

Diseño de un prototipo de sistema de monitoreo y control para detección de incendios

Dercio Pareja Neto, Marco Mallorquín, Katia Ayala, Jorge Arrúa

netopareja@gmail.com, marco.mallorquin@gmail.com, ktiaayala@gmail.com, jorgearrua@gmail.com.
Facultad Politécnica - Universidad Nacional del Este
Ciudad del Este – Paraguay

Resumen. *Este proyecto consiste en desarrollar un sistema de monitoreo y control, capaz de identificar, alertar e inclusive extinguir la presencia de un incendio. Dicho sistema brinda al usuario una aplicación online de fácil de uso, que posibilita al mismo verificar de manera remota, y desde cualquier dispositivo con conexión a la red, el estado de las distintas dependencias de una residencia, permitiendo además la configuración del sistema. Para desarrollar el software se utilizó la metodología XP o eXtremeProgramming, que prioriza más la adaptabilidad que la previsibilidad. El sistema consta de uno o más dispositivos denominados nodos compuestos por un conjunto de sensores de gas/humo, temperatura/humedad y detección de fuego posibilitando así el registro del comportamiento del ambiente y en caso exista incidente utilizar actuadores para su control y alerta, esto mediante el uso de una sirena para alertar localmente sobre el evento; y válvulas solenoides de control de flujo de agua para la extinción del fuego, tanto de manera automática (sin intervención humana) o manual. Además, el sistema consta de un servicio de notificaciones de eventos a través de mensajes de texto y correo electrónico. El sistema fue diseñado pensando en la escalabilidad, pudiendo ser añadiendo nuevos nodos de acuerdo a la necesidad del usuario, siendo cada nodo independiente en cuestiones de configuración y servicios de notificación. El proyecto se desarrolló en tres etapas: diseño, implementación y pruebas al sistema; al finalizar todas las etapas se pudo demostrar el correcto y confiable funcionamiento del mismo.*

Palabras clave: Automatización y control, Arduino, detector de Incendio.

Abstract. *This project consist in develop a monitoring and control system, able to identify, alert and even extinguish the presence of a fire. This system provides the user with an online application easy to use, which allows verifying remotely, and from any device connected to the network, the status of the various departments of a residence, also allowing the system configuration. To develop the software eXtremeProgramming XP or methodology that prioritizes more adaptability that predictability was used. The system consists of one or more devices called nodes composed of a set of sensors gas / smoke, temperature / humidity and fire detection thus enabling recording the behavior of the environment and if there incident use actuators for control and alert, that by using a siren to warn locally about the event; and solenoids or manual valves control water flow for fire suppression, both automatically (without human intervention). The system also comprises a service event notification through text messages and email. The system was designed with scalability and can be adding new nodes according to the user's need, each independent node configuration issues and notification services. The project was developed in three stages: design, implementation and testing system; at the end of all stages could demonstrate the correct and reliable operation.*

Keywords: Automation and Control, Arduino, Fire detector.

1. Introducción

Los detectores de incendios disponibles en el mercado de bajo costo son limitados con funcionalidades de detección de humo y alertas sonoras sin ofrecer mayores prestaciones al usuario los llamados sistemas anti incendio convencionales. La falta de un sistema confiable y estable que pueda monitorear, controlar y alertar sobre un incidente puede ocasionar perdidas inestimables estas sean materiales o mismo humanas.

De ahí surge la idea de mejorar el tratamiento de esta problemática implementando tecnologías de bajos costos y confiables con el objetivo de salvar guardar los bienes materiales y humanos.

La utilización de placas programables crece cada día más por brindar infinitas posibilidades de funcionamiento, lo cual hace posible el desarrollo de sistemas moldados con funcionalidades que se juzgue imprescindible, a costo razonable y con posibilidad de que dicho sistema sea escalable, totalmente dinámico con el usuario y con gestión online.

A causa de la problemática y el uso de nuevas tecnologías este trabajo propone el desarrollo de un sistema funcional, dinámico con el usuario y con gestión online de manera que el usuario pueda monitorear y configurar las funcionalidades del sistema. Todas estas prestaciones brindan al usuario un sistema autónomo, escalable y confiable.

