

Diseño e implementación de un Sistema domótico controlado y monitorizado de forma remota utilizando el estándar de tecnología inalámbrica ZigBee y la plataforma iDigi Device Cloud

Gabriela A. Alvaro

*Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE
Sangolquí, Ecuador*

gaby_alva89@hotmail.com

Resumen—El presente documento describe el diseño y la implementación del prototipo de un sistema domótico, controlado y monitorizado de forma remota utilizando el estándar de tecnología inalámbrica ZigBee y la plataforma de nube como servicio, para este propósito se forma una red de sensores inalámbricos con cuatro nodos Xbee. Además se desarrolla una aplicación web cliente en Google App Engine que maneja de forma remota, los dispositivos conectados a la red.

Palabras clave—Domótica, WSN, ZigBee, Digi, Google App Engine

En la actualidad el número de viviendas domotizadas está creciendo progresivamente. A esto se suma el gran desarrollo de dispositivos y tecnologías inalámbricas para aplicaciones de automatización industrial que facilitan en algunos aspectos la implementación de dispositivos con mandos remotos, ya sea para monitoreo o control.

El proyecto consiste en realizar el diseño y la implementación de un sistema domótico con dispositivos capaces de tomar medidas de sensores y llevar a cabo la activación de actuadores de forma inalámbrica, además de evaluar el desempeño de la plataforma Digi.

I. INTRODUCCIÓN

La instalación de un sistema domótico proporciona un sinnúmero de beneficios y ventajas que una vivienda tradicional no puede ofrecer, fundamentalmente en lo que respecta a seguridad, confort, comodidad y ahorro energético, elementos que se combinan para ofrecer aumento en la calidad de vida de los usuarios.

II. MARCO TEÓRICO

A. Domótica

La Domótica se refiere a la integración de la tecnología en el hogar para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, automatizando procesos domésticos que pueden ser desde un simple temporizador para encender y apagar una luz o aparato a una hora determinada, hasta los más complejos sistemas capaces de interactuar con cualquier elemento eléctrico del hogar.

Un sistema domótico está compuesto por una serie de elementos, que van desde una central de gestión hasta un mando automático a distancia. Dentro de esta variedad de elementos se tiene:

- Sensores
- Actuadores
- Controladores
- Gateway

B. ZigBee

Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo que se basa en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

El estándar ZigBee amplía el estándar IEEE 802.15.4 aportando una capa de red y un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación.

Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales.

ZigBee tiene tres tipos de dispositivos:

- **Coordinador ZigBee (ZC):** es el tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red, entre sus tareas están las de formar y gestionar la red, requiere de memoria y capacidad de computación.
- **Router ZigBee (ZR):** además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.

- **Dispositivo final (ZED):** estos serían los dispositivos de bajo consumo. Los end devices pueden enviar y recibir información pero no pueden actuar como mensajeros entre otros dos dispositivos de la red.

C. Nube de dispositivos

Es una plataforma de nube pública como servicio (PaaS) proporcionada por Digi, que permite la integración de aplicaciones con las redes de los dispositivos en tiempo real. Provee mensajería segura, almacenamiento de datos y gestión de dispositivos.

Permite una comunicación bidireccional entre cualquier dispositivo y la nube para acceder, controlar, configurar y actualizar los dispositivos ilimitadamente a través de Internet utilizando una plataforma segura y escalable.

Ofrece a los clientes la gestión centralizada de los gateways y dispositivos finales conectados facilitando la integración a través de APIs. El usuario puede conectar un dispositivo físico a la nube y usar una aplicación web para el acceso remoto.

III. DESARROLLO

A. Funcionalidad del sistema

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema, en donde se puede apreciar las diferentes áreas y sus respectivos controles.

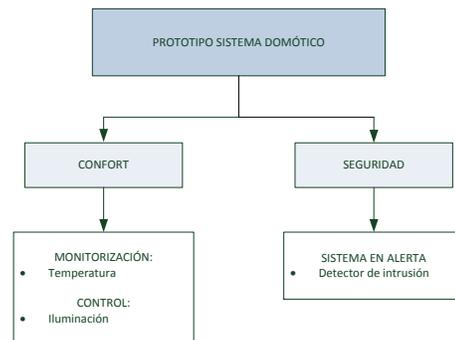


Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo

CONFORT

Control de iluminación

El control del encendido y apagado de las luces se llevó a cabo mediante dos configuraciones: modalidad día y modalidad noche. Para la modalidad día, el encendido y apagado de la luz depende de las señales generadas por el sensor de presencia y luminosidad. En cambio para la modalidad noche, el encendido y apagado de la luz depende directamente de la señal generada por el sensor de presencia.

