

# Monitoreo y Regulación de Luminarias en Edificios vía Ethernet

**Rubén Herrera Galicia, Marco Antonio Zúñiga Reyes**

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km 1080, (961)6151687

*h\_galicia24@hotmail.com*

**Cesar Heberto López Herrera, Carlos Raymundo López Ramírez**

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km 1080, 961 192 6913

*cesar\_44\_222@hotmail.com*

## Resumen

El trabajo aquí descrito está enfocado a establecer las bases para diseñar sistemas que permitan monitorear y regular vía Ethernet a un sistema automatizado de la iluminación de un edificio. También está enfocado a establecer las bases para tener la posibilidad de monitorear y regular al sistema automatizado desde un dispositivo móvil. Además se enfoca en la tarea de desarrollar software bajo una arquitectura que defina una plataforma para aplicaciones tolerantes a fallos y en la tarea de iniciar el desarrollo de una pila de aplicaciones para edificios.

**Palabras Claves:** BACnet, Arduino, Raspberry.

## 1. Introducción

### Antecedentes

Hay un alto potencial para las aplicaciones enfocadas a mejorar la operatividad y la sustentabilidad de los edificios. Las aplicaciones clásicas son sobre modelado o detección de fallas. Los trabajos innovadores son sobre control o manejo de la red de

energía y existe un creciente interés por aplicaciones que integren sensores y actuadores de la infraestructura de un edificio con las técnicas de redes.

Los edificios son el lugar donde las personas están cerca del 90% del tiempo y consumen aproximadamente 70% de la electricidad. Estas cifras hacen de los edificios una oportunidad para la tecnología de mejorar la sustentabilidad. Sin embargo el sector de los edificios es lento para las innovaciones y se caracteriza por pocos cambios.

Los edificios comerciales modernos contienen una infraestructura de sistemas para asegurar salud, seguridad y confort. Esto incluye calefacción, ventilación, y aire acondicionado. También se incluyen servicios de iluminación, seguridad contra intrusos y seguridad contra incendios.

Es común que estos sistemas estén conectados en red y sean manejados a través de interfaces de operación. Pero frecuentemente provienen de diferentes proveedores y tienen poca maniobra entre ellos o poca extensión más allá de la visión del diseño original.

Un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado para un edificio grande tiene ductos de presión a lo largo del edificio y cientos de sensores para medir: temperatura de aire, temperatura de agua, flujos de aire, y humedad. Un sistema así, HVAC moderno, contiene controladores lógicos programables PLC a lo largo del edificio para recolectar datos de los sensores y correr la lógica programada en ellos.

La lógica programada en los PLC es escrita para cada edificio en particular. Todos los sistemas de programación de PLC carecen de; sentido de abstracción de alto nivel, fácil comunicación con los datos de fuentes externas al edificio, y un ambiente que permita actualizaciones rápidas. Las aplicaciones de los edificios están programadas con código poco flexible y en lenguaje de bajo nivel que requieren la visita de un ingeniero, incluso para cambios menores.

La mayoría de los vendedores de HVAC sigue un estereotipo de diseño con sensores, actuadores, controladores, lenguajes de programación y software de manejo que hacen de la actualización y la operatividad entre sistemas de distintos vendedores un reto

mayor. Varios estándares han sido definidos para canalizar estos problemas. BACnet es el más adoptado de ellos.

BACnet define un protocolo de comunicaciones con controladores que traducen protocolos internos. BACnet define especificaciones para las capas; física, de enlace de datos, de red, y de aplicación. Pero no define una especificación de los nombres de los puntos o de las cantidades medidas. BACnet tampoco define una forma para reprogramar a los controladores del edificio.

A pesar de los cambios pensados para los edificios, de incorporar tecnologías que mejoren el confort y la eficiencia energética, es poco lo que se hace para mejorar a los edificios ya existentes. Los sistemas de control de los edificios son anticuados y son una copia de viejas tecnologías comunicándose con una amplia variedad de protocolos. Además sus sistemas de control no son portables.

En suma la arquitectura digital de la tecnología usada en los edificios tiene ante ella varios retos; fácil programación, portabilidad de las aplicaciones, extensibilidad para soportar nuevas aplicaciones y nuevo hardware, y muestreo de datos en línea.

Los esfuerzos para mejorar la tecnología aplicada a edificios se enfocan en tres aspectos. *Primero.*- Definir la arquitectura de acceso a los datos físicos e introducir una interfaz unificada del flujo de los datos generados. *Segundo.*- Implementar un Sistema Operativo de Servicios para Edificios, Building Operating System Services BOSS, que defina una plataforma para construir aplicaciones tolerantes a fallos sobre la infraestructura física del edificio.

*Tercero.*- Desarrollar una “Pila de Aplicaciones para Edificios”, Building Application Stack BAS. La idea de la pila es proporcionar una base de programación para aplicaciones portables entre edificios. La pila BAS debe hacer posible el paradigma de desarrolladores de aplicaciones para edificios: “Escribirse una vez, Correr donde quiera”.

