

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMA HÍBRIDO AUTOMATIZADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, POR MEDIO DE PEQUEÑOS AEROGENERADORES

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa¹, Luis Alfredo Rodríguez Umaña, Especialista en Automática e Informática Industrial²

¹ Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos - Colombia
jmartinez@unillanos.edu.co

² Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos - Colombia
lrodriguez@unillanos.edu.co

Resumen- Este documento busca dar solución a los problemas energéticos por los que deben atravesar comunidades en lugares apartados de las zonas urbanas dentro del territorio colombiano, mostrando soluciones a partir de la utilización de energías renovables, proponiendo a los pequeños aerogeneradores como una alternativa, especialmente los de capacidad de 1.5 KW, ya que estos pueden generar suficiente energía eléctrica para cubrir la demanda promedio de un hogar al mes. También se escoge este sistema por sus grandes y ventajosas características, como lo son el bajo impacto ambiental que genera, al considerarse entre las energías renovables una de las más limpias, también por su fácil principio de funcionamiento, y su bajo costo de fabricación e instalación, ya que pueden ser instalados en el mismo lugar donde se realizará el consumo, reduciendo el costo en el transporte, además de su sencillo acoplamiento a la red de suministro eléctrico. Para ello se evaluaron las características de los diferentes tipos de aerogeneradores, la capacidad eólica del territorio nacional, las herramientas y componentes existentes para el diseño de la automatización e infraestructura del sistema eléctrico de conexión.

Palabras clave— Sistemas autónomos, sistema híbrido, energía renovable, aerodinámico, inversor multinivel

Abstract -This paper tries to solve the energy problems that must through communities in remote places in urban areas of Colombia, showing some solutions from the use of renewable energy, small wind turbines proposed as an alternative, specially the capacity of 1.5KW, since these can generate enough electricity to meet the demand that an average household normally consumed per month. This system was also chosen for its large and advantageous features, as low environmental impact generated, considering within renewable one of cleanest, also for its easy working principle and its low cost of manufacture and installation, as they can be installed in the same place where consumption is reducing the cost in transport, in addition to easy connection to the electricity provision. For this, they were assessed, the characteristics of different types of wind turbines, wind power

capacity of the country, existing tools and components for the design of automation and infrastructure of electrical connection system. With this, the intention is to create a prototype that make better the living condition in these place. Also its tries t promote the use of renewable energies to help to full the emission of greenhouse gases caused by the use of power plants based on fossil fuels.

Keywords— autonomous system, hybrid system, renewable energy, aerodynamic, multilevel inverter

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad 1600 millones de personas en todo el mundo no cuentan con la red de suministro eléctrico, gran parte de esto es porque la principal fuente de producción de energía se basa en la explotación de los recursos no renovables como lo son los combustibles fósiles, además el costo para poder hacer uso de ellos, se hace muy elevado, sobre todo en lugares donde no existe este tipo de recurso, es por eso que las personas en este tipo de lugares recurren a la utilización de fuentes de energía básica como lo son el carbón, leña, biomasa e incluso en algunos lugares el estiércol.

Esta búsqueda de recursos para subsistir trae consigo un número grande de inconvenientes, no sólo para las personas, sino para el lugar en donde éstas habitan, a nivel ambiental la búsqueda por recursos trae consigo la deforestación y la erosión de los suelos, y la quema de estos generalmente causa en las personas enfermedades del tipo respiratorio [1].

Es por esto que el desarrollo en nuevas fuentes de generación de energía eléctrica se hace indispensable, ya que estas

podrían mejorar la calidad de vida de estas personas e incentivar un crecimiento económico en estos lugares. Una alternativa para ello es el uso de fuentes de energía renovables, debido a que estas presentan variadas características, como lo son el bajo impacto ambiental, y también que permiten generar energía a un bajo costo.

El principal objetivo de este trabajo es presentar el diseño de un sistema híbrido automatizado, específicamente en el campo de la energía eólica, que pueda suplir de manera eficiente la demanda energética que la población en estas zonas requiere, contribuyendo a disminuir el número de personas, que aún no cuentan con el servicios por parte de la red eléctrica convencional.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se llevó a cabo el análisis de investigaciones abordadas a nivel mundial para la generación de energía eléctrica usando energías renovables, enfocado en la tecnología que utiliza la fuerza del viento, para este propósito, se recolectaron datos de las características que presentan estos sistemas y del crecimiento que ha tenido esta tecnología en todo el mundo, y de los países que más uso hacen de ella, evaluando así la viabilidad de poner en marcha un plan para producir energía eólica a pequeña escala en Colombia, especialmente en lugares de difícil acceso, estudiando el potencial eólico que se tiene en el país (Colombia), planteando la interconexión a la red por parte de estos dispositivos y que pueda a su vez tener control sobre ella.

Inicialmente se realiza una investigación de los diferentes componentes que hacen parte de la conexión eléctrica de un pequeño aerogenerador y de las características de este, y se proponen herramientas de control, que para este caso particular se ha optado por los módulos LOGO.

