

Sistema de Control y Balizamiento para los Aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica La Venta II

BAEZ-IBARRA, Alejandro^{1*†}, ARELLANES-CANCINO, Nimcy², ENRÍQUEZ-NICOLÁS, Mario³, RODRÍGUEZ-MONTES, Juan Carlos⁴

¹Doctorado En Ciencias En Desarrollo Tecnológico, Instituto Tecnológico de Pochutla. ARELLANES-CANCINO, Nimcy,

²Cátedras CONACyT

³Departamento de Ingeniería Electronica, Instituto Tecnológico de Salina Cruz

⁴Academia de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Pochutla

Recibido Junio 14, 2017; Aceptado Octubre 7, 2017

Resumen

Como norma general de seguridad ambiental es necesario implementar sistemas de iluminación en los aerogeneradores, para ofrecer seguridad aérea dentro del área específica donde se encuentra un parque eólico. Los sistemas de iluminación en aerogeneradores dependen directamente de la altura de los mismos. En la actualidad, en la Central Eoloeléctrica La Venta II existen sistemas de balizamiento indispuestos, debido a fallas, averías o falta de actualización en el sistema de control, lo cual interrumpe el funcionamiento óptimo de las luces de obstrucción. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes junto con la Agencia de Aviación Civil establecen una serie de directrices relacionadas con el señalamiento e iluminación de parques eólicos. Un nuevo diseño de las luces de obstrucción ayudará a que el parque eólico La Venta II cumpla con la normativa vigente sobre sistemas de iluminación aérea y evitar accidentes que se puedan ocasionar. Este nuevo diseño del sistema de balizamiento dará paso a rediseñar balizas para implementarse de una manera más compacta y con optimización de componentes, con el fin de reducir costos y aumentar la eficiencia. El diseño expuesto tanto de balizamiento como del sistema de control, proporcionará ideas y propuestas para su mejora en el futuro.

Balizamiento, aerogeneradores, iluminación, eoloeléctrica

Abstract

As an environmental and security regulation, it is necessary to implement lightning systems in aerogenerators in order to offer aerial security within a specific area where a wind farm is found. The lightning systems in aerogenerators depend directly from their height. Nowadays, in the Central Wind Power Station La Venta II there is indisposed beaconing, due to failures, damage or an outdated control system which disrupt the optimal operation of the obstruction lights. The Secretariat of Communication and Transport (SCT) along with the Civil Aviation Agency stated a set of guidelines related to lightning and signage in wind farms. A new design in the obstruction lights will help the wind park La Venta II meet with the current regulations about aerial lightning systems and prevent any further accidents. This new design from the beaconing system will make way to a new, better and compact design of beacons in order to reduce costs and increase efficiency. The new beacon design along with the control system, will provide new ideas and improvement proposals in the future.

Beaconing, aerogenerators, lightning, wind-power

Citación: BAEZ-IBARRA, Alejandro, ARELLANES-CANCINO, Nimcy, ENRÍQUEZ-NICOLÁS, Mario, RODRÍGUEZ-MONTES, Juan Carlos. Sistema de Control y Balizamiento para los Aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica La Venta II. Revista de Investigación y Desarrollo 2017, 3-9:53-62.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad, en la Central Eoloeléctrica La Venta II existen sistemas de balizamiento indispuestos, debido a fallas, averías o falta de actualización en el sistema de control, lo cual interrumpen el funcionamiento óptimo de las luces de obstrucción. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes en conjunto con La Agencia de Aviación Civil establecen una serie de directrices relacionadas con el señalamiento e iluminación de parques eólicos.

Un nuevo diseño de las luces de obstrucción ayudará a que el parque eólico La Venta II cumpla con la normativa vigente sobre los sistemas de iluminación aérea y evitar accidentes que se puedan ocasionar.