## **Estado del arte**

Jay Taneja *et al* [1] de la División de Ciencias Computacionales de la Universidad de California en Berkeley California, muestran que la arquitectura basada en BOSS/BAS permite mejorar el proceso de desarrollo de aplicaciones para edificios abstrayendo del hardware, los sensores, y del código de programación.

Un aspecto importante de la Pila de Aplicaciones para Edificios BAS es el uso de secuencias lingüísticas, con una función de relación, que permiten expresar las intenciones, a alto nivel, tal que sean inherentemente portables: “apagar, las luces, cerca de las ventanas, en los cubículos del piso superior”. Además permite explorar los componentes específicos de un edificio permitiendo a las aplicaciones de manera explícita manejar las diferencias entre edificios.

En BAS los desarrolladores de aplicaciones alternan entre vistas del edificio a nivel macro y a nivel micro: “luces en el piso superior” vs “relé de luces 1023”. Así BAS permite expresar intenciones generales o acciones específicas. Esto libera a los desarrolladores de considerar las particularidades del diseño de cada edificio permitiendo enfocar el desarrollo hacia la interacción entre espacios físicos y sus ocupantes en lugar de enfocarlo hacia los detalles del equipo.

*Building Operating System Services* BOSS [1] es una arquitectura para controlar dispositivos físicos y sistemas de un edificio que origina desarrollo de una aplicación portable. Múltiples aplicaciones para edificios han sido desarrolladas antes del surgimiento de la arquitectura basada en BOSS. En [1] se presenta una tabla que agrupa diversas aplicaciones encontradas en la literatura.

*Contador de energía.*- Proporciona información del uso de la energía, *Detección de la ocupación para control HVAC.*- Acondiciona el medio interior basado en la ocupación, *Detección de ocupación.*- Detecta la ocupación para control de la iluminación, *Control personalizado.*- Acondiciona el ambiente interior basado en la realimentación del usuario. *Consumo de recursos.*- Proporciona visualización del uso de electricidad y agua [1].

*Pronóstico/Modelado.*- Modela el desempeño del edificio, *Manejo del agua.*- Monitorea/Controla el uso de agua, *Detección de fallas y diagnóstico.*- Identifica fallas en el desempeño del edificio, *Sistema HVAC del edificio.*- Modela y maneja el sistema HVAC

del edificio, *Localización*.- Identifica la ubicación de los ocupantes, *Demanda/Red eléctrica*.- Modula el consumo de potencia basado en datos de electricidad [1].

Las aplicaciones mencionadas usan dos tipos de datos para desempeñar su función. Los datos provenientes de sensores que miden directamente los parámetros físicos de interés. Y los datos provenientes de hardware extra incorporado a la infraestructura del edificio. El hardware extra se usa para medición indirecta de los parámetros de interés o para recolección de datos de internet.

Jinsung *et al* [2] presentan un sistema de control de la iluminación de una casa que considera varios algoritmos de control; control autónomo basado en el movimiento del usuario, control autónomo basado en la claridad del cuarto, optimización autónoma de las variables de estado y de control del sistema, control colectivo usando tecnología inalámbrica, control y puesta a punto del sistema vía controlador inalámbrico y aplicación desde dispositivo móvil.

El sistema reduce el consumo de energía vía interacción con la información acerca del estado del usuario y la claridad del cuarto. El principio básico de operación se rige por el valor de las variables de estado y de control. Cuando no se detecta presencia de usuario, el sistema disminuye el nivel de luz hasta un mínimo. Cuando se detecta presencia de usuario, el sistema aumenta el nivel de luz hasta un máximo. Los cambios son graduales para evitar incomodidad del usuario.

Las variables de estado y de control del sistema son:  $L_{min}$  nivel mínimo de intensidad luminosa,  $L_{max}$  nivel máximo de intensidad luminosa,  $T_r$  tiempo de crecimiento de la intensidad luminosa después de detección de movimiento,  $T_m$  tiempo de no detección de movimiento hasta que inicia el decremento de la intensidad luminosa,  $T_f$  tiempo de caída de la intensidad luminosa.

## **Protocolos para automatización de casas y edificios**

BACnet, KONEXbus, LonWorks, DALI, onOCEAN, y M-Bus. La presencia de la automatización y los sistemas de control en casas y edificios ha incrementado continuamente. Estos sistemas hacen la vida más confortable y pueden cambiar drásticamente la calidad de vida. También son capaces de automatizar la administración de la energía, la seguridad, y la comunicación entre dispositivos haciendo posible el uso eficiente de la energía y contribuyendo al desarrollo sustentable de la sociedad.

La automatización de edificios se basa en el desarrollo de protocolos de comunicación entre dispositivos. El modelo OSI sigue siendo la referencia para establecer el lugar de los protocolos naces. El medio de comunicación es variado. Algunos se caracterizan por usar comunicación inalámbrica, EnOcean, M-Bus [4-7]. Sin embargo un importante desarrollo están viviendo los protocolos basados en comunicación Ethernet vía pagina Web. El esquema que se usa en él es el de envío de paquetes.