Los principales materiales propuestos en el análisis y diseño del prototipo son:

A. Aerogenerador: Encargado de convertir la energía cinética del viento que choca contra las palas o hélices, en movimiento mecánico rotacional, el cual es llevado a un mecanismo interno en el aerogenerador llamado multiplicador de velocidad, después de este pasa al generador que es el encargado de convertir la energía obtenida en electricidad la cual es dirigida a un sistema de almacenaje para su posterior uso [2].

El consumo promedio para una residencia varía entre los 800W y los 2000KW/mes, razón por la cual se evaluaron aerogeneradores de potencia de 1.5KW, produciendo 2000KW y 3000KW de media.

Es de apreciar que la potencia producida por un aerogenerador depende de varios aspectos que afectan

directamente en la cantidad de energía transferida al rotor por el viento, tales aspectos como la densidad del viento “d”, el área del barrido del rotor “A”, y de la velocidad del viento ”V”. La energía cinética de una masa de aire “m”, moviéndose a una velocidad “v”, responde a la ecuación (1):

$$E=1/2mV^2 \text{ ec(1)}$$

Si el volumen del aire que se mueve es “V”, y tiene una densidad “d”, su masa será: $m=V.d$ con lo que la energía cinética estará dada por la ecuación (2):

$$Ec = 1/2dVv^2 \text{ ec(2)}$$

La cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador en un tiempo “t” dependerá del área del barrido del rotor “A” y de la velocidad del viento.

El volumen del aire que llegara al rotor está dado por la ecuación (3):

$$V=A. v.t \text{ ec(3)}$$

Finalmente la energía cinética que aporta el aire a un rotor en un tiempo “t” estará dada por la ecuación (4):

$$Ec= 1/2 d.A.v.t.v^2$$

$$Ec= 1/2 d.A.t.v^3 \text{ ec (4)}$$

Y la potencia del rotor estará dada por la Ecuación (5):

$$Ec= d.A.V^3 \text{ ec (5)}$$

Donde la potencia del viento es proporcional al cubo de la velocidad del viento

Las grandes ventajas de trabajar con este tipo mi-aerogeneradores es que se puede evitar una producción aproximado de hasta 1.4 toneladas de CO₂.

Además, suministrar energía eléctrica en lugares aislados y alejados de la red eléctrica, causa menor impacto visual que las máquinas grandes, genera energía cerca de los puntos de consumo, reduce las pérdidas en transporte, es accesible a muchos usuarios, no se hace necesario de obra civil, y su instalación y mantenimiento son sencillas, funcionan con vientos moderados y no requiere estudios de viabilidad complicados [3].

En la actualidad existen varios tipos de aerogeneradores, como los son los de eje vertical, estos son aerogeneradores que no necesitan ser orientados en dirección al viento, trabajan a menor velocidad de viento y reducen el ruido en gran porcentaje, sin embargo es una tecnología en proceso de investigación, los de eje horizontal, los más comunes y por lo tanto los de mayor uso, debido a que funcionan con

tecnología más desarrollada y probada, por lo tanto son más fiables, este sistema tiene que ser orientado a la dirección del viento, para que las hélices puedan recoger la máxima cantidad de energía cinética proveniente del viento, este proceso de orientación se realiza automáticamente mediante el uso de una aleta fija[4], es por eso que se utiliza este último tipo aerogenerador para el estudio ya estos ofrecen una mayor garantía de funcionamiento.

Un aerogenerador puede también tener un gran número de palas o hélices, pero para objeto de la investigación se hará referencia al de tres palas haciendo caso a la ley de BETS la cual dice que solo se puede extraer un 59% del total de la energía cinética generada por el viento, a partir de ese máximo aumentar el número de palas de 1 a 100 a utilizar en un aerogenerador no incrementaría el rendimiento de este [5]. Además este sistema tri-pala es el que se ha estandarizado, ya que ha demostrado que se obtiene más eficacia y eficiencia utilizando un modelo de este tipo.

B. Baterías de ciclo profundo: Estas baterías guardan energía de modo que las fuentes de corriente puedan recargarlas por medio de alternadores, generadores eólicos, paneles solares, etc.

Las baterías de ciclo profundo guardan estrecha relación con la carga aplicada, porque generalmente esta suele ser más pequeña con respecto a la capacidad de la batería, se toma energía por debajo de la capacidad de la misma, ejemplo de ello es que para una batería de 65 Amperes, se toma una 3 amperes de esta durante 10 horas, la principal características de estas baterías es que permiten ser descargadas entre un 80 y 90 % del total de la carga.

La vida útil de una batería está determinada por un variado número de factores, como la profundidad de descarga, numero de ciclos, temperatura etc, a continuación en la Fig.1 se mostrará una aproximación de la vida útil de baterías de ciclo profundo dados distintos niveles de profundidad de descarga y periodos de uso [6].

