

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA DETECCIÓN DE INCENDIOS

Pareja Neto, Dercio; Mallorquin, Marcos

Tutores: Ayala Diaz, Katia Andrea; Arrúa Ginés, Jorge Luis

netopareja@gmail.com; marco.mallorquin@gmail.com;

Facultad Politécnica

Universidad Nacional del Este

RESUMEN

El propósito del trabajo consiste en el desarrollo de un sistema de monitoreo y control de incendio. Este sistema le brinda al usuario una aplicación *online* amigable y fácil de usar con funcionalidades que brindan a los usuarios una configuración total 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 nodos que están compuestos por un conjunto de sensores de gas/humo, temperatura/humedad y detección de fuego los cuáles leen el comportamiento del ambiente y ante un incidente utilizan actuadores para su control; una sirena para alertar sobre el evento y una válvula solenoide de control de flujo de agua de manera automática si lo fuere necesario. Además el sistema consta de un servicio de notificaciones de eventos a través de mensajes de texto y correo electrónico. El sistema puede ser escalable añadiendo nuevos nodos a la necesidad del usuario, de manera que cada nodo sea autónomo e independiente del otro en cuestiones de configuración y servicios de notificación. El trabajo se desarrolló en tres etapas: diseño, implementación y comprobación de funcionamiento. Al finalizar todas las etapas, se observó el logro de los objetivos propuestos, por lo tanto se concluye que la implementación del prototipo de sistema de monitoreo y control de incendio fue satisfactoria.

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

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 pérdidas 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 y 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 juzgan imprescindibles, 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 paper y se describe brevemente el contenido de las secciones siguientes. En la sección 2 se especifican 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 a ser 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 se exhibe la discusión de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas. Finalmente, en la sección 7 se mencionan las conclusiones del trabajo, recomendaciones y las líneas de futuros trabajos posibles.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

-Diseñar un prototipo de sistema de monitoreo y control de incendio.

2.2. Objetivos Específicos

-Determinar los factores a tener en cuenta para el desarrollo del sistema.

-Integrar los componentes del sistema.

-Desarrollar aplicación del sistema web.

3. Materiales y Métodos

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*(Arduino).

Arduino ofrece algunas ventajas sobre otros sistemas(Ruiz):

- Barato.
- Multiplataforma.
- Entorno de programación simple y claro.
- Código abierto y software extensible.
- Código abierto y hardware 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(Aguirre).

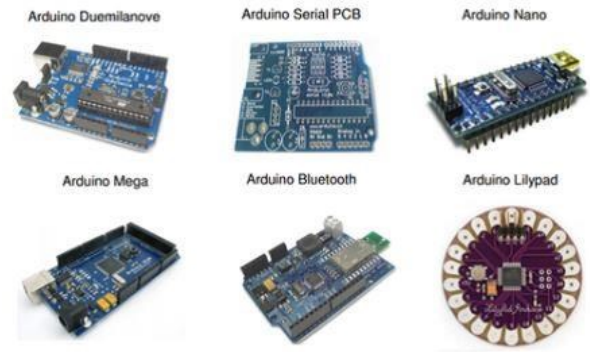


Figura 1. Gama Arduino.

3.2. Power over Ethernet

Alimentación a través de Ethernet Powerover Ethernet(CISCO) (PoE) permite la conmutación LAN infraestructura para suministrar energía a un punto final (“dispositivo alimentado”) a través de un cable Ethernet de cobre. Esta capacidad, una vez que se conoce como “alimentación en línea”, fue originalmente desarrollado por Cisco en 2000 para apoyar las implementaciones de telefonía IP emergentes.Mientras que los teléfonos IP y puntos de acceso inalámbricos son los usos más intuitivos para Powerover Ethernet, PoE 802.3af estandarización de proporciona energía a una nueva generación de dispositivos de red adjunta, incluyendo:

- Cámaras de vídeo.
- Los dispositivos de puntos de ventas.
- El control de acceso de seguridad.
- Automatización industrial.

Tabla 1.Conexión de pinos cable Ethernet.

Pinos RJ45	LAN	PoE
1	Rx +	Rx +
2	Rx -	Rx -
3	Tx +	Tx +
4	No Utiliza	DC +
5	No Utiliza	DC +
6	Tx -	Tx-
7	No Utiliza	GND
8	No Utiliza	GND

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 . Desde el lenguaje moderno de su elección, su aplicación puede utilizar la API para añadir funciones de Gmail, como:

- Leer los mensajes de Gmail.
- Enviar mensajes de correo electrónico.
- Modificar las etiquetas aplicadas a los mensajes e hilos.
- Buscar mensajes e hilos específicos.

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(developers).

4. Descripción del sistema propuesto

El sistema se constituye por dos partes principales: el hardware y software. A continuación se describirá más detalladamente las partes del sistema y sus funciones.