Los servicios Web son independientes de la plataforma y pueden ser implementados usando cualquier lenguaje y correr en cualquier plataforma hardware o sistema operativo. Esto maximiza la interoperabilidad y mejora la reutilización de los servicios. Una herramienta básica para los servicios Web es HTTP.

Una desventaja de los servicios Web es la sobrecarga introducida por el uso de mensajes codificados XML, especialmente si pequeñas cantidades de datos son transmitidas con frecuencia. También, recibir eventos del servidor requiere una encuesta periódica por parte del cliente o implementar un servidor Web que se haga una encuesta periódica a sí mismo.

A nivel capa física, donde la respuesta rápida es crucial, la encuesta periódica es una considerable desventaja. Sin embargo esto carece de importancia a nivel capa de administración. Solo los comandos GET, PUT y POST están disponibles para acceder a los recursos de las páginas Web.

Los protocolos se clasifican en tres grupos [4]; que dependen de su orientación. Protocolos a nivel físico.- son aquellos orientados a la capa física y la capa de enlace. Protocolos a nivel automatización.- son los que tienen comunicación pero se quedan en

el control autónomo con pocas tareas de monitoreo. Protocolos a nivel administración.- están enfocados a aspectos de elaboración de bases de datos, y procesamiento de los mismos con fines de presentar un análisis del comportamiento.

KNX y LonMark son más orientados hacia el nivel físico y el nivel de automatización; como los sensores, actuadores, los algoritmos de control avanzado, y SCADA. Los protocolos de propósito simple como DALI están catalogados como del nivel físico. BACnet es lo contrario, está catalogado como del nivel de administración.

El nivel de administración es donde reside la mayoría de las funciones de las interfaces del operador. Funciones que incluyen comunicación con controladores, monitoreo, activación de alarmas, tendencias del consumo energético y análisis de estadísticos [3], funciones de manejo centralizado de la energía, comunicación con, o coordinación de, sistemas de alarmas de seguridad y control. La mayoría de los dispositivos a este nivel son estaciones de trabajo.

Desde el inicio de su desarrollo el protocolo BACnet fue diseñado solo para el propósito de la automatización de un edificio. Su nombre significa protocolo de comunicación de datos para automatización de edificios y redes de control. El protocolo es diferente a los demás en un aspecto, se enfoca al nivel de administración y al nivel de automatización.

BACnet es un ejemplo de un sistema orientado a objetos completamente no propietario. Esto significa que no necesita chips de comunicación especiales. Y en la capa física se puede emplear con cualquier protocolo de enlace de datos; RS232, RS485, Wi-Fi, ZigBee.

El protocolo M-Bus con comunicación inalámbrica [7] se diferencia en que el maestro no inicia la comunicación. El maestro es un simple concentrador de mediciones y los medidores inician periódicamente la comunicación y envían las mediciones. La razón de esto es la necesidad de ahorro energético. El dispositivo está en modo sleep. Después de cierto periodo un temporizador despierta al dispositivo y este envía la medición al maestro.

## **Consumo de energía eléctrica en edificios comerciales e industriales**

Entender los detalles del consumo energético es una base para tomar decisiones efectivas; administración de costos de la energía, diseño de topologías de red eficientes energéticamente e inversión en nuevo hardware. No obstante medir el consumo energético en una empresa tiene la dificultad de que el equipo es heterogéneo y se encuentra disperso

El ahorro de energía ha adquirido atención por los problemas ambientales del calentamiento global. Como parte de los esfuerzos de ahorro de energía, los gobiernos a nivel mundial operan políticas que involucran la implementación de sistemas de ahorro de energía. También usuarios individuales de manera voluntaria instalan sistemas de ahorro de energía para reducir el consumo de potencia eléctrica.

Como respuesta a problemas de la sustentabilidad el hogar está siendo involucrado en políticas de los gobiernos con la idea de casas con cero consumos de energía. Una casa con cero consumos de energía es una casa capaz de alimentarse de energía por si misma a través de la generación de energía sustentable y a través de la reducción del consumo de energía [9].

Después del hogar el siguiente escalón en el consumo de energía eléctrica está representado por los edificios y luego por las industrias. Las señales de voltaje y de corriente son las más analizadas en los sistemas eléctricos. A partir del voltaje y la corriente es posible obtener información relevante para resolver problemas industriales tales como el monitoreo de la calidad de la potencia PQ, monitoreo y diagnóstico de máquinas eléctricas [10], y el accionamiento de sistemas eléctricos de protección y control.

La necesidad de comunicar dispositivos remotos es una tarea común en los sistemas de control. La popularidad y la disponibilidad de internet y las redes intranet hacen posible el diseño de sistemas de control distribuido. Pero es necesario establecer qué tipo de tareas son ejecutables con sistemas de control basados en redes de computadoras.