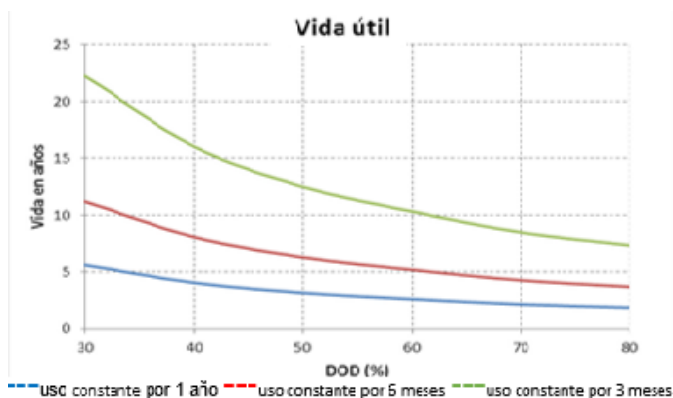


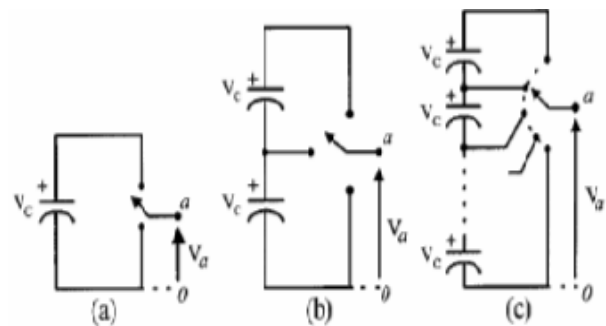
Fig. 1. Vida útil batería de ciclo profundo
Fuente: ENERDEX-energy solutions

C. Inversor CC/AC: Los sistemas para la generación de energía eólica producen electricidad en corriente continua o directa, para que pueda ser almacenada y luego usada, pero se hace necesario transformar esa corriente en AC debido a los dispositivos y las aplicaciones que normalmente hacen uso de estos tipos de sistemas, trabajan en corriente alterna y con una determinada frecuencia.

Es por eso que es indispensable hacer uso de herramientas que permitan realizar esta conversión, como es el caso de los convertidores o inversores estáticos de energía, los cuales transforman la corriente continua CC en corriente alterna AC, con la posibilidad de alimentar una carga en alterna, regulando la tensión y la frecuencia dependiendo del lugar en donde se construya, como lo son los electrodomésticos que se tiene en un hogar.

Las configuraciones más comunes en los inversores son: inversor asimétrico, push-pull, de medio puente y de puente completo [7].

En este trabajo se hace el análisis y diseño tomando como convertidor de CC a AC, a los inversores multinivel, que presentan una estructura única en su fuente de voltaje, que permite lograr altos voltajes con pequeños niveles de armónicos. Estos inversores basan sus estructuras en semiconductores y sus fuentes de tensión están basados en condensadores (ver Fig. 2), para alcanzar tensiones elevadas y señales de onda escalonadas y suavizadas como las mostradas en la Fig. 3 se requiere un adecuado control en los interruptores que hacen la conmutación. Esta clase de inversor presenta variadas características que los aventajan frente a los de uso de convertidores básicos, entre estas tenemos: generan una tensión y corriente de salida con poca distorsión armónica, y pocas variaciones en tensión, pueden operar en frecuencias de conmutación más pequeñas, generan tensiones en modo común menores reduciendo así el estrés de los dispositivos permitiendo manejar mayores potencias. [8]



Rama de fase de un inversor de (a) 2 niveles, (b) 3 niveles, y (c) n niveles

Fig 2. Principales ramas de fase de un inversor multinivel
Fuente : Convertidores CC/AC para la conexión directa a la red de sistemas eólicos.

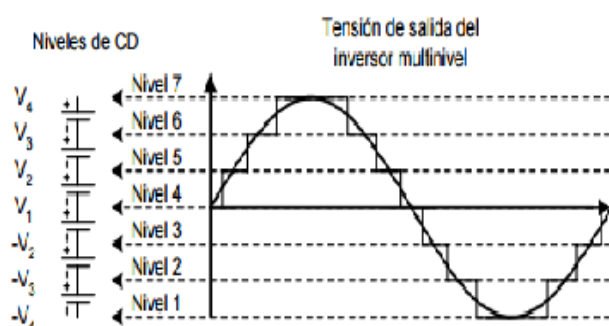


Fig.3. Tension de salida de un inversor multinivel

Fuente: Tesis de maestria – análisis y desarrollo de un inversor multinivel-ing
Ernesto barcenaa barcenaa.