A continuación, se presenta la organización del artículo y se describe brevemente el contenido de las secciones siguientes. En la sección 2 se muestra los antecedentes de trabajos publicados que tienen directa relación con esta área de estudio. En la sección 3 se introduce la generalidad de las redes inalámbricas de sensores y las tecnologías específicas utilizadas en el presente trabajo: ZigBee y la plataforma Arduino. En la sección 4 se presenta el sistema implementado, describiendo sus elementos, su funcionamiento y configuración. En la sección 5 se exponen la implementación y pruebas del sistema, así como los resultados obtenidos. En la sección 6 la discusión de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas. Finalmente, en la sección 7 las

conclusiones del trabajo, recomendaciones y las líneas de futuros trabajos posibles.

2. Trabajos Previos

2.1. Diseño de un sistema de detección de incendios y alarma antirrobo en un domicilio

El trabajo presenta un diseño y prototipo inicial de un sistema de detección de incendios y alarma anti robo el cual ha sido implementado con el uso de la plataforma Arduino utilizando una tarjeta módem GSM shield que le permite al sistema notificar eventos de alarma y de incendios ocurridos [1].

2.2. Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee)

Este trabajo se utilizó la tecnología Zigbee por medio de Arduino. Dichas tecnologías han permitido crear un sistema que se denomina Natura Sys que está conformado por motas sensoriales receptoras de información ambiental tal como temperatura, humedad y presencia de humo; la información es enviada a una central recolectora para ser visualizada en una aplicación de escritorio donde se podrá detectar posibles alertas de incendio forestales bajo parámetros programables [2].

3. Conceptos fundamentales

3.1. Hardware Arduino

Arduino es una plataforma *open-hardware* de diseño y distribución libre, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje *Processing/Wiring*[3].

Arduino ofrece algunas ventajas sobre otros sistemas[4]:

- Bajo Costo.
- Multiplataforma.
- Entorno de programación simple y claro.
- Código abierto y software extensible.

En la Figura 5 se puede observar algunas de las placas Arduino. Tal variedad responde a las diferentes extensiones que se han venido realizando de las primeras placas de acuerdo con las demandas específicas de los usuarios y son también resultado natural de tratarse de una tecnología abierta. El uso de una u otra placa dependerá del tamaño del proyecto a realizar, de las prestaciones (básicamente potencia, comunicación Bluetooth, otras), de la programación (USB o externo), o interacción con otros dispositivos[5].



Figura 1. Gama Arduino.

3.2. Power over Ethernet

Alimentación a través de Ethernet Power over Ethernet[6] (PoE) permite la conmutación LAN infraestructura para suministrar energía a un punto final (“dispositivo alimentado”) a través de un cable Ethernet de cobre. Los teléfonos IP y puntos de acceso inalámbricos son los usos más comunes para Power over Ethernet, PoE 802.3af estandarización de proporciona energía a una nueva generación de dispositivos de red adjunta.

3.3. API Gmail

La API de Gmail es una API REST que se puede utilizar para tener acceso a los buzones de correo de Gmail y enviar correo. Para la mayoría de aplicaciones web (incluyendo aplicaciones móviles), la API de Gmail es la mejor opción para el acceso autorizado a los datos de un usuario de Gmail.

La API de Gmail te da acceso flexible, REST bandeja de entrada del usuario, con una interfaz natural de Threads, Messages, Labels, Drafts, y History.

Todo lo que necesita para utilizar la API de Gmail es la biblioteca de cliente de su elección de idioma y una aplicación que puede autenticarse como usuario de Gmail [7].

4. Descripción del sistema propuesto

El sistema se constituye por dos partes principales: el servidor (software desarrollado) y dispositivos que posibilitan la medición y actuación. A continuación, se describirá más detalladamente las partes del sistema y sus funciones.

4.1. Software del sistema

El servidor es el encargado de:

- Gestionar configuraciones para cada nodo instalado, proveyendo los parámetros de funcionamiento para cada nodo (por ejemplo, temperatura máxima, concentración de gases, etc.)
- Recibir los datos enviados por los nodos, almacena en una base de datos para el historial de eventos.
- Analiza y constatarla existencia de un evento y actuar y alertar si lo fuere necesario.

Otra funcionalidad del servidor es monitorear la conexión constante con cada nodo, para determinar cuáles nodos están o no activos.



Figura 2. Interfaz principal del sistema.