Joseph Chabarek y Paul Barford de la Universidad de Wisconsin Madison [8] presentaron un programa llamado EnergyAudit EA diseñado para administradores de red. EA es una herramienta que reporta el consumo de energía en redes de mediana y alta escala. El programa maneja una base de datos con más de 75 medidores de potencia de ruteadores y de switch, con 25 de uso común. EA fue probado con una red de 6000 dispositivos.

Jinsung Byun *et al* [9] de la Universidad Chung-Ang de Seul, Corea, propusieron un sistema inteligente de ahorro de energía que reduce el consumo total de potencia eléctrica hasta en 10.5%. El sistema consiste en cortar el modo standby y recuperarlo basado en el comportamiento de los residentes. El sistema se compone de tres tipos de elementos; dispositivos de ahorro de energía DAE, agentes de ahorro de energía AAE, y servidores de ahorro de energía SAE.

Un DAE [9] tiene la función de cortar el standby basado en un valor límite y restaurarlo según el comportamiento de los residentes. Un AAE recibe la información de los DAE y la envía al SAE. Un AAE maneja a los DAE que están bajo su supervisión y envía comandos directamente a los DAE. Un SAE registra y remueve dispositivos DAE, reconoce un DAE e infiere el comportamiento de los residentes basado en un modelo oculto de Markov. Un SAE requiere para su implementación de un microprocesador.

A pesar de los prototipos reportados en la literatura [8-10] el equipo comercial disponible estima pocos parámetros eléctricos. Además tiene funciones para satisfacer necesidades específicas y es imposible cambiar la tasa de muestreo y el número de datos del muestreo. Las opciones de cambio son deseables para satisfacer distintas aplicaciones; hogar, edificios, industria.

## **Justificación**

El proyecto que aquí se presenta es importante desde el punto de vista económico porque con él se logra ahorro energético. También es importante desde el punto de vista ambiental, porque ahorro energético significa menor calentamiento global. Además el proyecto es importante, porque monitorear a un edificio con una red inteligente es un tema de actualidad que tiene un alto potencial de desarrollo tecnológico.

## **Objetivo**

Desarrollar un sistema flexible que permita incorporar objetos básicos para instalar dispositivos y sistemas eléctricos que permitan de manera amigable efectuar tareas de detección de presencia, monitoreo y control distribuido aplicado a iluminación de edificios. La forma de implementar el proyecto es diseñar y construir una red Ethernet usando Raspberry y Arduino como clientes y servidores para monitorear, regular y controlar al sistema automatizado de iluminación de un edificio.

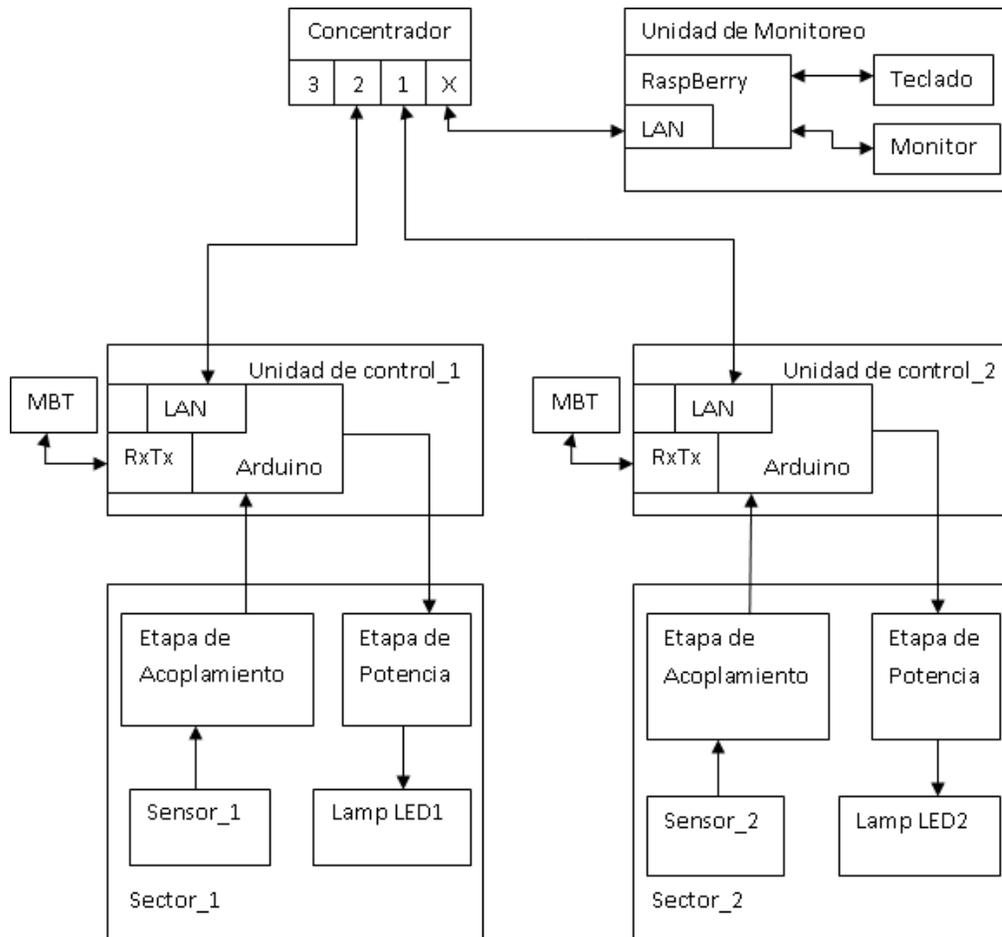
También se desea monitorear y regular al sistema automatizado desde un dispositivo móvil y que el software sea desarrollado bajo una arquitectura BOSS/BAS [1]. Los objetivos específicos del software son; desarrollar las aplicaciones de monitoreo y regulación en Glade-Python y ApplInventor-Android, desarrollar las aplicaciones de control, diseñar e implementar un algoritmo que haga posible el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica consumida por las lámparas LED con dimerización. Los motivos que originan al proyecto son; la estética, los aspectos prácticos, la eficiencia energética y el ahorro energético.