D. Anemómetro: Dispositivo usado para la medición de la intensidad del viento, y la dirección en el que este sopla, esta herramienta esta compuesta por un par de palas giratorias instaladas sobre un poste vertical. El viento que es atrapado por estas palas hace girar el anemómetro, cada vez que este hace una rotación completa, se hace el proceso de medición de la velocidad del viento en base a las RPM, luego se obtiene un promedio en función del tiempo, de las revoluciones por minuto obtenidas.[9]

E. Controlador: Dispositivo usado para realizar la automatización del proceso, es decir para que adquiera la característica de sistema híbrido. Se propone el módulo de control logo, el cual es una herramienta lógica programable, esta herramienta permite solucionar problemas en el control de aplicaciones con mayor facilidad y a menor costo.

Este módulo permite transferir directamente los archivos o códigos de programación requeridos en las diferentes aplicaciones, directamente desde el PC con un cable especial, la programación de este se realiza de una forma sencilla, ya que maneja un lenguaje gráfico compuesto básicamente por compuertas lógicas. El software en cual se instala en el pc para la programación es LOGO SOFT el cual como ya se dijo maneja un lenguaje bastante simple y rápido de aprender, las ventajas de este software respecto a la programación es que permite imprimir y visualizar los esquemas programados, permite hacer la simulación del circuito, para comprobar su correcto funcionamiento, antes de que sea cargado al logo, para hacer esto solo basta con hacer unos pequeños cambios, como lo son cambiar las entradas como pulsadores o interruptores. Los programas se almacenan en disco en forma de formato fichero, se pueden nombrar las entradas y salidas del modo que se requiera, además existe un completo manual que permite conocer para que función tienen todos los módulos existentes en el software, facilitándonos la escogencia de los que nos servirán para la programación, de la aplicación a realizar [10].

Actualmente se vive una crisis en todo el planeta por causa del efecto invernadero, la contaminación y la lluvia ácida, que han sido generados por la utilización de recursos no renovables (combustible fósil, nuclear, etc), en la construcción de fuentes de energía, que han contribuido al desarrollo industrial, al crecimiento poblacional y socio-económico en el pasar de los años.

Tal es la crisis que hay hoy en día, que los gobiernos de todas partes del mundo se están reuniendo para hacer acuerdos y tratados que regulen la utilización de esta clase de recursos, y promuevan la utilización de fuentes de energía renovable, como los sistemas eólicos, fotovoltaicos, entre otros. Algunos de los tratados y acuerdos más destacados se encuentra el que hubo en Johannesburgo en agosto del 2002, donde se acordó ampliar el uso de recursos energéticos renovables y aumentar la producción de energía procedente de fuentes renovables [11].

La preocupación va más allá de tratar de remediar el daño ya hecho, también se centra en el crecimiento poblacional que se espera a futuro en todo el mundo, el cual va a traer consigo un aumento en el consumo energético, que se pronostica que sea en el 2025 de un 30% del actual, según la agencia internacional de energía [12]. Aunque existen los recursos necesarios aun para suplir esta demanda, se hace bastante obvio que la sola utilización de las fuentes convencionales para tratar de suplir esta necesidad no es buena idea, ya que incrementara en una gran proporción el daño ecológico, es por eso que se hace conveniente la introducción de sistemas de generación de energía más confiables y amigables con el planeta, como los mencionados anteriormente.

Debido a esto se ha visto un reciente crecimiento en materia de desarrollo, en la producción de este tipo de tecnologías que permiten hacer uso de las energías renovables de una forma más eficiente, dos de las tecnologías más estudiadas y explotadas en los últimos años son las que hacen uso de la energía del sol y de las corrientes de aire, en pocas palabras los sistemas fotovoltaicos y los eólicos, por tratarse de los recursos que mayor presencia tienen en la tierra.

Si bien ambas tecnologías han tenido un buen crecimiento, la que mejor se ha posicionado en el mundo han sido la eólica, porque presentan mayor eficiencia en su funcionalidad, además de ser considerada la energía renovable más limpia, debido a que es la que menor impacto tiene sobre el medio ambiente, porque en su proceso de conversión de la energía cinética del viento a energía eléctrica, no pasa por ningún proceso de combustión, lo cual es beneficioso para la atmósfera, es más eficiente en producción, la corriente eléctrica que puede llegar a producir un aerogenerador alcanza una capacidad de energía similar a la producida por 1000 Kg de petróleo, evitando que se quemados miles de galones de petróleo, que producirían toneladas de CO₂, no genera

alteraciones de consideración en la composición de los terrenos donde se instala, el agua al no hacer parte del proceso de generación no se ve alterada por contaminación, y además estas plantas no generan residuos [13].

A. ENERGIA EOLICA EN EL MUNDO A GRAN ESCALA

La energía eólica sigue creciendo a un ritmo acelerado como se refleja en la Fig. 4, según Global Wind Energy Council (GWEC). En el año 2014 se vio una instalación record de fuentes de energía eólica, en países desarrollados como China, que lideró el grupo en países con más inversión en instalaciones, seguido de Estados Unidos y Alemania. En total en el mundo para ese año fue instalada una capacidad de 51,1 GW, lo que sumaría junto con lo instalado en otros años 370 GW. De los cuales 31% fueron instalados en China, un 17,8% en los EE.UU. y el 10,6% en Alemania. Fig 5.