Este nuevo diseño del sistema de balizamiento para los aerogeneradores dará paso a un nuevo diseño de balizas para implementarse en una manera más compacta y con optimización de componentes, esto con el fin de reducir costos y aumentar la eficiencia, este diseño tanto de la baliza como del sistema de control proporcionará grandes ideas y propuestas para su mejora en un futuro. El objetivo fue crear un sistema de control y balizamiento para los aerogeneradores G52 de La Central Eoloeléctrica La Venta II, para lo cual se llevó a cabo un análisis planteando los siguientes problemas a resolver:

- Falta del sistema de balizamiento en el parque eólico de la Central Eoloeléctrica Venta II
- Crear un sistema de control para el sistema de balizamiento para los aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica La Venta II
- Análisis del sistema de control de las luces de obstrucción.
- Investigación del funcionamiento de las luces de obstrucción de acuerdo con la altura de los aerogeneradores, respecto a las normas estipuladas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

- Diseño del sistema de control a manera que se cumplan las condiciones específicas para el buen funcionamiento del sistema de balizamiento.
- Potencialización del sistema de control para manejar gran cantidad de corriente y voltaje
- Estudio de los materiales para realizar el prototipo a manera que sea eficiente y eficaz.
- Generación de un presupuesto para comprobar que el estudio y el sistema de balizamiento reduzca gastos a los parques eólicos.
- Unión del sistema de control con la baliza y su ensamblado en el aerogenerador para la ejecución de pruebas.

Método y metodología

Para poder conocer la naturaleza del fenómeno y el objeto de estudio, fue necesario comprender su esencia. Se tuvo que analizar cada una de sus partes independientemente, para comprender el comportamiento, específicamente la del sistema de control y su estructura. Para esto se empleó el método analítico que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. Permitted conocer más del objeto de estudio, con lo cual se pudo: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías.

El procedimiento para llevarlo a cabo se dividió en cinco etapas, que tuvo por objetivo principal crear un sistema de control y balizamiento para los aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica La Venta II, que consiste principalmente en crear un sistema de obstrucción eficiente, eficaz y sobre todo económico.

Recopilación de información

La primera etapa fue el estudio de los antecedentes de los sistemas de balizamiento. En esta parte se estudiaron los aspectos específicos de los aerogeneradores de la marca GAMESA® haciendo hincapié en la nacelle que es donde se encuentra el sistema de balizamiento. Entre los instrumentos utilizados para obtener información que lograra crear un marco contextual se utilizaron entre otras, las siguientes: manuales, monografías, revistas especializadas y fichas técnicas.

Análisis del funcionamiento general de un aerogenerador, estudiando cada una de sus partes

En esta etapa fue necesaria la investigación acerca de los aerogeneradores, sobre todo la lectura del manual de operación Gamesa en el cual se aborda cada una de las partes del aerogenerador y su funcionamiento. Este manual se divide en cinco partes fundamentales:

- Descripción de la maquina completa
- Rotor completo
- Nacelle completa
- Torre completa
- Equipamiento eléctrico

Identificación y conocimiento de la ubicación de las balizas y el sistema de control

Con base en el manual de operación y mantenimiento G5X fue analizado el sistema de balizamiento, en esta fase se precisa la vista general y su localización en los aerogeneradores, de acuerdo a las especificaciones técnicas especiales de cada equipo y con base en las necesidades de cada parque eólico en los diferentes países.

De igual manera se hace referencia al estudio de los tipos de balizas, es decir su clasificación con base en la altura de la torre, con respecto a la normativa aérea.

Teniendo el manual de operación, esta tercera actividad a realizar se concibe de manera factible y práctica, puesto que, existe un apartado específico en el manual de operación en donde marca las especificaciones y el funcionamiento como tal del sistema de control, para que la programación de estas luces de obstrucción funcionen de buena manera, siguiendo las normas de seguridad aérea.