4.2. Dispositivos

El hardware está compuesto por una placa microcontrolada Arduino, sensores y actuadores. El conjunto de este conjunto interactúa con el fin de medir variables determinantes para evaluar las condiciones del ambiente y posteriormente constatar un evento (por ejemplo: presencia de gases, presencia de fuego, temperatura elevada). A este conjunto lo nombramos de aquí por delante de nodo. El nodo también está compuesto por un software interno desarrollado, llamado firmware, este ejecuta determinadas funciones que posibilitan conectarse al servidor creando una conexión para sincronizar datos.

Los sensores son los dispositivos a través de los cuales se miden las variables del ambiente, en este trabajo fueron utilizados tres tipos de sensores:

- Sensor de detección de gases/humo.
- Sensor de temperatura/humedad.
- Sensores de detección de llamas.

Los actuadores empleados en este sistema son dispositivos que mediante órdenes del módulo de control pueden ser activados o desactivados con el propósito de emitir alertar y/o sofocar un incendio. Se utilizaron dos actuadores:

- Válvula solenoide de control de flujo de agua.
- Sirena para alerta sonora.

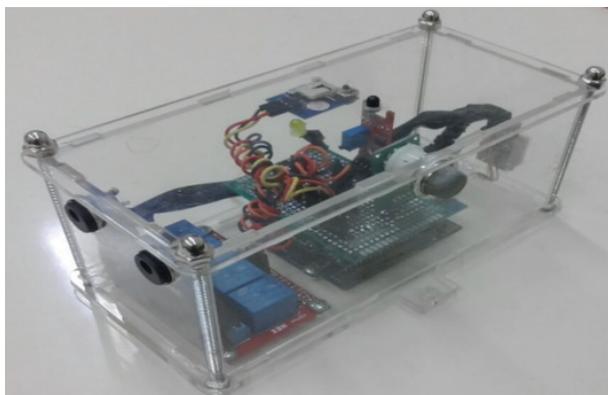


Figura 3. Prototipo de nodo de monitoreo y control.

4.3. Funcionamiento del sistema

El sistema obtiene datos de los sensores estos datos son comparados con parámetros de configuración que fueron establecidos por el usuario del sistema. Si estos datos son superiores a los parámetros se crean estados en el sistema (temperatura elevado, presencia de gases, presencia de fuego, presencia de Incendio), en el caso de que el estado sea "Presencia de Incendio" el usuario será notificado de dos maneras, por SMS, e-mail en caso que el estado sea otro éste será registrado en la base de datos con el propósito de tener un historial de eventos. El estado "Presencia de Incendio" depende de la configuración que se haya establecido (considerar conjunto de tres, dos o un sensor para determinar la presencia de incendio). Una vez detectado este estado se ejecuta una función de control de

actuadores que podrán ser activados de modo manual por el usuario o automáticamente por el nodo.

Los nodos poseen dos modos de funcionamiento. En modo automático el nodo realiza las mediciones de las variables, analiza y constata si existe un evento. En modo manual el nodo realiza las mediciones de las variables y los sincroniza con el servidor para su análisis y en caso que ocurra un evento, recibe datos de control del servidor, y de esta manera activando los actuadores deseados en el nodo. En caso de un evento el nodo queda pendiente de una orden del servidor, en caso de que ésta orden tenga un retardo superior de lo configurado, el nodo entra en modo automático y actúa como tal.

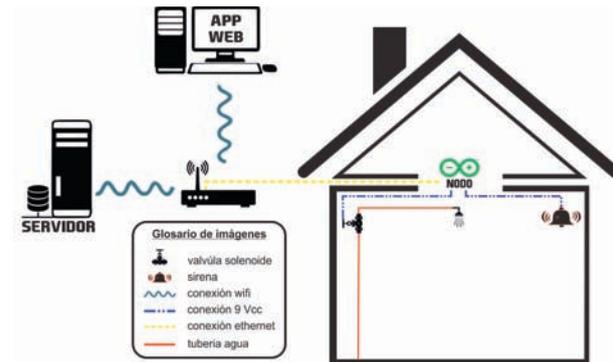


Figura 4. Esquema de funcionamiento del sistema de monitoreo y control de incendio.

4.4. Diagramas de flujo

A continuación, los flujos de datos de forma general, en uno se observa el proceso realizado por el servidor del sistema y a continuación el proceso realizado por el nodo del sistema.