## **2. Desarrollo**

La idea es un desarrollo con bloques básicos que sea expansible. El prototipo elemental está compuesto por los elementos observados en la Fig. 1. En el diagrama se presentan únicamente dos sectores como representación del sistema, no excluyendo que puedan existir más sectores. El hardware está compuesto por 6 bloques donde cada uno cumple con una función importante.

La comunicación del sistema se realiza mediante Ethernet. Los dispositivos modem Bluetooth sirven para comunicarse directamente con las unidades de control. El sistema cuenta con una unidad de control por cada sector de lámparas, en el diagrama mostrado son dos. La unidad de control consta de un dispositivo con una plataforma de hardware

libre, basada en una placa con un micro controlador. A través del puerto RxTx del micro controlador se conecta un modem Bluetooth para la comunicación entre esta unidad y la unidad de monitoreo con dispositivo móvil.



**Fig. 1. Diagrama a bloques del hardware; MBT modem Bluetooth.**

Las luminarias están divididas por sectores, cada sector corresponde a un determinado número de lámparas LED conectadas en paralelo. Cada sector cuenta con una etapa de acoplamiento para conectar un sensor de presencia a la unidad de control. También

cuenta con una etapa de potencia para manejar a la carga, representada por el sector de lámparas.

También el sistema cuenta con una unidad de monitoreo basada en un ordenador de placa reducida. Este dispositivo cumple la función de una computadora pero a menor tamaño. Conectando a este dispositivo un monitor se observa el comportamiento de las variables del sistema. Además conectando un teclado a la placa del ordenador se tiene la opción de modificar el punto de ajuste de los parámetros del sistema.

### **3. Resultados**

Se han desarrollado aplicaciones para configuración de nivel de intensidad luminosa desde un dispositivo móvil vía Bluetooth. En la Fig. 2 se presentan dos ventanas de una aplicación para monitoreo y regulación de luz en un hospital. En la Fig. 3 se presenta la ventana de una aplicación para regulación de luz en una habitación ó un pasillo con una barra deslizable. También se han desarrollado interfaces gráficas para monitoreo y regulación desde una Laptop vía Ethernet y pagina Web, ver Fig. 4.