Análisis del problema

Una vez que se hubo identificado y definido el problema, se procedió a reconocer las causas principales del mismo. En esta fase el objetivo fue analizar el problema y dividirlo en partes separadas, examinando cómo es que se relacionan cada una de ellas. Fue indispensable comprender el contexto del problema y cómo unas partes afectan a otras. Con este análisis se tuvieron los inicios para las soluciones potenciales y elaboración de planes de acción. El análisis del problema se realizó a través del siguiente procedimiento:

- Confirmación de que el problema existe realmente.
- Presentación de los datos
- Identificación de causas potenciales

Identificación de posibles soluciones

Una vez que se tuvo una mejor comprensión de los problemas, fue más fácil identificar las posibles soluciones. Aquí el objetivo fue presentar ideas, las cuales facilitaron las organizaciones de los mismos, sus causas y el diseño de las soluciones.

Se realizaron investigaciones acerca de funciones de los sistemas de obstrucción y luces estroboscópicas. Así, mismo el análisis de voltaje, corriente, luminosidad, dispositivos de control, potencia, y sobre todo la plataforma de programación factible para la realización del proyecto.

Herramientas tecnológicas utilizadas para la implementación de la solución

Con base en los problemas y posibles soluciones analizadas, se optó por usar ARDUINO® como sistema de control principal, esta tecnología y su software ofrecen una plataforma completa de herramientas para solucionar retos, al ofrecer soluciones personalizadas para programar y ejecutar las condiciones requeridas por el usuario.

Diseño del sistema de control

Para iniciar con el diseño del sistema de control fue necesario tomar en cuenta el funcionamiento general de los sistemas de obstrucción, se tuvo que analizar cada una de las posibilidades, esto nombrando las condiciones en las que debe de iniciar el ciclo del sistema de balizamiento, y de igual manera en qué momento debe terminar el funcionamiento.

Es aquí donde se debe de mostrar cada condición y hacerse un reencuentro de funciones para verificar su correcto funcionamiento. Dentro de esta actividad también se presentaron las interrupciones e inconvenientes que modificaran el funcionamiento de las balizas.

Prototipado

Para el diseño del prototipo de la baliza fue necesario tener en cuenta las condiciones en las que se expone, ya que debe estar diseñada para su resistencia en la intemperie, trabajando a altas temperaturas y sobre todo a vientos de gran velocidad.

Posterior al estudio y diseño del prototipo para el sistema de balizamiento fue necesario el ensamble de todos los componentes para su funcionamiento en conjunto y de esta manera comprobar que su visibilidad sea de gran alcance y cumpliera con el objetivo principal de los sistemas de balizamiento.

Por otra parte al momento de la creación del prototipo se tomó en cuenta el lugar en el que se debe de situar la baliza y el sistema de control en la nacelle para que se tenga el cableado entre el sistema de control y la baliza en la parte superior de la capota de la nacelle y de igual manera el acercamiento del sistema de control hacia las conexiones eléctricas.

Resultados

Para la realización del prototipo del sistema de control y balizamiento para los aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica fue necesario estudiar la máquina completa y posteriormente el equipo de control específico que se encarga del funcionamiento general de las luces de obstrucción. Se analizó el Manual de operación y mantenimiento G5X en la sección 3.8 Cubierta nacelle, en este punto se encuentra el apartado llamado “G5X MOM Sistema de Balizamiento – Descripción”, a partir de este apartado se hace el análisis del funcionamiento.

Se diseñó un prototipo base para sustentar y hacer pruebas de esta investigación denominada “Creación de un sistema de Control y balizamiento para los aerogeneradores G52 de la Central Eoloeléctrica La Venta II”.

La realización del prototipo engloba el sistema de control y la estructura de la baliza como tal, tomando en cuenta todos los aspectos que sustentan el funcionamiento óptimo y eficaz; considerando la normativa vigente, fue necesario el diseño de un sistema de balizamiento de media intensidad.