4.1. Software del sistema

El software está compuesto por un servidor y una aplicación para la gestión del sistema. El servidor es el encargado de gestionar las configuraciones para cada nodo instalado, es decir que es el equipo que provee los parámetros de funcionamiento para cada nodo (por ejemplo, temperatura máxima, concentración de gases, etc.), también se encarga de recibir los datos generados por los nodos, almacena en una base de datos para el historial de eventos. Además de almacenar, éste analiza todos estos datos para constatar la existencia de un evento y actuar si lo fuere necesario. Cuando utilizamos el concepto actuar esto significa, en primer lugar el envío de alerta desde mensajes de texto y correo electrónico, al responsable del nodo, informando el evento constatado; en segundo lugar envío a órdenes al hardware de

activación de los actuadores para el control del evento. Otra funcionalidad del servidor es monitorear la conexión constante con cada nodo, para determinar cuáles nodo están o no activos. La aplicación contiene funcionalidades que corroboran para la gestión del sistema, en ella se encuentran secciones particulares donde se puede realizar el registro de usuarios, configuración de cada nodo, consultas de historiales, monitoreo instantáneo de cada nodo activo, control de actuadores y servicio de notificaciones de eventos.



Figura 2. Interfaz principal del sistema.

4.2. Hardware (nodo)

El hardware está compuesto por una placa 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 con un software interno 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 o sofocar un incendio, estas órdenes pueden ser dadas automáticamente por el sistema una vez que detecte la presencia de un evento o manualmente desde la orden del usuario. Se utilizaron dos actuadores:

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

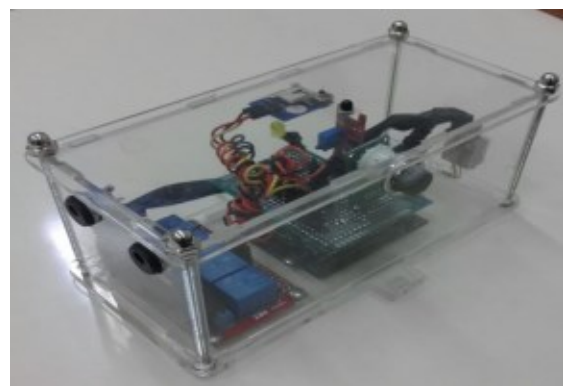


Figura 3. Prototipo de nodo de monitoreo y control.

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) es decir, según la configuración que lleve el nodo necesitará una combinación distinta de sensores para determinar este estado. 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, cada vez que existe un evento actúa con el fin de controlar el mismo. 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.

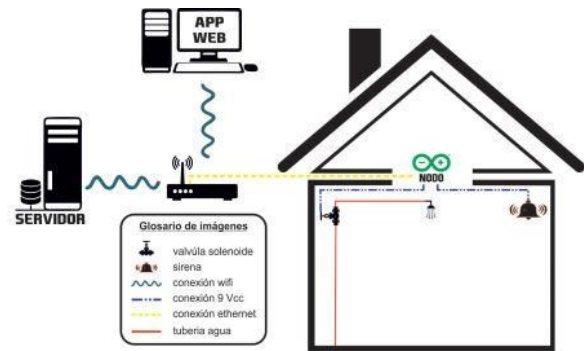


Figura 4. Esquema de funcionamiento del sistema de monitoreo y control de incendio.

4.4. Servicio de notificaciones

El sistema de monitoreo y control tiene como funcionalidad principal el servicio de notificaciones a través de correo electrónico y mensaje de texto donde informa al usuario la ocurrencia de un evento en uno de los nodos registrados. El propósito de éste alerta es avisar el momento en el cual se inició el evento de manera tal que el usuario pueda tomar las medidas que sean convenientes.

Cada usuario posee un conjunto de nodos registrados los cuales pueden ser configurados de manera independiente de

forma que cada nodo tenga una dirección de correo y un número telefónico para las notificaciones, o bien configurar todos los nodos con un mismo destinatario.

Para el desarrollo de este servicio se utilizó la API Gmail que brinda un conjunto de bibliotecas que hacen posible enviar mails desde un servidor web utilizando a Gmail como intermediario y gestor de mensajes.

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 termohigrómetro.

En la Tabla 2 se puede apreciar los resultados obtenidos, donde se establecen los rangos de lectura de cada sensor empleado en cada nodo.

Tabla 2. 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 consiste en tests de todas las funcionalidades del mismo en distintas situaciones que este pueda enfrentar y registrar el comportamiento del mismo.

Está 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 3 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 3. 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 Figuras 13 y 14 se puede apreciar la el cuerpo de la notificación vía correo electrónico y mensaje de texto.