Además se añadió un control manual y automático de la luz, en el control automático se debe ingresar la hora de encendido de la luz.

Monitorización de temperatura

La monitorización de temperatura se realiza por medio del dispositivo Xbee Wall Router, que tiene integrado un sensor de temperatura. Cuando se conecta el dispositivo se puede obtener la información del ambiente en tiempo real.

SEGURIDAD

Detector de intrusión

Una vez activado el detector de intrusión, el sistema recibe las señales del sensor magnético y de presencia, si se activan las dos señales, el sistema emitirá una alarma y a la vez se enviará un correo electrónico notificando la activación de la alarma. Se debe ingresar la dirección de correo electrónico del destinatario que recibirá la notificación.

B. Arquitectura del sistema

La Figura 2 muestra la arquitectura del sistema, donde el dispositivo coordinador recolecta la información y envía los datos a la nube de dispositivos Etherios. Para recopilar los

datos de los dispositivos conectados y enviarlos a la nube se utiliza el software DIA de Digi ESP™ para Python.

La aplicación web cliente se desarrolló en Google App Engine. La interfaz de usuario permite visualizar los datos de los sensores y controlar los dispositivos finales.

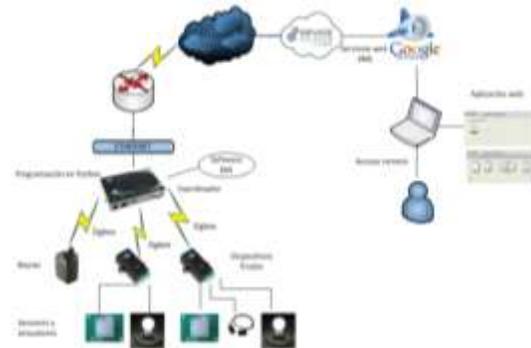


Figura 2. Arquitectura del sistema

C. Diseño de la red

La red está compuesta por cuatro dispositivos, un coordinador (ZC), un router (ZR) y dos dispositivos finales (ZED). El router se encarga de la medición de los valores de temperatura y luminosidad del ambiente, y los dispositivos finales permiten recoger las señales de los sensores de presencia y sensor magnético y activar los actuadores.

La red está estructurada con topología tipo estrella como se muestra en la Figura 3, el dispositivo coordinador es el centro de la red, y el router y los dispositivos finales se comunican directamente con él.

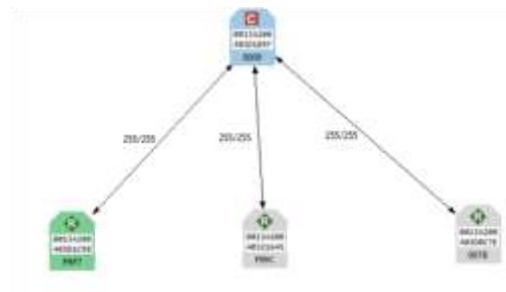


Figura 3. Red tipo estrella

Selección de componentes

- Dispositivo coordinador: ConnectPort X4 Gateway.
- Dispositivo router: Xbee Wall Router, que incluye sensores de temperatura y luminosidad.
- Dispositivos finales: 2 adaptadores Xbee DIO, en el primer adaptador se utilizan dos entradas digitales, una para el sensor de presencia y otra para el detector magnético, y una salida digital para la activación del actuador. En el otro adaptador se utiliza una entrada digital para el sensor de presencia y una salida para la activación del actuador. Para la activación de los actuadores se debe realizar un circuito de acondicionamiento con las salidas digitales del adaptador Xbee DIO.

D. Configuración de los dispositivos de la red

Para configurar el ConnectPort X4 Gateway se utiliza un cable Ethernet para conectarlo al módem que provee internet. La configuración de los dispositivos finales y del nodo coordinador se realiza mediante la interfaz web, el router no necesita configuración.

El nodo coordinador y los dispositivos finales se configuran con el mismo identificador de red y canal de operación, además se debe configurar los parámetros DH y DL direccionándolos al nodo coordinador. Una vez terminada la configuración de todos los dispositivos, se puede visualizar los nodos asociados a la red en la Figura 4.



The screenshot shows the 'Xbee Network' interface. At the top, it displays 'Gateway Device Details' with fields for PAN ID, Channel, and Gateway Address. Below this is a table titled 'Network View of the Xbee Devices' with columns for Node ID, Network Address, Extended Address, Node Type, and Product Type. The table lists four nodes: a Digital IO Adapter, a Digital IO Adapter, a Wall Router, and a Coordinator (X4 Gateway).