Se realizó un análisis sobre el diseño, número de caras y la cantidad leds necesarios para el prototipo midiendo el voltaje que se obtiene de contactos dentro del aerogenerador, por otra parte se consideran las especificaciones de los leds a utilizar: en este caso leds de potencia de 3W.

El primer aspecto importante fue el voltaje y la corriente de una fuente destinada para la alimentación del sistema, teniendo un voltaje de entrada de 230V a 120V de corriente alterna y un voltaje de salida 24V de corriente continua. El siguiente aspecto fue la cantidad de leds que se debían de utilizar, en este caso los leds destinados fueron un total de 20.

De igual manera se tomó en cuenta que cada led de acuerdo con sus especificaciones deben de trabajar en una base disipadora, para evitar su sobre calentamiento y que las altas temperaturas afecten su funcionamiento, por tanto se analizó una placa de aluminio, ya que por sus propiedades específicas como son la alta resistencia a la corrosión y su alta capacidad de conducción.

Aplicando las leyes básicas de Kirchhoff y Ohm se hizo el análisis de un circuito en serie comprobando que la corriente será única en cualquier parte del circuito y el voltaje consumido será la suma de las tensiones de cada componente utilizado, y el amperaje será el mismo en cualquier parte de circuito. Para esto fue necesario hacer una simulación (Figura No. 1) de las conexiones de los leds para verificar su funcionamiento, a manera de comprobar el funcionamiento del mismo.

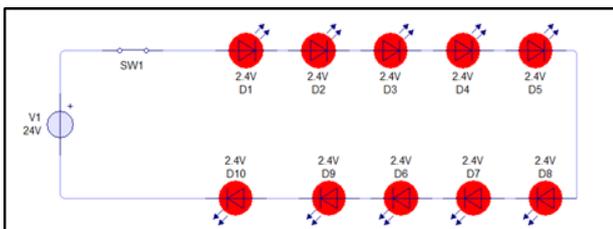


Figura 1 Circuito Serie solo en modo prueba simulado en el software LiveWire

Fuente: Elaboración propia

En la tabla No. 6 se dan a conocer los aspectos que se tomaron en cuenta para la evaluación de las caras para el prototipo, mencionando el número de leds, los watts a utilizar, un análisis de voltaje para poder adaptarse a la fuente y el total de corriente que utilizaría por cara.

Con respecto a los datos de la tabla se observó que por cuestiones del valor nominal de la corriente es mejor realizar un circuito en serie, además el voltaje promedio utilizado de un led es de 2.4V llegando al acuerdo de utilizar cuatro caras en la baliza para que el voltaje utilizado en dos caras cubriera los 24V de la fuente y posteriormente en paralelo y así el voltaje se conservara, y solo la corriente cambiara

	Opción 1	Opción 2
Nº de caras	4 caras	5 caras
Leds	5 leds cada cara	4 leds cada cara
Watts	15 watts en cada cara	12 watts en cada cara
Voltaje	2.4V por cada led haciendo un total de 12V en cada cara	2.4V por cada led haciendo un total de 9.6V por cara
Corriente	Corriente nominal de 750mA por su configuración en serie	Corriente nominal de 750mA por su configuración en serie
Configuración	En serie	En serie

Tabla 2 Aspectos tomados en cuenta para la elaboración del diseño

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que la primera prueba realizada fue la programación y parpadeo de un led por medio de una salida analógica-digital; estas salidas son conocidas también con el nombre de PWM (Modulación por Ancho de Pulsos); estas salidas ya están predestinadas en la placa. Para dar inicio con la programación, la primera prueba realizada con la placa fue programar el parpadeo de un led.