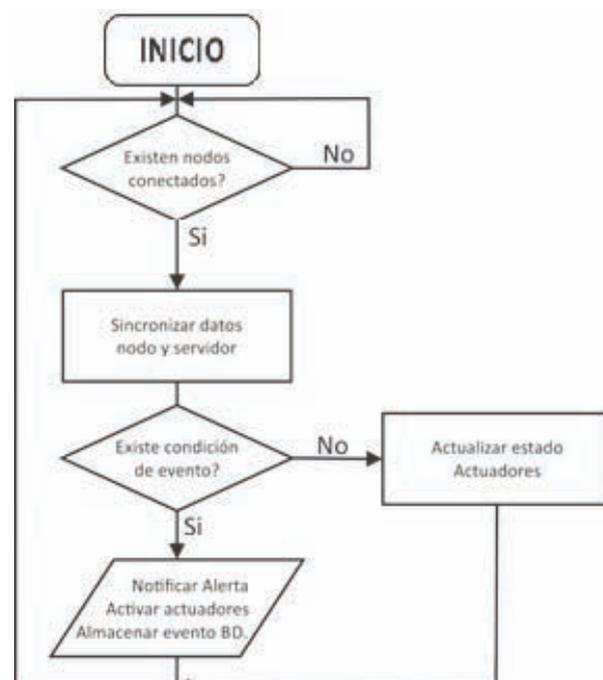


Figura 5. Diagrama de flujo simplificado del servidor.

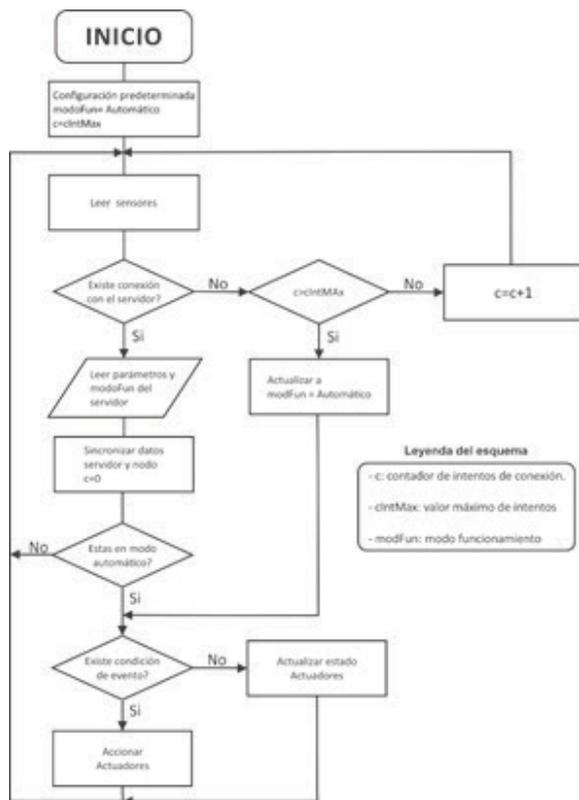


Figura 6. Diagrama de flujo simplificado del hardware (nodo).

5. Experimentos y resultados

En este apartado se llega al diseño final del prototipo del sistema de monitoreo y control de incendio. A continuación, se puede observar en la Figura 7 el prototipo ensamblado y listo para la realización de las pruebas para comprobar su correcto funcionamiento.



Figura 7. Ensamblaje final prototipo.

La mayor parte de las pruebas fueron realizadas en el escenario que se aprecia en la Figura 7. El mismo consiste en un ambiente cerrado donde fue posible simular eventos para la detección del sistema.

Seguidamente se muestran las diferentes pruebas realizadas y los resultados obtenidos en cada una de ellas.

5.1. Prueba 1: Comprobar funcionamiento de sensores

Las pruebas de sensores consisten en el test por separado de cada sensor utilizando materiales específicos, que puedan producir perturbaciones en los distintos sensores con el fin de conocer su comportamiento en situaciones, establecer los parámetros máximos y mínimos en los cuales puede trabajar sin que reciba perturbaciones indeseadas y funcionamiento correcto.

Se ilustra en las Figuras 8, 9, 10 y 11 escenarios que se realizaron algunas de las pruebas de comprobación de funcionamiento de sensores.



Figura 8. Prueba de perturbación de sensor de detección de llamas por luz fluorescente.



Figura 9. Prueba de detección de intensidad de llamas para establecer rango de lectura de sensor de detección de llamas.



Figura 10. Prueba de detección de humo para establecer rango de lectura de sensor de detección de llamas.



Figura 11. Comprobación de precisión del sensor de temperatura en comparación al termo higrómetro.

