20 años es:

Tabla 21 Costo total

Denominación	Valor (\$)
Inversión inicial	3939
Costos adicionales	2422
Total	6361

El costo del kWh se calcula con la energía generada en 20 años para lo que se usa la estimación de generación anual fotovoltaica y de generación anual eólica.

Tabla 22 Generación de la microcentral

Módulo	Generación anual kWh	Generación en 20 años kWh
Fotovoltaico	651.12	13022.36
Eólico	40.72	814.31
Total	691.83	13836.67

En base a estos datos y al costo total de la microcentral se determina que el costo por kWh es de 0.46 dólares, lo cual es un precio elevado en comparación al costo de venta al consumidor que es de \$0.087.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se realizó la instalación del sistema fotovoltaico constituido por cuatro paneles solares ISOFOTON de 110Wp cada uno, este sistema constituye la principal fuente de energía de la microcentral ya que aporta alrededor del 94% del total de energía.

- Se realizó la instalación de un aerogenerador como fuente de apoyo a la energía solar de tipo Gudcraft WG300 multipala, el cual a comparación del tipo Savonius presenta un mayor coeficiente de potencia y eficiencia para bajas velocidades de viento. El rotor tipo Savonius con un área de 2.7 m² genera 8W a 5 m/s mientras que el tipo multipala genera 25W a dicha velocidad.
- El aerogenerador Gudcraft WG300 tiene una potencia nominal de 125 W a 12.5 m/s y puede alcanzar potencias de hasta 300W, sin embargo debido a la baja velocidad del viento en el lugar de aplicación y a los cambios drásticos de dirección, ocasionados por las turbulencias de los edificios cercanos, no alcanza a la potencia nominal.
- Se obtuvo una autonomía diaria de la microcentral, con un consumo de 1468 Wh, mediante la instalación de dos baterías Millenium de 115 Ah y un inversor Cotek de 350W, encargado de transmitir la energía en corriente sinusoidal hacia los consumidores. El dimensionamiento se llevó a cabo con los métodos descritos en el presente proyecto y además mediante dos pruebas separadas se comprobó su funcionamiento, estando apagados totalmente los sistemas de generación.
- La autonomía en la microcentral de generación, es uno de los puntos de mayor costo para su instalación, correspondiente al 34% del costo total, dando a reconocer que los sistemas aislados se deben utilizar únicamente en poblaciones aisladas o de difícil acceso al Sistema Nacional Interconectado, ya que la energía más costosa es la que no llega a donde se la necesita.
- Es conveniente la implementación de un sistema de monitoreo que permita analizar los datos de generación y consumo ya que en base a los mismos se puede establecer la posibilidad de instalar sistemas de mayor potencia mediante fuentes de energía renovable.
- El sistema de control y monitoreo de datos, mediante la lectura de sensores de todas las variables climatológicas y eléctricas, permite realizar un análisis detallado de la cantidad de energía disponible, generada, almacenada y consumida, tanto diario, como mensual y anualmente. El uso de la interfaz gráfica realizada en LabView facilita el almacenamiento, visualización y análisis de los datos transmitidos por el controlador.
- Para las condiciones propias de la zona de Sangolquí, es factible la instalación de generación fotovoltaica a gran escala debido a su alta insolación solar, superior a 4500 Wh/m²/día, mientras que los datos obtenidos del atlas eólico determinan que no es una zona favorable para la generación eólica debido a la alta incidencia de obstáculos y bajas velocidades del viento con un promedio mensual máximo de 2.51m/s.
- En nuestro país existen zonas rurales de difícil acceso, o totalmente aisladas, donde el acceso a un recurso básico como lo es la energía eléctrica es complicado. La implementación de una microcentral eólica-fotovoltaica es una solución factible para este tipo de circunstancias, siendo capaz de aprovechar los recursos climáticos propios de la zona, ofreciendo autonomía, sin la necesidad de la construcción de un módulo de conexión al Sistema Nacional Interconectado.