Node ID	Network Address	Extended Address	Node Type	Product Type
4790	00:13:a2:00:40:30:2e:00		router	Digital IO Adapter
7940	00:13:a2:00:40:30:2e:00		router	Digital IO Adapter
2070	00:13:a2:00:40:30:2e:7e		router	Wall Router
0000	00:13:a2:00:40:30:2e:00		coordinator	X4 Gateway

Figura 4. Nodos asociados a la red

E. Software de gestión remota

El software utilizado es Digi ESP™ para Python. Para realizar la conexión de los dispositivos al Gateway se crea un proyecto DIA. La aplicación DIA permite la adquisición remota de los datos de los dispositivos conectados al Gateway, además contiene los controladores de los adaptadores Xbee DIO, del Xbee Wall Router y de los canales de las variables del sistema.

La nube de dispositivos Etherios permite acceder y descargar los datos de los dispositivos asociados a la red, estos datos se almacenan en ficheros xml. Para observar los datos almacenados es necesario realizar una petición sci de servicios web. Si es enviada una solicitud, este responderá con las lecturas actuales de los datos de los dispositivos como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Fichero almacén de datos

F. Interfaz de usuario

Se ha desarrollado una aplicación web cliente en Google App Engine con lenguaje de programación Python. GAE es una plataforma que permite diseñar, desplegar y alojar las aplicaciones sobre la infraestructura de Google.

La aplicación web muestra el funcionamiento de la red ZigBee, tiene una interfaz gráfica amigable con el usuario, en la cual se tiene el control y monitorización de los dispositivos de la red. Consta básicamente de 5 partes que son:

- Ingreso de contraseña

- Página principal
- Pestaña de Monitoreo
- Pestaña de Control
- Página de Error

Ingreso de contraseña

Es la primera página que se despliega al tener acceso mediante un navegador web. Solicita al administrador del sistema el nombre de usuario y la contraseña. Esta página proporciona la seguridad necesaria al usuario para el acceso al prototipo del sistema domótico.

Página Principal

Al iniciar la sesión se carga la página principal, tiene una barra de menú que contiene tres pestañas: Inicio, Monitoreo y Control.

La pestaña Inicio muestra una rápida presentación del proyecto.

Pestaña de Monitoreo

La pestaña Monitoreo contiene dos secciones como se muestra en la Figura 6, la primera corresponde al monitoreo del nivel de luminosidad y del valor de la temperatura del ambiente en grados centígrados. La segunda sección permite seleccionar la modalidad para el control de iluminación. Además se puede activar o desactivar el detector de intrusión e ingresar el correo electrónico del destinatario que recibirá el correo de notificación cuando se active la alarma.



Figura 6. Interfaz pestaña Monitoreo

Pestaña de Control

La pestaña Control contiene dos secciones, la primera corresponde al control de iluminación y la segunda al detector de intrusión como se muestra en la Figura 7.

En la sección de Iluminación se visualiza el modo de configuración, el nivel de luminosidad y si el foco permanece prendido o apagado dependiendo del modo seleccionado. Además permite el control manual o automático de la luz.

Al seleccionar el control manual aparece dos botones ON, OFF, que se utilizan para encender o apagar el foco. Si se selecciona el control automático se debe ingresar la hora de encendido del foco y hacer clic en el botón Activar/Desactivar.



Figura 7. Interfaz pestaña Control

En la sección de Intrusión se visualiza si el detector de intrusión de encuentra activado o desactivado, además se muestra el estado de la señal de los sensores.

Página de Error

En esta ventana se visualiza los distintos errores por los cuales no se despliega la aplicación. Estos errores pueden ser:

- Falla de descarga de la aplicación DIA, comprobar que el Gateway está encendido.
- Verificar que la dirección del Gateway es correcta.
- Comprobar que el archivo DIA está funcionando y configurado con la presentación RCI.

G. Implementación del prototipo

Una vez seleccionados los equipos y elementos a ser utilizados en la red ZigBee, se procede a implementar el prototipo del sistema domótico a través de un módulo.

Se construyeron 2 circuitos impresos que serán conectados a los dispositivos finales, cada placa tiene entradas para los sensores, y el circuito de acoplamiento de los actuadores.

En la Figura 8 se muestra la placa con las conexiones para el sensor de presencia y el adaptador Xbee DIO que permite el control de iluminación mediante las configuraciones de modalidad.