En la Tabla 1 se puede apreciar los resultados obtenidos, donde se establecen los rangos de lectura de cada sensor empleado en cada nodo.

Tabla 1. Prueba 1, rango de lectura de sensores.

Sensores	Gas/Humo [ppm]	Temperatura [°C]	IR-Llamas [nm]
Rango de detección	[100 - 999]	[0 - 80]	[999 - 100]
Precisión	Alta	[0.1]	Alta

5.2. Prueba 2: Comprobar funcionamiento del sistema

Las pruebas de funcionamiento del sistema consisten en test de todas las funcionalidades del mismo en distintas situaciones que este pueda enfrentar y registrar el comportamiento del mismo.

Esta prueba consta de cuatro etapas, condición normal de funcionamiento, inicio completo del sistema y luego pierde conexión con servidor, inicio sin conexión con el servidor luego obtiene conexión e inicia el sistema, pero no puede establecer conexión con el servidor.

En la Figura 12 se ilustra el correcto funcionamiento del sistema en funcionamiento automático activando los actuadores.



Figura 12. Prueba 2, funcionamiento del sistema.

En la Tabla 2 se aprecia el resultado de cada etapa de la prueba 2 donde se comprueba el correcto funcionamiento del sistema y tiempos de respuesta de detección de evento.

Tabla 2. Prueba 2, funcionamiento del sistema.

	Parámetros configuración	Detección de eventos	Tiempo promedio de Respuesta
Condición normal de funcionamiento	Definido por usuario	✓	6 segundos
Perdida de conexión servidor	Utiliza ultima configuración recibida del servidor	✓	6 segundos
Inicio sin conexión posterior conexión al servidor	Por defecto, posterior recibe configuración del servidor	✓	4 segundos / 6 segundos
No puede obtener conexión al servidor	Configuración por defecto en modo automático	✓	4 segundos

5.3. Prueba 3: Notificaciones de eventos

En esta prueba Verificar el correcto funcionamiento del servicio de notificaciones vía correo electrónico y mensaje de texto del sistema en caso de ocurrencia de un evento.

En las Figura 13 se puede apreciar el cuerpo de la notificación vía correo electrónico y mensaje de texto.

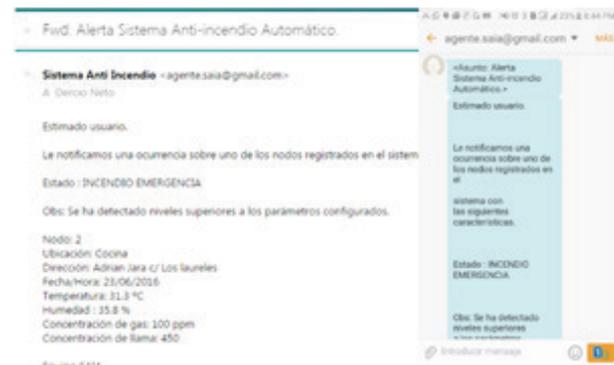


Figura 13. Prueba 3, notificación de evento vía correo electrónico y vía SMS.

5.4. Prueba 4: Consumo de energía del nodo

En esta prueba medir el consumo total del nodo y sus actuadores para verificar si el cable Ethernet será capaz de transmitir la corriente necesaria.

En la tabla 3 se aprecia el resultado de las pruebas de consumo de energía por separado de la placa Arduino, placa de relés, sirena y válvula solenoide.

Tabla 3. Prueba 4, consumo de energía.

Elementos del Nodo	Corriente	Tensión
Arduino + Relé	0.355 A	5 V
Electroválvula	0.36 A	9 V
Sirena	0.465 A	9 V
Consumo total	1,180 A	9 V

6. Discusión de resultados

6.1. Prueba 1: Comprobar funcionamiento de sensores

Sensor de detección de llamas: es afectado levemente por perturbaciones de luz fluorescente, incandescente y luz solar. Por ello se define el rango de funcionamiento entre 999 – 100 [nm] (nano metro). La escala se describe de mayor a menor por cuestiones de su estructura pudiendo afirmar que en el valor 999 existe la presencia mínima de llama y en el valor 100 existe la presencia máxima de llama que detecta este sensor. Esta variación puede ser utilizada para configurar su sensibilidad de detección.