Estudios recientes de la Wind Energy Council (GWEC), muestran que este año también habrá un crecimiento considerable sobre todo en Brasil, Canadá, México y Estados Unidos. Actualmente los países líderes en producción de energías limpias son China, Estados Unidos y Alemania. [14]

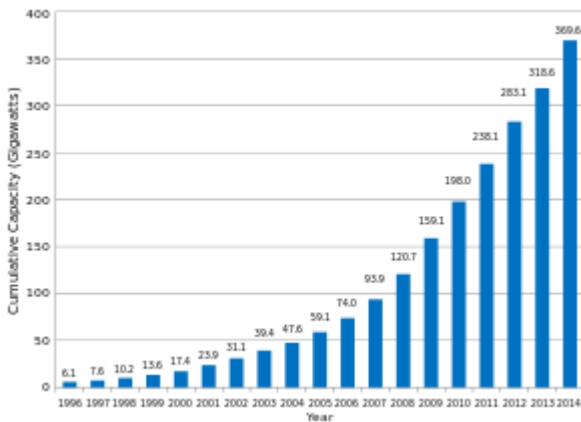


Fig 4. Potencia instalada acumulada en el mundo hasta el 2014
Fuente: GWEC

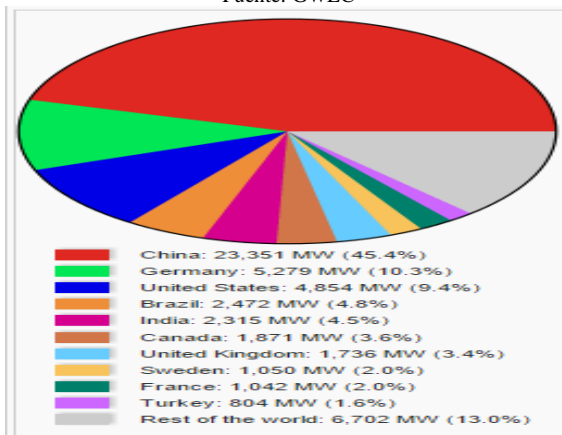


Fig 5. Capacidad instalada por país en el 2014
Fuente: GWEC

B. ENERGIA EÓLICA EN EL MUNDO A PEQUEÑA ESCALA

Esta clase de producción de energía con pequeños mini-aerogeneradores todavía no es muy usada, sin embargo ésta puede llegar a consolidarse como una de las más usadas para la generación de energía en los hogares, debido a sus grandes avances tecnológicos, que crean un gran atractivo para este mercado.

Hoy en día se estima que hayan instalados en el mundo 656.000 unidades de mini-aerogeneradores con capacidad de producción de 440 MW, los lugares donde los pequeños aerogeneradores se encuentran con mayor concentración son China y Estados Unidos, el primero con una cantidad de 450.000 unidades y el segundo con 144.000 unidades, según estudios realizados por la **World Wind Energy Association** [15].

Estos pequeños aerogeneradores presentan más versatilidad que los grandes, ya que estos presentan mejores características como lo son: el ser instalados en el lugar justo donde se realizan el consumo reduciendo el costo en el transporte, además se minimiza el impacto ambiental que genera en cuestión de la contaminación visual, son de bajo costo, no requieren de grandes estudios de viabilidad, y pueden funcionar a bajas velocidades del viento (2 m/s) [16].

C. SITUACION ACTUAL EN COLOMBIA EN MATERIA DE ENERGIA EÓLICA

Actualmente en Colombia se está explorando en el campo de la energía eólica, ejemplo de ello es la construcción del Parque Eólico Jepirachi ubicado en la región noroccidental de la Costa Atlántica Colombiana entre las localidades de Cabo de la Vela y Puerto Bolívar, con una capacidad instalada de 19.5 MW de potencia nominal, con 15 aerogeneradores de 1.3MW cada uno, con vientos aproximados a un promedio de 4 m/s.

Otro proyecto en fase de desarrollo estaría ubicado en San Andrés, realizado por parte de la empresa Sopesa, el cual tendría una capacidad inicial de 7.5MW, esta empresa ya cuenta con personal, el cual se encuentra realizando las mediciones de vientos [16].

Además de esto, Colombia tiene gran potencial para la generación de energía eólica, sobre todo en la parte norte donde la velocidad del viento maneja promedios de vientos muy favorables (ver tabla 1) para la implementación de más parques eólicos según lo que revelan estudios hechos por la UPME registrados en la tabla I [17].