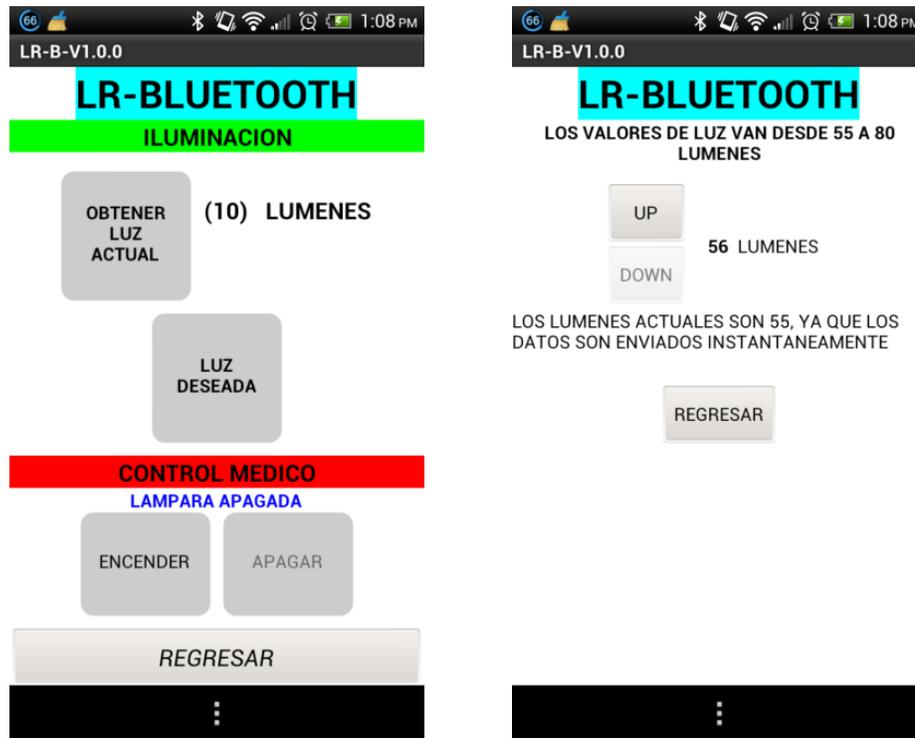
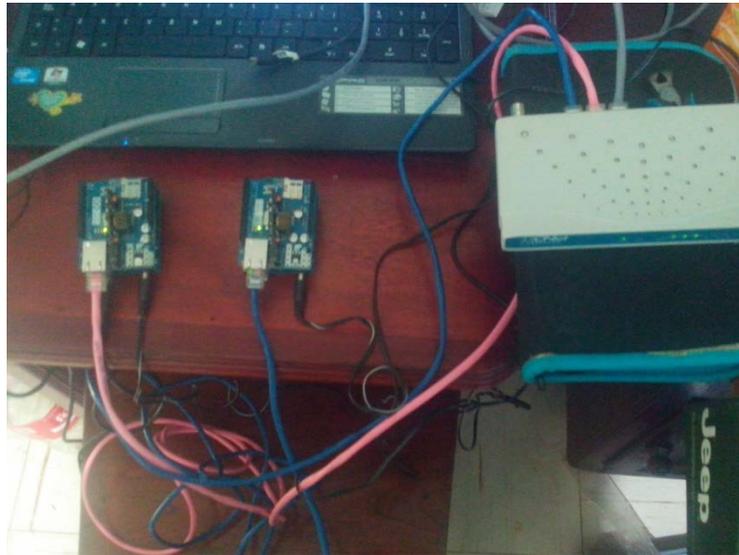


Fig. 2. Pantallas de configuración de luz para dispositivo móvil.



Fig. 3. Pantalla de configuración de luz con barra deslizable.



**Fig. 4. Regulación vía Ethernet y pagina web.**

También se han desarrollado aplicaciones para las unidades de control. El programa desarrollado para el micro controlador de una unidad de control se encarga de permitir la configuración de los valores máximo  $V_{max}$  y mínimo  $V_{min}$  de la intensidad luminosa. Esta regulación se lleva a cabo desde un dispositivo móvil vía Bluetooth. Después de recibir los valores de configuración, el micro controlador se encarga de dirigir el nivel de potencia entregado a las luminarias basado en la presencia de los usuarios. Los detalles de dicho programa se presentan aquí.

*Declaración de variables a usar.*- Se declara una cadena de datos, y varias variables enteras. En el pin digital 3 se conecta el sistema de manipulación de la carga entregada a las luminarias. En el pin digital 7 se conecta el sensor de presencia. El pin digital 8 se usa para indicar la potencia a entregar a la carga. Después de la declaración de variables se configura la velocidad de transmisión, los pines de entrada y los pines de salida.

```
String dato; int valor=0, A=0, Vmax=0, Vmin=0, b=0, LAMPARA =3, SENSOR =7, SEÑALIZADOR =8;
void setup()          //Bloque de configuración
{
```

```
Serial.begin(9600);  
pinMode (3, OUTPUT);  
pinMode (7, INPUT);  
pinMode (8,OUTPUT);  
}
```

El bloque principal incluye la programación para la regulación de las variables de intensidad luminosa Vmax y Vmin. La regulación se hace a través de comunicación serie vía modem Bluetooth, conectado al puerto serie del micro controlador. La recepción se hace carácter por carácter y los caracteres se incorporan uno a uno en la cadena dato. Después de recibir los caracteres, la cadena es convertida a entero y ese valor se carga en Vmax ó Vmin. Concluida la recepción, se manda a llamar a la función ESCANE0 y con ello se transfiere la acción a la parte de control.

```
void loop()           // Bloque principal  
{  
  while (Serial.available())  
  {  
    delay (10);       // Esperar 10 milisegundos.  
    if (Serial.available()>0) // Si puerto serial disponible, contiene datos mayores a cero.  
    {  
      char a = Serial.read(); // Variable char a igual a lectura del puerto serial.  
      dato += a;             // Integrar a cadena dato el valor a.  
    }  
  }  
  if (dato.length() >0) // Si la longitud de la cadena dato es mayor a cero.  
  {  
    int x= dato.toInt(); // Convertir la cadena a entero y asignar el valor a la variable x.  
    if (A==0)           // Si la variable A es igual a cero.  
    {  
      b=x*2.5;         // La variable b será igual al valor de x multiplicado por 2.5.  
      if (x>0)         // Si la variable x es mayor que cero.
```

```
{
Vmax=b;           // La variable Vmax será igual al valor de b.
Serial.println (Vmax); // imprimir en puerto serie el valor de Vmax.
Serial.println("hola"); // imprimir en puerto serie "hola"
A=1;
b=0;
x=0;
}
}
dato="";           // Limpiar el valor de dato.
if (A==1)
{
b=x*2.5;          // La variable b será igual al valor de x multiplicado por 2.5.
if (x>0)
{
Vmin=b;          // La variable Vmin es igual a b.
Serial.println (Vmin); // Imprimir en puerto serie el valor Vmin.
Serial.println ("lola"); //Imprimir en puerto serie "lola".
ESCANEO();       // Llamar a la función ESCANEO.
A=0;
x=0;
b=0;
}
}
dato="";           // Limpiar el valor de dato.
}
}
```