La idea principal del sistema de control es que una baliza, creada por los leds de potencia en placas de aluminio, encienda de manera automática tomando la hora a través de un reloj de tiempo real, este módulo tiene adaptado una batería con la que se apoya para guardar datos mientras el reloj esté desconectado o le falte el suministro de energía. El reloj de tiempo real, lleva la cuenta de los segundos, minutos y horas, además del día, mes y año automáticamente hasta el año 2000. Además cuenta con 56 bytes de memoria RAM respaldada por una batería exterior, que mantiene la fecha y hora cuando no hay corriente. Tiene la capacidad de detectar un corte de corriente y cambiarlo a modo batería. Consume muy poca energía, lo que ayuda a que la batería dure entre 5 y 10 años.

Se comenzó con la configuración del Reloj (RTC) utilizando la librería “Wire.h” que hace referencia a la comunicación I²C implementada por Arduino®, que es un protocolo diseñado por Phillips®, y que define las reglas de cómo se pueden conectar diferentes dispositivos entre sí, creando un bus de comunicación entre diferentes dispositivos en serie, el cual se ejecuta sobre tres cables base (GND), un cable con señal del reloj (SCL) y un tercero con datos (SDA), todos ellos con conexión en paralelo. Este protocolo está contemplado para la existencia de un dispositivo master que inicia la comunicación y dispositivos esclavos.

En Arduino los pines correspondientes al bus I²C son: A4, destinado para la comunicación de datos (SDA) y A5, destinado para la señal del reloj (SCL), como se aprecia en la figura No. 2.

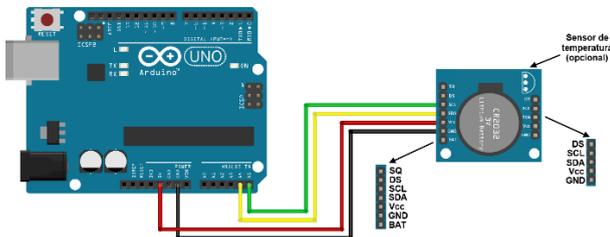


Figura 2 Diagrama de conexiones entre Arduino Uno y el módulo RTC

Fuente: API Online Arduino <http://www.arduino.cc>

Posterior a conocer las conexiones y los criterios de la condición I²C, se ejecuta el programa para la configuración del reloj. Se hace a través la plataforma de programación en comunicación con el puerto USB hacia la placa Arduino. Con un pequeño programa de configuración se le indica al reloj que tome la hora del sistema, este lee la hora y la fecha de la computadora y la almacena en su propia memoria, ya que todos los RTC por default tienen cargado las cero horas del primero de enero del 2000. Por otra parte las librerías “RTCLib.h” y “RTC_DS1307” definen el modelo de reloj que se ha de utilizar.

Teniendo el reloj configurado el siguiente paso fue llevar a cabo una programación sencilla de prueba que consistió en encender un led pero tomando en cuenta la hora y los minutos registrados en el RTC. Los tiempos establecidos de encendido y apagado de los leds y en general del sistema de balizamiento los establece la empresa encargada de la central eoloelectrica.

Referente a la etapa de potencia del sistema, se hace uso de un transistor de potencia, con el fin de controlar la electricidad, que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor y amplificador para señales electrónicas. El transistor Darlington es un tipo especial de transistor que tiene una alta ganancia de corriente. Está compuesto internamente por dos transistores bipolares que se conectan en cascada. Los transistores Darlington se utilizan ampliamente en circuitos en donde es necesario controlar cargas grandes con corrientes muy pequeñas. El transistor utilizado fue el TIP41C. el diagrama electrónico de conexiones se muestra en la figura No. 3.