TABLA I.
 VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO EN METROS POR SEGUNDO EN LOS
 LUGARES CON MÁS POTENCIAL EÓLICO DE COLOMBIA
 FUENTE: ATLAS DE VIENTO Y ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA - UPME

Velocidad promedio del viento en Colombia en m/s	
Departamento	Velocidad viendo en m/s
Bolívar	5,9
Boyacá	3,9
Isla de San Andrés	5,1
Isla de Providencia	4
La Guajira	4
Nariño	3,5
Norte de Santander	3,3
Antioquia	3
Atlántico	2,9
Magdalena	2,9
Santander	2,8
Tolima	2,7
Cundinamarca	2,2
Huila	4,1

D. VIABILIDAD DE LA ENERGIA EÓLICA EN COLOMBIA

Actualmente en Colombia se está promoviendo el uso para la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables, lo cual se ve reflejado en el acuerdo de ley 1715 firmado el 13 de mayo del 2014 por el presidente de la República Juan Manuel Santos en el Congreso de la República. Esta ley consta de 10 capítulos, y 46 artículos, que promueven el uso de energías no convencionales, principalmente las de carácter renovable. Esta ley brinda oportunidades a las personas que hagan uso de estos sistemas, tales como el préstamo del dinero para la compra de los equipos y la instalación de los mismos, la reducción de los impuestos en los costos de importación, también brinda oportunidad de negocio, ya que si una persona adquiere un equipo con capacidad superior a la consumida en su hogar, esta puede vender ese excedente. Estos son algunos de los muchos beneficios más que trae la ley [18].

Además de estas leyes también se hacen acuerdos con otros países para promover esta clase de fuentes de producción de energía, ejemplo de ello es el acuerdo firmado con Corea del Sur, en el foro empresarial realizado este año entre ambos países, que busca incentivar el uso de energías renovables en zonas apartadas del territorio colombiano, para esto Corea del Sur ofrecerá al país conocimientos para implementar futuros proyectos. Todo esto servirá para que Colombia se consolide como potencia a nivel energético. [19].

E. DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN PARA LA INTERCONEXIÓN A LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UN PEQUEÑO AEROGENERADOR

Generalmente el proceso de llevar la carga del aerogenerador hacia la casa u hogar, consiste en un proceso muy simple, el cual solo se encarga de captar la energía del aerogenerador, pasarlo por un regulador de tensión, a un lugar de almacenamiento y luego de eso llevarlo a un inversor de corriente continua C.C a corriente A.C, conectado directamente a la casa.

Este proceso ha funcionado bien, pero su estructura presenta muchas inconsistencias, debido a que no hay elemento alguno que regule las variables, que pueden poner en peligro los equipos que hagan uso de esta energía, variables como el estado de carga y descarga de las baterías, regulador de tensión, daño que puede llegar a generar sobretensiones, mal funcionamiento del inversor no haciendo la debida conversión generando una tensión incorrecta, imposibilitando el uso de los electrodomésticos.

En cuanto a la interconexión con la red convencional, presenta mucha inconsistencia, por lo que generalmente estos equipos se conectan en forma conjunta, es decir, las dos fuentes de energía están presentes al mismo tiempo, como se propone el siguiente esquema Fig. 6, para la puesta en marcha de la automatización, para el control del Sistema de conexión eléctrica entre un mini-aerogenerador y una vivienda.

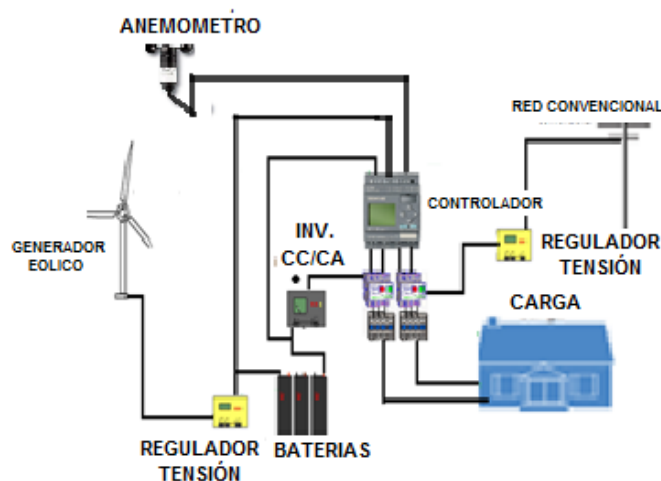


Fig 6. Circuito Esquemático para la interconexión eléctrica entre la red convencional y un aerogenerador pequeño.
 Fuente: Autores.

Este circuito presenta al aerogenerador como principal fuente de energía para el consumo, este es el encargado de generar una tensión en C.C, que puede variar entre los 12 V, 24 V, 48V; por medio de unos conductores (cables) la C.C es dirigida hacia un regulador de tensión, que mantiene una intensidad de carga estable, que es llevada hacia un lugar de almacenamiento (Baterías), y posteriormente esta carga es la

que llega al inversor el cual se encarga de invertir la tensión de C.C a A.C. y a su vez eleva la carga a 120V y 60HZ, condiciones requeridas por la gran mayoría de electrodomésticos para su correcto funcionamiento, pero antes de eso, se realiza un proceso de control, el cual es el encargado de verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos que componen el circuito de alimentación, en caso de ser así, el dispositivo de control activa un contactor que permite el paso a la corriente hacia la carga, en caso contrario, inhabilita la fuente principal y envía un pulso de control, habilitando una fuente secundaria, mientras se restablecen las condiciones de funcionamiento de la fuente principal.