La función ESCANEO se usa para identificar la presencia de usuarios. En el pin 7 se conecta el sensor de presencia. Si se detecta presencia de usuarios, se llama a la función

ENCENDER. En ausencia de usuarios, la función ESCANEO introduce al sistema en un estado de espera a usuarios.

```
void ESCANEO()
{
  if (digitalRead (7)==HIGH)    // Si la lectura del pin digital 7 es igual a alto.
  {
    digitalWrite(8,HIGH);      // Escribir en el pin digital 8 el valor alto
    ENCENDER();                // Llamar a la función ENCENDER.
  }
  if (digitalRead (7)==LOW)    // Si la lectura del pin digital 7 es igual a bajo.
  {
    digitalWrite(8,LOW);      // Escribir en el pin digital 8 el valor bajo.
    ESCANEO ();              // Llamar a la función ESCANEO.
  }
}
```

La función ENCENDER se usa para incrementar paulatinamente la intensidad luminosa hasta alcanzar  $V_{max}$ . En el pin analógico 3 se señala el nivel de potencia a entregar a la carga. Todo el tiempo que el pin digital 7 se encuentre en alto, la potencia a entregar a la carga será  $V_{max}$ . Durante un nivel alto en el pin digital 7, la función ENCENDER introduce al sistema en un estado de espera a ausencia de usuarios. Si se detecta ausencia de usuarios, se llama a la función APAGAR.

```
void ENCENDER ()
{
  for (valor=0;valor<=Vmax;valor+=5) // Variable valor desde cero a 255.
  {
    analogWrite(3,valor);           // Escribir en el pin analógico 3 el valor.
    delay(70);                      // Esperar 70 milisegundos.
  }
  delay(5000);                      // Esperar 5000 milisegundos.
```

```
while (digitalRead(7)==HIGH)    // Mientras la lectura del pin digital 7 sea alto.
{
  delay(3000);                 // Esperar 3000 milisegundos.
}
if (digitalRead(7)==LOW)      // Si la lectura del pin digital 7 es bajo.
{
  APAGAR ();                  // Llamar a la función APAGAR.
}
ESCANE0 ();                   // Llamar a la función ESCANE0.
}
```

La función APAGAR se usa para disminuir paulatinamente la intensidad luminosa hasta alcanzar Vmin. En el pin analógico 3 se señala el nivel de potencia a entregar a la carga. Una vez alcanzado el nivel Vmin, desde la función APAGAR, se llama a la función ESCANE0 para entrar en un ciclo de espera a presencia de usuarios.

```
void APAGAR ()
{
  for (valor=Vmax;valor>=Vmin;valor-=5)    // La variable valor desde Vmax hasta Vmin.
  {
    analogWrite(3,valor);                  // Escribir valor analógico en pin 3.
    delay(70); // esperar 70 milisegundos
  }
  ESCANE0 ();                             // llamar a la función ESCANE0.
}
```

Se realizaron pruebas de comunicación vía Bluetooth a distintas distancias, ver Tabla 1. A una distancia de 10 metros con dos paredes de por medio se tiene enlace. A una distancia de veinte metros con una pared de por medio se tiene enlace. Sin paredes de por medio a una distancia de treinta metros también se tiene enlace.

Distancia [m]	No. Paredes	Enlace
10	1	Si
10	2	Si
20	0	Si
20	1	Si
25	0	Si
30	0	Si
15	3	No

**Tabla. 1 Pruebas de enlace de Bluetooth.**

#### **4. Discusión**

Se presentaron interfaces gráficas de aplicaciones para dispositivos móviles desarrolladas con la finalidad de monitorear y fijar los niveles  $V_{max}$  y  $V_{min}$  de iluminación de un edificio. Se presentó un ejemplo de un programa de control para la comunicación desde un micro controlador con un dispositivo móvil vía Bluetooth. En el programa se establece la comunicación con la finalidad de fijar los puntos de trabajo  $V_{min}$  y  $V_{max}$  que sirven para definir los niveles de iluminación máximo y mínimo. Estos puntos  $V_{min}$  y  $V_{max}$  pueden ser cambiadas por los usuarios. En ausencia de personas se ilumina a  $V_{min}$ . En presencia de personas se ilumina a  $V_{max}$ . El proceso de iluminación y su activación se ejecutan de manera automatizada y los cambios de  $V_{min}$  a  $V_{max}$  y viceversa son graduales.