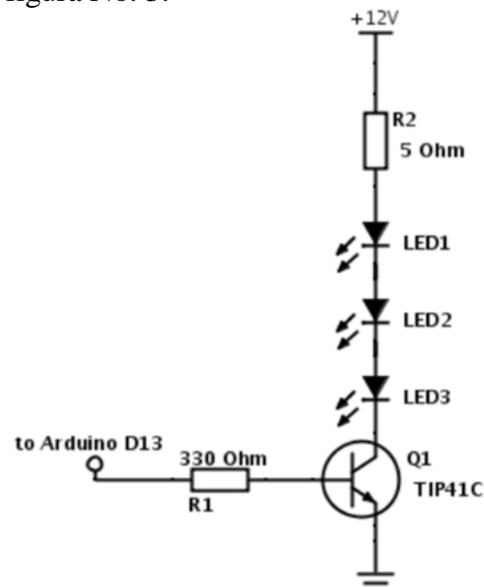


Figura 3 Diagrama de conexiones para la etapa de potencia del sistema de control basado en leds

Fuente: Elaboración propia

Culminado lo anterior, se realizaron pruebas con 10 leds de potencia, lo que equivale a tener dos caras de la baliza. Sabidos los componentes a utilizar se prosiguió con la simulación del circuito, utilizando el software de Proteus 8 Professional® y se hizo uso de ARES (de la misma Suite) para la fabricación de las placas de circuito impreso.

Posterior al diseño del circuito y su simulación realizó el ensamblado del circuito en la tablilla de pruebas (protoboard), esto con el fin de verificar el buen funcionamiento de la parte de potencia y corroborar que el transistor de potencia realizara su función.

Debido a la naturaleza de un sistema de balizamiento, se establecieron los criterios a seguir en la programación, esto dio lugar a una de las primeras condiciones la cual establece que el parpadeo de las luces debe terminar en una hora diferente a la hora de inicio

Como parte del funcionamiento de las luces de balizamiento es el cambio de intensidad de luz, yendo desde su valor mínimo al máximo y viceversa, se realizó la programación llamada "Fade" que hace referencia al brillo del led en incremento y decremento.

En general, se construyó desde cero el prototipo que demostró el funcionamiento del sistema de control de balizamiento cumpliendo con condicionantes basadas en tiempos y horas establecidas específicas y muy precisas (gracias al módulo RTC), además de considerar el funcionamiento básico del parpadeo en este tipo de sistemas y establecido por la empresa encargada. El diagrama final del sistema de control se muestra en la figura No. 4.

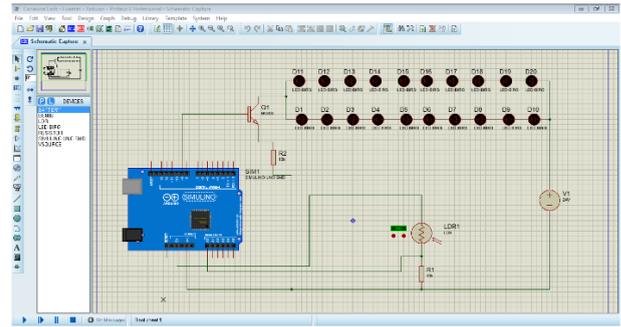


Figura 4 Diseño y simulación a partir del diagrama del sistema de control de balizamiento, considerando una sola cara

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se implementó el circuito del prototipo y se ajustó a un gabinete que resguardara el sistema de control, por otra parte se ejecutó el ajuste de la LDR dentro de la baliza para que tomara la incidencia de luz desde la base, se llevó a cabo el cableado de los leds y el LDR para que se comunicaran con el sistema de control dentro de la nacelle.

En la figura No. 5 se muestra el diseño del gabinete que contiene el sistema de control de la baliza, dicho gabinete contiene la placa de programación Arduino Uno®, el Reloj de tiempo real (RTC 1307) y el circuito que contiene la parte de potencia y donde se realizan las conexiones para la LDR, los led's y la fuente de 24VDC.