- Una vez realizado el análisis económico y las pruebas de funcionamiento se ha determinado que, para las condiciones climáticas de la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, la generación solar fotovoltaica presenta una alta ventaja en comparación a la generación eólica, siendo el costo del kWh de \$0.42 y \$5.78 respectivamente.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para aprovechar la potencia nominal que brinda el aerogenerador es recomendable ubicarlo a una altura elevada, ya que la velocidad del viento incrementa con la altura y a la vez disminuye la posibilidad de que le afecten las perturbaciones del lugar.
- Se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas y rangos de trabajo de los sensores para evitar daños con las altas corrientes y el tiempo prolongado de uso.
- El presente proyecto, ha sido realizado como un primer acercamiento a la generación híbrida en el sector de Sangolquí, siendo un método factible para la determinación de la generación eólica-fotovoltaica, se recomienda realizar un estudio estadístico durante un período de 5 años acerca de los recursos climatológicos y con estos datos reajustar la investigación.
- La generación hidroeléctrica en nuestro país sigue siendo la de menor costo para el estado y el consumidor, por lo que difícilmente será superada por una microcentral híbrida. En el caso de que se decida por una microcentral eólica-fotovoltaica se aconseja la realización de un estudio previo y se determine si es realmente favorable la instalación de la misma, teniendo en cuenta el costo de generación y la cercanía a una conexión preexistente.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Airfoil Tools. (2014). *Airfoil Tools*. Retrieved from NACA 4412: <http://airfoiltools.com>
- Allegro. (2014). *Datasheet Sensor de corriente ACS712*.
- Atmospheric Fan System. (2014). *Energía Atmosférica*. Retrieved from Extractores: <http://www.extractores.com.mx>
- Bello, J. (2014, febrero 15). *Estado de la mar*. Retrieved from josebelloseakayaking: <http://josebelloseakayaking.blogspot.com>
- Biotren. (2014). *Adaptador Memoria Sd Para Arduino Pic Avr*.
- CIRSOC. (2012). *Reglamentos CIRSOC*. Retrieved from Instituto Nacional de Tecnología Industrial: <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/>
- CONELEC. (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Quito: CIE.
- Creus, A. (2008). *Aerogeneradores*. Cataluña: Ediciones Cey.
- DAEnotes. (2014). *Inverter project*. Retrieved from DAEnotes: <http://www.daenotes.com>
- Disensa. (2014). *Electrocables*. Quito.
- EUSKAMPOS. (2013). *Análisis de Datos*. Retrieved from Energías Renovables: <http://www.sc.ehu.es>
- Fariñas, E. Y. (2013). *Estudio para el diseño aerodinámico de los aerogeneradores verticales tipo Giromill*.
- Gipe, P. (2000). *Energía eólica practica*. España: Progensa.
- Gudcraft. (2013, 04). *Aleko WG300*. Retrieved from gudcraftonline: <http://www.gudcraftonline.com>
- Institute for Energy Research. (2012).
- ISOFOTON. (1999). *Manual de Usuario Paneles Isofoton*. Madrid.
- Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona: Ceac.
- LATIn. (2014). *INTRODUCCION AL ESTUDIO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA*. Retrieved from LATIn: <http://escritura.proyectolatin.org>

- Maxim. (2008). *Datasheet I2C Real Time Clock DS1307*.
- MILLENNIUM. (2014). *Batería 31DC115*.
- Ortega Rodríguez, M. (2002). *Energías Renovables*. España: Paraninfo.
- Perez, P. C. (2013). *Módulos Fotovoltaicos*. Retrieved from Oretano:
<http://oretano.iele-ab.uclm.es/>
- Proviento. (2014). *Baterías Solares+Ciclo Profundo*. Retrieved from Proviento:
<http://www.proviento.com.ec>
- Ropatek. (2013). *FAQ*. Retrieved from Ropatek: <http://www.ropatec.it>
- Universidad Nacional del Nordeste. (2014). *Parámetros de Diseño Aerogeneradores*.
Corrientes-Argentina.
- Villarrubia, M. (2004). *Energía eólica*. Barcelona: Ceac.