También, se han desarrollado programas para monitoreo vía Ethernet con técnicas de intercambio de datos tipo comunicación página Web, y se está trabajando con el desarrollo de aplicaciones de monitoreo con Python corriendo en placas de desarrollo Raspberry. Pero falta afinar detalles y estos programas serán presentados en trabajos futuros. Además, se presentó una tabla de comunicación dispositivo móvil-unidad de control a distintas distancias, con obstáculos y sin obstáculos, para ver la efectividad de la comunicación.

## **5. Conclusiones**

Existen casos de iluminación inadecuada; se ilumina con más intensidad o con menos intensidad de la debida. Esto se debe a que se carece de un sistema que al mismo tiempo que ahorra energía, ofrezca confort, ofreciendo un nivel de intensidad luminosa que sea adaptable a los usuarios. En un edificio existen espacios que se encuentran permanentemente iluminados y es posible atenuar la iluminación en ausencia de personas, sin que esto afecte a la operación del edificio logrando así un uso eficiente de la energía eléctrica.

El uso de la energía es una preocupación mundial en términos de sostenibilidad y costo. Se recomienda a las lámparas LED por ser consideradas más eficientes comparadas con otro tipo de lámparas. Existen casos de edificaciones donde gran parte de los gastos de operación corresponde al pago por consumo de energía eléctrica. Una solución que permite el ahorro de energía es la implementación de un control de iluminación en red con dimerización.

El sistema presentado en este trabajo consiste en una red de unidades con capacidad de control, unidades con capacidad de cálculo matemático, unidades con capacidad de medición, unidades con capacidad de comunicación, unidades con capacidad de monitoreo y unidades con capacidad de detectar presencia de usuarios, que intercambian datos de medición y datos de control, a través de un medio, con la finalidad de supervisar y administrar sistemas de iluminación de edificios.

El proyecto está descrito para iluminación, pero se tiene la ventaja de que la red presentada, Fig. 1, es adaptable a la administración para monitorear y fijar, de manera no invasiva, el punto de ajuste de las variables físicas involucradas en el funcionamiento de los sistemas eléctricos de edificios, para lograr: seguridad, confort, eficiencia, y ahorro energético.

## 6. Referencias

- [1] Jay Taneja, Andrew Krioukov, Stephen Dawson-Haggerty, David Culler, "Enabling Advanced Environmental Conditioning with a Building Application Stack", Computer Science Division, University of California, Berkeley, ISBN 978-1-4799-0623-9, IEEE, 2013.
- [2] Jinsung Byun, Insung Hong, Byoungjoo Lee, Sehyun Park, "Intelligent Household LED Lighting System Considering Energy Efficiency and User Satisfaction", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 59, No. 1, pp. 70-76, February 2013.
- [3] Sean Barker, Sandeep Kalra, David Irwin, and Prashant Shenoy, "Empirical Characterization and Modeling of Electrical Loads in Smart Homes", ISSN 978-1-4799-0623-9/13, University of Massachusetts Amherst, © 2013 IEEE.
- [4] Ondřej Nývlt, "Buses, Protocols and Systems for Home and Building Automation", Technical Report, Department of Control Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, 2011.
- [5] Gudmundur Benediktsson, "Lighting control-possibilities in cost and energy-efficient lighting control techniques", Technical Report, Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Faculty of Engineering, Lund University, December 2009.
- [6] [www.enocean.com](http://www.enocean.com)
- [7] [www.m-bus.com](http://www.m-bus.com)
- [8] Joseph Chabarek, Paul Barford, "Energy Audit: Monitoring Power Consumption in Diverse Network Environments", ISBN 978-1-4799-0623-9, IEEE, 2013.
- [9] Jinsung Byun, Sunghoi Park, Byeongkwan Kang, Insung Hong, y Sehyun Park, "Design and Implementation of an Intelligent Energy Saving System based on Standby Power Reduction for a Future Zero-Energy Home Environment", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 59, No. 3, August 2013.

- [10] Pinting Zhang, Jianlan Li, Tao Yang, Shuhong Huang, "Flexible and Smart Online Monitoring and Fault Diagnosis System for Rotating Machinery", International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Enviromental Monitoring, ISBN 978-0-7695-4639-1, IEEE, 2012.

## **7. Autores**

Dr. Rubén Herrera Galicia obtuvo el título de Doctor en Ciencias Técnicas con especialidad en electrónica por la Technical University of Warsaw, Polonia.

M. en C. Marco Antonio Zúñiga Reyes obtuvo el título de Maestría en Ciencias de la Computación, por la Universidad Pablo Guardado Chávez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Cesar Heberto López Herrera. Egresado de la carrera de Ing. Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Carlos Raymundo López Ramírez. Egresado de la carrera de Ing. Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.