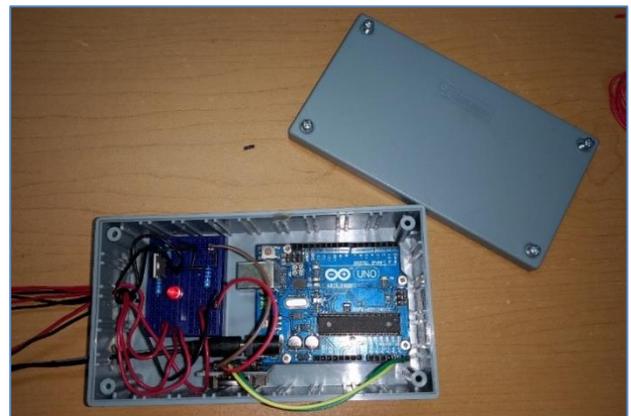


Figura 5 Gabinete contenedor del sistema de control

Fuente: Elaboración propia

Por cuestiones ambientales y debido a los altos vientos de la zona, fue necesario ajustar con tornillos la base de acrílico quedando como se muestra en la figura No. 6.

Lo anterior con la finalidad de mantener la forma deseada en caso de cualquier viento fuerte o por los rayos ultravioleta y evitar daño en el hardware de iluminación.



Figura 6 Aspecto físico del prototipo final para una baliza del Sistema de Balizamiento de la Central Eoloeléctrica La Venta II

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Con los resultados de las pruebas realizadas al prototipo del sistema de balizamiento, se cumple con el objetivo general del diseño de un sistema de control de balizamiento, se tuvo una gran eficiencia en el uso de los dispositivos electrónicos de potencia y programables.

La tarjeta Arduino Uno® ofrece soluciones económicas y prácticas para el control de dispositivos de potencia analógicos-digitales, por medio de la modulación de ancho de pulso o PWM. Otra ventaja que tiene es la lectura de señales analógicas, que fuer la clave para la interconexión con el reloj de tiempo real y la fotorresistencia que son fundamentales en los sistemas de este tipo para la captación de variables físicas y tomarlas en cuenta en las condicionantes.

El uso de los leds de potencia reduce significativamente el número de leds (muchas veces focos) utilizados en balizas convencionales, aumentan la eficiencia de las luces de obstrucción mejorando su luminosidad con respecto a su ángulo de incidencia y sobre todo se refleja un considerable y proporcionado bajo costo.

La utilización del módulo RTC permitió facilitar la creación del firmware del prototipo, generando un código muy limpio y logrando una actualización del software casi de forma transparente para el usuario. Aunado a lo anterior, este módulo permite darle a cada baliza del sistema de control de balizamiento, una precisión inigualable comparado con otros sistemas.

En conclusión, con el diseño de este sistema de balizamiento se tiene un prototipo totalmente funcional que cumple con las condicionantes propuestas por la empresa:

- Día: esta función se activará sí, y solo si las condiciones ambientales y meteorológicas así lo requieren, su funcionamiento estará basado en el LDR que funcionara solo en el horario en el que no esté funcionando el Reloj, es decir, de 6:00 horas a 18:00 horas. Si dentro de este horario la incidencia de luz solar es poca, mandará una señal al sistema de control y entonces entrarán en funcionamiento las luces de obstrucción.
- Noche: Conociendo el horario en el que comienza a ocultarse el sol y en el que empieza a amanecer, la baliza actuará en el horario programado que es desde las 18:00 horas a las 6:00 horas, es decir cubriendo toda la noche y madrugada (etapa oscura).

Como recomendación para futuros prototipos, se propone utilizar un sensor de temperatura en conjunto con el sistema de enfriamiento para evitar un sobre calentamiento en momentos donde las condiciones ambientales así lo requieran.

Por otra parte se recomienda la mejora en la carcasa debido a las condiciones climáticas de la zona, la estructura de la baliza no debe presentar una oposición al viento (se requieren estudios de aerodinámica en el diseño del contenedor que permitan disminuir el desgaste a numerosos factores relacionados a los fuertes vientos) y así mismo un uso de materiales más adecuados.