Se propone un aerogenerador de 1.5KW, consumo promedio al mes de un hogar colombiano, consumo de los electrodomésticos y bombillas, ver tabla II, y si se considera un lugar alejado, la demanda por energía eléctrica disminuye, ya que por lo general estas viviendas cuentan con pocos objetos que generan un consumo eléctrico (principalmente electrodomésticos). Y la media de un aerogenerador de este tipo generalmente esta entre 200KW y 3000KW al mes.

TABLA II.
CONSUMO ELÉCTRICO EN KW PROMEDIO DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS DE UN HOGAR TÍPICO COLOMBIANO.
FUENTE: ELECTRICARIBE

Consumo en KW de los electrodomésticos de un hogar		
Electrodoméstico	Horas uso día	Consumo KW/mes
Bombillo ahorrador 20w	5	3
Bombillo incandescente 100w	5	15
Equipo de sonido 100w	2	6
Grabadora 22w	8	6
Computador 565w	4	68
DVD 60W	4	8
Ventilador grande 300W	12	108
Ventilador pequeño 57W	12	20
Lavadora doméstica 450W	1	9
Horno microondas 770W	1	23
Plancha 100W	1	22
Nevera 130W	12	47
Licuadaora 300W	2	2,4
Televisor convencional 100W	10	30
Televisor pantalla plana 60W	10	18

El programa realizado se encarga del proceso de control de las variables físicas, que determinan el correcto funcionamiento del circuito propuesto.

En este programa se analizan tres variables: la carga y descarga de las baterías, el voltaje en el regulador de tensión y la velocidad del viento.

Para realizar este programa, se procede a asignar un módulo para el inicio del programa, tres módulos análogos de entrada que recibirán las señales provenientes de los dispositivos a medir, luego de eso se procede a hacer la caracterización y

linealización mediante un módulo aritmético el cual provee las herramientas matemáticas para llevar a cabo los cálculos concernientes a este paso.

Para llevar a cabo lo anterior, se hizo uso de la ecuación (6), correspondiente a la ecuación de la Recta, ecuación (7) para el cálculo de la ganancia y la ecuación (8) para el cálculo del valor normalizado.

$$Y = Mx + B \quad ec(6)$$

Y = Valor real
 X = valor normalizado
 M = Ganancia
 B = offset

$$Ganancia = \frac{max_sensor - min_sensor}{max_normalizado - min_normalizado} \quad ec(7)$$

$$valor_normalizado = \frac{valor_real - offset}{gain} \quad ec(8)$$

Offset = valor ajustable en el logo

Lo anterior se lleva a cabo en cada una de las variables de entrada, el objetivo que se busca con esto es convertir la señal analógica en un valor lineal, que se pueda interpretar de una forma más práctica y conveniente, posteriormente a este paso se evalúan un conjunto de reglas, con la ayuda de los módulos lógicos (AND, OR, XOR, NAND, NOT); estas reglas pueden variar de acuerdo a lo que determine el usuario en el momento de la instalación, la reglas sugeridas son: se verifique el estado de las variables de entrada, haciendo una comparación con una variable constante decidida por el programador que representará el correcto funcionamiento de los dispositivos si este valor de entrada se encuentra en el rango se envía una señal que habilita el sistema.

La visualización de las variables y del correcto funcionamiento de la máquina, se hace en la pantalla que incorpora el modulo logo. (ver Fig. 7).

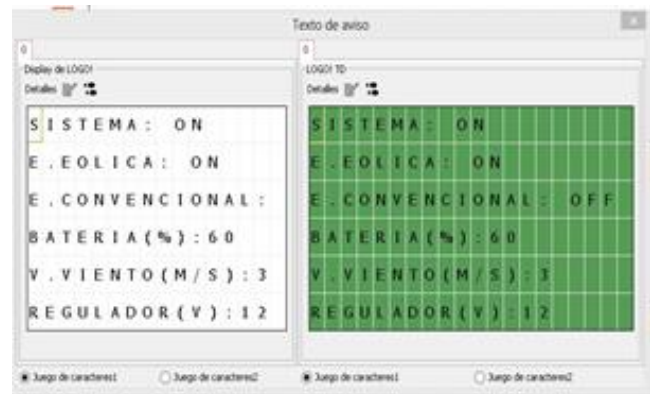


Fig. 7. Visualización variables a controlar
Fuente: los Autores

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad de los Llanos, quien a través de los últimos años ha influenciado significativamente en nuestras vidas permitiéndonos crecer como personas y profesionales; además nos permitió integrarnos en los procesos de investigación que se están realizando en la Escuela de Ingeniería con el grupo de Investigación GITECX, y en nuestro caso, trabajamos buscando soluciones tecnológicas que faciliten el uso de nuevas energías alternativas

CONCLUSIONES

Con este sistema se pueden realizar trabajos de automatización a pequeña escala, con una mejor eficiencia, ya que por su tamaño se hace ideal para instalaciones en cualquier panel o tablero de control, lo que lo hace perfecto para sistemas autómatas en instalaciones de uso residencial.