Sensor de detección de gases/humo: mediante las pruebas realizadas se puede constatar que su detección es independiente de la distancia que se genera la perturbación, sino que la concentración de la misma en el aire, esto lleva a establecer un rango de funcionamiento entre 100 - 999 [ppm] (partículas por millón). Se puede afirmar que en el valor 100 existe la presencia mínima de gas/humo y en el valor 999 existe la presencia máxima de gas/humo que detecta este sensor. Esta variación permite configurar la sensibilidad de detección tomando en cuenta el tamaño del ambiente, una vez que en dependencias mayores necesitara mayor cantidad de gas/humo para elevar la concentración en el aire y el sensor pueda detectar.

Sensor temperatura/humedad: las pruebas de este sensor se respaldaron con la comparación de mediciones, de esta manera se puede afirmar que el sensor tiene una precisión aceptable que no superó los 3,08% en comparación al termo higrometro. Su rango de funcionamiento es de 0 – 80 [°C].

6.2. Prueba 2: Comprobar funcionamiento del sistema

Según los resultados de la tabla 2 se pueden apreciar que la respuesta del sistema fue satisfactoria con tiempos de respuestas mínimos, en todos los casos fue detectado los eventos. El tiempo de respuesta del peor caso no superó los 15 segundos estado el nodo configurado en modo manual con 5 intentos de conexión con el servidor antes de entrar en modo automático. Demostrando con éstos ensayos el correcto funcionamiento con mediciones y actuaciones confiables y estables en todos los escenarios posibles de funcionamiento.

6.3. Prueba 3: Notificaciones de eventos

Esta prueba tuvo el propósito de comprobar el correcto envío de notificaciones con informaciones detalladas y precisas sobre la ocurrencia del evento como también verificar la recepción de la misma en el uso de correo electrónico y mensajes de texto. El envío de las notificaciones fue correcto en cuanto al contenido, medio y tiempo como se puede apreciar en la figura 13.

6.4. Prueba 4: Consumo energético del nodo

Esta prueba tuvo como propósito medir el consumo total del nodo y sus actuadores para verificar si el cable UTP sería capaz de transmitir la corriente necesaria. Como se

puede apreciar en la tabla 3 el consumo total del nodo es de 1,180 [A] en comparación a la transmisión máxima del cable UTP CAT-5 24awg que es de 3,5[A], demostrando su capacidad de suministro de energía seguro al nodo mediante el uso de la tecnología PoE.

7. Conclusiones

Para éste proyecto fueron utilizados componentes de bajo costo que cumplieron el propósito.

Para la gestión del hardware y el software fue desarrollado una aplicación web, estructurado en tres módulos: consultas, control y configuración. Esto a fin de facilitar a la gestión y control de privilegios de usuarios.

El sistema diseñado es viable, pudiendo ser implementado en residencias, edificios u otras localidades. Su funcionamiento correcto queda demostrado en la sección de experimentos, donde los resultados de las pruebas realizadas fueron satisfactorios.

Líneas de futuros trabajos posibles

- Desarrollar aplicación móvil para control y notificaciones instantáneas.
- Aplicar conceptos de inteligencia artificial para la detección más precisa de un evento.
- Diseño más compacto del prototipo.
- Realizar este proyecto en otras plataformas como SBC, u otras placas microcontroladas.

Referencias bibliográficas

- [1] E. Pareja, «Diseño de un sistema de detección de incendios Universidad Internacional,» [En línea]. Available: <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/>. [Último acceso: Abril 2016].
- [2] J. K. a. C. A. Erazo P., «Universidad de Cuenca.,» [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21330> [Último acceso: Abril 2016].
- [3] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available <http://arduino.cc/>. [Último acceso: abril 2016].
- [4] J. Ruiz, « Arduino Ethernet Shield. UNICARLOS.,» [En línea]. Available: http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20Ethernet%20. [Último acceso: abril 2016].
- [5] L. Aguirre, « Estudio de una red de sensores sin hilos basadas en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicaciones ZigBee,» [En línea]. Available: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9511/1/memoria.pdf>. [Último acceso: abril 2016].
- [6] CISCO, «Power over Ethernet Solutions.,» [En línea]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/power-over-ethernet-solutions/index.html>. [Último acceso: mayo 2016].

[7] G. developers, «Gmail API Overview,» [En línea]. Available: <http://developers.google.com/gmail/api/guides/overview>. [Último acceso: mayo 2016].

[8] «Mosaic Documentation Web. Ribbon Cable Current Rating,» [En línea]. Available: <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/>. [Último acceso: mayo 2016].