Agradecimiento

Un especial agradecimiento a la empresa encargada de la Central Eoloeléctrica que hizo posible llevar a cabo esta investigación y el desarrollo del primer prototipo, asimismo a los ingenieros en campo que con su asesoría nos permitieron entender rápidamente el funcionamiento de los aerogeneradores, así como los sistemas de seguridad asociados y las distintas normativas vigentes aplicables.

Un entero agradecimiento a nuestras instituciones de procedencia: I.T. Pochutla y al I.T. Salina Cruz, por brindarnos las facilidades laborales para los estudios en campo.

Referencias

Acrilico-y-policarbonato.com. (2011). ¿Qué es el Acrilico?. [En línea] Disponible en: <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico.html> [Consultado el 4 de Diciembre. 2016].

Arduino.cc. (2014). Arduino - DigitalWrite. [En línea] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/DigitalWrite> [Consultado el 24 de Octubre del 2016].

Arduino.cc. (2015). Arduino - Wire. [En línea] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire> [Consultado el 17 de Noviembre del 2016].

Arduino.cc. (2015). Arduino - Fade. [En línea] Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Fade> [Consultado el 17 de Noviembre del 2016].

Course, F., Tutorials, A. and Shield, A. (2015). Tutorial 10: Fade an LED with Pulse Width Modulation using analogWrite() - Programming Electronics Academy. [En línea] Programming Electronics Academy. Available at: <https://programmingelectronics.com/tutorial-10-fade-an-led-with-pulse-width-modulation-using-analogwrite/> [Consultado el 17 de Noviembre del 2016].

Electrónica Unicrom. (2012). Transistor Darlington - Electrónica Unicrom. [En línea] Disponible en: <http://unicrom.com/transistor-darlington/> [Consultado el 15 de Noviembre del 2016].

Llamas, L. (2015). Medir nivel de luz con Arduino y fotorresistencia LDR (GL55). [En línea] Disponible en: <http://www.luisllamas.es/2015/03/medir-nivel-luz-con-arduino-y-fotorresistencia-ldr/> [Consultado 29 de Noviembre 2016].

Measwind.com. (2015). Luces de Balizamiento - Measwind Renewable Services. [En línea] Disponible en: <http://measwind.com/ro/torres/luces-de-balizamiento.html> [Consultado el 19 de Octubre del 2016].

Montero, M. (n.d.). "Balizamiento de parques eólicos, consideraciones ambientales, propuestas para mejora de diseño y operación de parques". 1st ed. [ebook] Miguel Montero Bueno. Disponible en: http://www.aeeolica.org/ponencias/twg2012/Miguel%20Montero_APREAN.pdf [Consultado el 19 de Octubre del 2016].

Pomares, J. (2015). Entradas y salidas digitales y analógicas. [En línea] Dfists.ua.es. Disponible en:http://dfists.ua.es/~jpomares/arduino/page_10.htm [Consultado el 24 de Octubre del 2016].

Playground.arduino.cc. (2015). Arduino Playground - HomePage. [En línea] Disponible en: <http://playground.arduino.cc/> [17 de Noviembre del 2016].

Prometec.net. (2015). Introduccion a la Programacion del Arduino | Tutoriales Arduino. [En línea] Disponible en: <http://www.prometec.net/intro-programacion/> [Consultado el 20 de Octubre 2016].

Prometec.net. (2015). El bus I2C | Tutoriales Arduino. [En línea] Disponible en: <http://www.prometec.net/bus-i2c/> [Consultado el 17 de Noviembre del 2017].

ROBOTica al Alcance de todos y toDAS. (2015). Práctica 3. Encender un LED y cambiarle su intensidad. [En línea] Disponible en:<https://robotadas.wordpress.com/2015/09/23/practica-3-encender-un-led-y-cambiarle-su-intensidad/> [Consultado el 17 de Noviembre del 2016].

Tuelectronica.es. (2015). [En línea] Disponible en:<http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-rtc-i2c-con-arduino.html> [Consultado el 17 de Noviembre 2016].