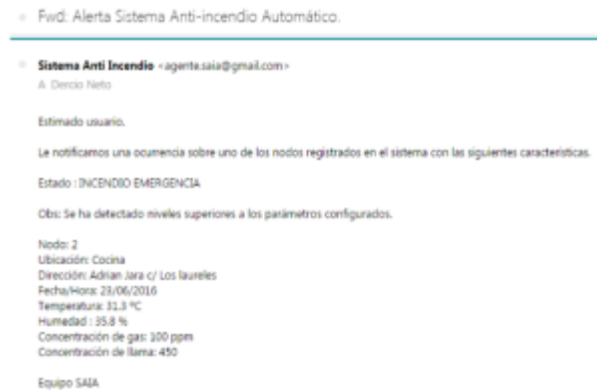


Figura 13. Prueba 3, notificación de evento vía correo electrónico.



Figura 14. Prueba 3, notificación de evento vía mensaje de texto.

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 4 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 5. 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 metros). 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 termihigrometro. Su rango de funcionamiento es de 0– 80 [°C].

6.2. Prueba 2: Comprobar funcionamiento del sistema.

Se realizaron pruebas con el propósito de verificar el correcto funcionamiento del sistema independientemente del escenario que pueda encarar. Según los resultados de la tabla 3 se pueden apreciar que la respuesta del sistema fueron satisfactorias con tiempos de respuestas aceptables, en todos los casos detecto el evento. El tiempo de respuesta en peor de los casos 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. Se puede afirmar que el sistema es confiable y estable en todos los escenarios posibles de funcionamiento siendo viable su uso.

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 fueron correctas en cuanto al contenido, medio y tiempo de entrega como se puede apreciar en las figuras 13 y 14.

6.4. Prueba 4: Consumo de energía 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 5 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], de modo que se puede afirmar que si es posible el uso del método PoE. para la alimentación.

7. Conclusiones

Fue utilizado componentes de bajo costo que cumplan el propósito, debido a esto se optó por una placa Arduino UNO que dispone de características suficientes para este prototipo, sensores de: temperatura/humedad, detector de gases/humo y detector de llamas; módulo de control de relés para la activación de los actuadores.

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

El sistema diseñado es viable y puede 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.

Finalmente, luego del diseño, ensamblaje, implementación del sistema y comprobación de su correcto funcionamiento, se puede afirmar que se ha cumplido los objetivos propuestos al inicio del proyecto y se ha conseguido el desarrollo de un sistema de monitoreo, detección y control de incendio.

7.1. Principales Logros

Tras la ejecución de este trabajo se puede decir que:

- El sistema independientemente de tener o no conexión con el servidor puede detectar y actuar ante un evento, aumentando la confiabilidad de su funcionamiento.
- El sistema está diseñado teniendo en cuenta la escalabilidad, es decir que el mismo está preparado para gestionar N nodos simultáneamente en el mismo servidor.
- Cada nodo puede ser configurado por el usuario, desde los parámetros de actuación de los sensores, en modo automático, servicios de notificaciones de evento, e inclusive el control manual del sistema.
- Debido al escenario de pruebas realizadas podemos decir que el sistema tiene respuestas rápidas y contundentes, reaccionando en tiempo esperado y con la

acción correspondiente a su configuración previamente definida por el usuario.

- La utilización de tecnología PoE facilita la instalación de cada nodo en el ambiente dado, donde solo es necesario una conexión de cable de red (cable UTP) posibilitando la conexión con el servidor, y a su vez alimentado por el mismo medio físico.

7.2. Recomendaciones

- Para el sistema de sofocamiento de incendio se recomienda el empleo de una válvula solenoide compatible con la presión del sistema hidráulico instalado en el recinto.
- En caso de utilizar servidores locales proveer suministro de energía alternativa, de la misma manera a las conexiones de red.
- Ubicación del nodo en el centro del ambiente e instalado en el techo para mejores detección de eventos, pudiéndose analizar mejores ubicaciones dependiendo del recinto a ser instalado.

7.3. 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

Aguirre, L. (s.f.). *Estudio de una red de sensores sin hilos basadas en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicaciones ZigBee*. Recuperado el abril de 2016, de

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9511/1/memoria.pdf>

Arduino. (s.f.). *Arduino*. Recuperado el abril de 2016, de <http://arduino.cc/>

CISCO. (s.f.). *Power over Ethernet Solutions*. Recuperado el mayo de 2016, de

<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/power-over-ethernet-solutions/index.html>

developers, G. (s.f.). *Gmail API Overview*. Recuperado el mayo de 2016, de

<https://developers.google.com/gmail/api/guides/overview>

Erazo P., J. K. (s.f.). *Universidad de Cuenca*.

Recuperado el Abril de 2016, de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/>

123456789/21330

Mosaic Documentation Web. Ribbon Cable Current Rating.(s.f.). Recuperado el mayo de 2016, de <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/>

Pareja, E. (s.f.). *Diseño de un sistema de detección de incendios Universidad Internacional*. Recuperado el Abril de 2016, de <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/>

Ruiz, J. (s.f.). *Arduino Ethernet Shield UNICARLOS*. Recuperado el abril de 2016, de [http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20Ethernet%](http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20Ethernet%20)