Esta herramienta recibe y envía señales por medio de un mecanismo de bornes con intensidades en cada uno de ellos inferiores a los 10 A, variando según el módulo de logo a utilizar, si es el caso de necesitar una intensidad mayor en cualquier aplicación, existen diferentes contactos auxiliares, que permiten extender esta capacidad hasta los 25 A.

El desarrollo de nuevas fuentes de generación de energía eléctrica ha sido una prioridad en las recientes investigaciones, especialmente para dar una mejor calidad de vida a la personas que no cuentan con este servicio, además para incentivar un crecimiento económico en estos lugares, debido a que estas presentan variadas características, como lo son el bajo impacto ambiental, además de la generación de energía a un bajo costo.

Una de las grandes opciones con las que cuenta el país, especialmente en lugares de difícil acceso, radica en el potencial eólico, es decir, el aprovechamiento de los vientos para la generación de energía eléctrica, y en la cual se basa el presente artículo, estableciendo el diseño de un sistema automatizado híbrido.

Un sistema automatizado de interconexión a la red permite a los usuarios establecer una manipulación sencilla de los dispositivos, además de la posibilidad de tener control sobre ella, como el planteado en el presente proyecto, consistente en un pequeño aerogenerador y de las características de este, y como lo son los módulos logo, logrando un diseño óptimo para los fines propuestos.

La generación de energía eléctrica en un lugar cerca de los elementos de consumo permite la reducción de las pérdidas causadas por su transporte, además de ser accesible a varios usuarios, su instalación y mantenimiento son sencillos,

además de poder funcionar con vientos de moderada intensidad

REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas (2015), Energía para todos: [En línea]. Available: http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder_energyforall_sp.pdf
- [2] H. R. Van De Wyngard. Energía Eólica. Capítulo 4. [En línea]. Available: <http://web.ing.puc.cl/power/paperspdf/CapituloEolico.pdf>
- [3] Energreencol. Energías renovables en Colombia-minieolica-. [En línea]. Available: http://www.energreencol.com/energia_eolica/mini_eolica/index.htm
- [4] H. de Battista (2000). Control de la Calidad de Potencia en Sistemas de Conversión de Energía Eólica. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- [5] J. Moragues, A. Rapallini (2003). Energía eólica. Instituto Argentino de la energía “General Mosconi”
- [6] J. L. Cavasassi. ¿Qué es una batería de ciclo profundo?. cavadevices.com.
- [7] A. Vernavá, R. Gibbons, A. Nachez, M. Arias, A. Novello (2006). Electrónica de Potencia Conversión CC/CA monofásica inversores monofásicos autónomos. Universidad Nacional de Rosario
- [8] I. Yznaga Blanco, B. L. Corral Martínez, A. Costa Montiel. (Energética Vol. XXIV, No. 2/20032006). Inversores multinivel para aplicaciones de gran potencia. Estado del arte. Teorico-experimetales.
- [9] R. Léniz Drápela. (2008). Capítulo 12. Anemómetro. Navegación Costera
- [10] Siemens-Manual Edición (2003) .LOGO!
- [11] Naciones Unidas (2002). Johannesburgo – Documento cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible.
- [12] D. M. Pasquevich (2015). La Creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales. Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable. Comisión Nacional de Energía Atómica.
- [13] P. Cuenca Garrido (2009). Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Doméstica-Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela politécnica superior

- [14] Global Wind Energy Council, (GWEC). (2014). Reporte anual-de mercado. . [En línea]. Available: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2014-annual-market-update/>
- [15] Asociación empresarial eólica (2012). REVE-informe mundial sobre la eólica de pequeña potencia. . [En línea]. Available: <http://www.aeeolica.org/es/new/reve-informe-mundial-sobre-la-eolica-de-pequena-potencia/>
- [16] R. Álvarez Munguía. (2008). Mejora del rendimiento de un generador eólico asíncrono conectado a la red, mediante convertidores electrónicos y controladores de lógica borrosa. Tesis doctoral. Universidad de salamanca faculta de ciencias departamento de física general y de la atmosfera
- [17] Á. Pinilla (2009). Energía eólica en Colombia. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Los Andes.
- [18] UPAME (2006). Atlas de viento y energía eólica de Colombia.
- [19] Ley 1715 (2014). Congreso de la Republica de Colombia
- [20] EFE. (2015) EL TIEMPO. Colombia y corea del sur firman acuerdos sobre energías renovables. . [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/mundo/asia/acuerdo-entre-colombia-y-corea-sobre-energias-renovables>