Figura 8. Placa del control de iluminación

En la Figura 9 se muestra la placa con las conexiones para el sensor de presencia, magnético y el adaptador Xbee DIO que permite el control manual y automático de la luz y la activación del detector de intrusión.

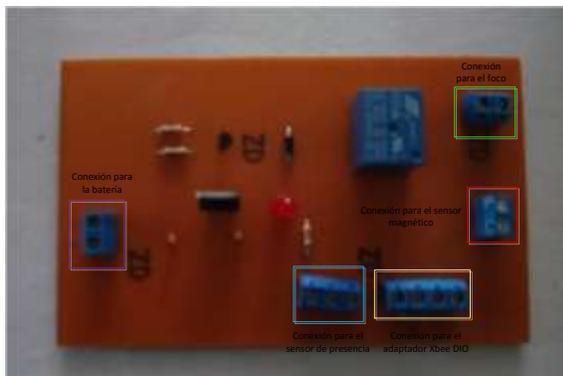


Figura 9. Placa del detector de intrusión

El módulo está hecho de acrílico blanco. En la Figura 10 se muestra el módulo terminado, la parte frontal esta de tal forma que se pueda desmontar en caso de ser necesario para revisión o reemplazo de dispositivos.



Figura 10. Módulo del prototipo terminado

IV. RESULTADOS

A. Medición de cobertura y sensibilidad de los nodos

Se realizaron pruebas de recepción de paquetes y nivel de potencia recibida a través del parámetro RSSI y LQI.

Digi proporciona el software X-CTU que permite medir el nivel de recepción entre el módulo coordinador y un nodo final como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Medición del parámetro RSSI en la ventana Radio Range Test

Se observó el comportamiento de la red a diferentes distancias de conexión para determinar si el diseño y la comunicación ZigBee son válidos dentro de las distancias requeridas en un hogar domótico, en las pruebas se obtuvo que a una distancia máxima de 17m sigue funcionando correctamente y no se obtiene pérdidas de paquetes.

También se obtiene el indicador de calidad de enlace LQI, mostrado en la Figura 12.

MAC	Network Address	Link quality	Connections
00123456789A	192.168.1.1	255	0
00123456789B	192.168.1.2	200	0
00123456789C	192.168.1.3	150	0
00123456789D	192.168.1.4	100	0

Figura 12. Medición del parámetro LQI

El valor del parámetro LQI se encuentra en el rango de 0 a 255, donde 255 representa una calidad de enlace óptima.

B. Tiempo de respuesta de la red

Otro parámetro considerado al momento de evaluar una red inalámbrica de sensores es el tiempo de respuesta. Se realizó la medición del tiempo de respuesta del encendido y apagado de la luz desde una red local y una red externa como se muestra en la Tabla 1.

	Encendido[seg]	Apagado[seg]
Red local	0.59	0.58
Red externa	3.5	3.9

Tabla 1. Promedio del tiempo de respuesta

C. Consumo de energía

El objetivo de esta prueba es determinar el consumo de potencia en los nodos, para lo cual se realizó la medición en los modos de

operación: sleep y transmisión, los resultados se pueden observar en la Tabla 2.

	Modo de operación	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Nodo1	Modo sleep	8.60	25.3	0.21
	Modo transmisión	8.38	33.7	0.28
Nodo2	Modo sleep	8.49	28.5	0.25
	Modo transmisión	8.18	34.9	0.29
Consumo Total	P. máxima de consumo			0.57W
	P. mínima de consumo			0.46W

Tabla 2. Resultados del consumo de corriente en los nodos

La eficiencia en la potencia consumida por los nodos se expresa en la Ecuación 1.

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ en\ modo\ sleep}{Potencia\ en\ modo\ transmisión}$$

Ecuación 1.

El ahorro de energía es:

$$Eficiencia = \frac{0.46W}{0.57W}$$

$$Eficiencia = 80\%$$

$$Ahorro = 20\%$$

El ahorro de energía es del 20%, el cual representa un valor importante en un sistema inalámbrico.

D. Prueba general del prototipo

Para verificar el correcto funcionamiento del prototipo del sistema domótico se procedió a comprobar la funcionalidad de los servicios domóticos ofrecidos.

- Control de iluminación

Primero se seleccionó el modo de configuración Día en la página web y se verificó

que mientras existe un nivel de luminosidad adecuado la luz permanece apagada así detecte presencia y cuando el nivel de luminosidad es menor a 30 la luz se enciende cuando detecta presencia. De la misma manera se seleccionó el modo de configuración Noche y se verificó que el encendido y apagado de la luz depende únicamente de la señal recibida por el sensor de presencia.

Para el control manual se seleccionó la opción Manual y se verificó el encendido y apagado de la luz a través de los botones ON y OFF. Después se seleccionó la opción Automático y se ingresó la hora 20:55 como se muestra en la Figura 13, se seleccionó el botón Activar/Desactivar y se verificó que la luz se encendió a la hora programada.



Figura 13. Prueba del control Automático de iluminación

- Monitorización de temperatura

Para este caso, en la barra de menú se seleccionó la pestaña Monitoreo y se visualizó el valor de la temperatura del ambiente en grados centígrados como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Visualización de valores de temperatura y luminosidad

- Detector de intrusión

Para este caso, primero se seleccionó el botón Activar y se ingresó la dirección de correo electrónico que recibirá la notificación cuando se active la alarma.

Se verificó que al activarse los sensores de presencia y magnético se activó la ventana de alarma en la página web y se recibió el correo de notificación como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Activación de los sensores y ventana de alarma

De manera general, todo el sistema respondió apropiadamente y con gran aproximación a lo que se planificó.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el uso de la tecnología inalámbrica Zigbee es apropiada para la implementación del prototipo del sistema domótico con las aplicaciones especificadas en este proyecto como control de iluminación, monitorización de temperatura y detector de intrusión, debido a que estas requieren bajas tasas de transmisión de datos.
- Se logró identificar los motivos por los cuales los dispositivos Xbee son utilizados en aplicaciones domóticas, estos son flexibilidad, fácil implementación,

interoperabilidad entre fabricantes y bajo consumo de potencia permitiendo un ahorro significativo de energía mientras permanecen en modo sleep, que los convierten en dispositivos eficaces para este tipo de aplicaciones.

- Se confirmó la factibilidad de la implementación de una red inalámbrica de sensores y actuadores para su aplicación en un sistema domótico, ya que su característica inalámbrica evita una instalación que dañe la estética de la vivienda.
- Se verificó que el ConnectPort X4 Gateway ofrece la robustez necesaria para el prototipo del sistema, ya que este operará continuamente permitiendo tener un control completo sobre los dispositivos conectados a la red.
- El desarrollo del software de gestión remota en Digi ESP permitió conectar todos los dispositivos al coordinador de la red y recolectar los datos de los canales de los dispositivos finales para almacenarlos en la nube de dispositivos Etherios.
- Se constató la gran ventaja que proporciona la nube de dispositivos Etherios en el almacenamiento de datos y gestión de dispositivos, ya que no se requiere de una infraestructura propia. Además los servicios web que ofrece permitió la creación de una aplicación web cliente para que el usuario pueda tener acceso a los datos y control de dispositivos de forma remota y en tiempo real. Esta funcionalidad requirió la implementación de una clave de acceso con el fin de brindar seguridad a los usuarios.
- El uso de la plataforma Google App Engine fue de gran ayuda, ya que facilitó el desarrollo, el despliegue y el alojamiento de la aplicación web. La aplicación web tiene su propio dominio por lo que el usuario puede ingresar sin ningún problema a la aplicación desde un dispositivo que esté conectado a internet.

REFERENCIAS

[1] H. Domínguez, F. Sáez, «Domótica: Un enfoque sociotécnico,» 2006. [En línea]. Available: http://www.gsi.dit.upm.es/~fsaez/intl/libro_domotica.pdf

[2] J. Higuera, E. Kartsakli, J. Valenzuela, «On the feasibility of Bluetooth, ZigBee and IEEE802.15.4 technologies on board high speed trains,» [En línea]. Available: http://www.academia.edu/1160690/On_the_feasibility_of_Bluetooth_ZigBee_and_IEEE_802.15.4_technologies_on_board_high_speed_trains.

[3] J. Longares, « Introducción a Zigbee y las redes de sensores inalámbricas,» [En línea]. Available: <http://www.javierlongares.com/arte-en-8-bits/introduccion-a-zigbee-y-las-redes-de-sensores-inalambricas/>

[4] G. Asencio, J. Maestre, J. Escaño, « Interoperabilidad en Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*. (págs. 397-404). 2011

[5] P. Mell, T. Grance, « The NIST Definition of Cloud Computing,» 2011.

[6] Digi, « About us,» [En línea]. Available: <http://www.digi.com/aboutus/>

[7] Google Developers, « Google App Engine,» [En línea]. Available: <https://developers.google.com/appengine/docs/what-is-googleappengine>