

## TRABAJO PRACTICO N°5



MATERIA: Arquitectura y Conectividad

PROFESOR: Ing. Jorge Morales

ALUMNOS:

- Fernando Vexenat: <https://github.com/fvexe82>
- Santillan Maximo <https://github.com/maxii-sc>
- Carolina NIS: <https://github.com/Mayte2008>
- Esteban Carrizo: <https://github.com/estebancarrizo>

### **1) ¿Que es el Protocolo COAP? ¿Para qué se usan?. Ejemplifique**

El protocolo COAP (Constrained Application Protocol) es un protocolo de aplicación diseñado para redes de dispositivos con recursos limitados, como sensores y actuadores en el Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Fue desarrollado para proporcionar una comunicación eficiente y confiable en entornos de baja potencia y baja capacidad de red. COAP se basa en el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) y utiliza el modelo de solicitudes-respuesta similar al HTTP. Sin embargo, COAP está optimizado para redes con restricciones de ancho de banda y energía, y utiliza un encabezado más compacto y un conjunto de métodos más liviano en comparación con HTTP.

Un ejemplo sencillo de cómo se podría utilizar el protocolo COAP en una comunicación entre un

cliente y un servidor:

- Configuración:

- Dirección IP del cliente: 192.168.1.100

- Dirección IP del servidor: 192.168.1.200

- Puerto del servidor COAP: 5683

- Cliente envía una solicitud GET al servidor:

- Dirección de solicitud: coap://192.168.1.200:5683/sensor/temperature

- Tipo de método: GET

- El cliente envía una solicitud GET para obtener la temperatura del sensor al servidor COAP en

la dirección IP 192.168.1.200 y puerto 5683. La ruta de la solicitud es "/sensor/temperature".

- Servidor responde con la temperatura:

- Código de respuesta: 2.05 Content

- Tipo de contenido: application/json

- Cuerpo de la respuesta: {"temperature": 25.5}

- El servidor responde con un código de respuesta 2.05 Content, lo que indica que la solicitud

se procesó correctamente. El tipo de contenido de la respuesta es application/json, y el cuerpo de la respuesta contiene el valor de la temperatura, que es 25.5 grados Celsius.

## **2-Que es un protocolo AMQP. Para que se usa. Ejemplifique**

AMQP: Conoce el Advanced Message Queuing Protocol

El Protocolo avanzado de cola de mensajes (AMQP) es un estándar abierto para pasar mensajes comerciales entre aplicaciones u organizaciones. Conecta sistemas, alimenta los procesos comerciales con la información que necesitan y transmite de manera confiable las instrucciones para lograr sus objetivos.

CASO DE NEGOCIO:

- \*Optar por el ahorro que trae la mercantilización; elimina el bloqueo del proveedor

- \*Conecta aplicaciones en diferentes plataformas

- \*Conecte con socios comerciales utilizando un estándar abierto

CARACTERISTICAS CLAVES:

AMQP fue diseñado como principal objetivo:

-Seguridad

-Fiabilidad

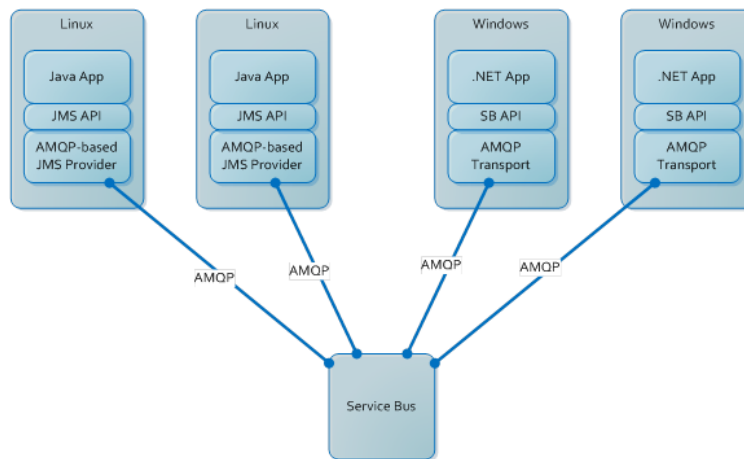
-Interoperabilidad

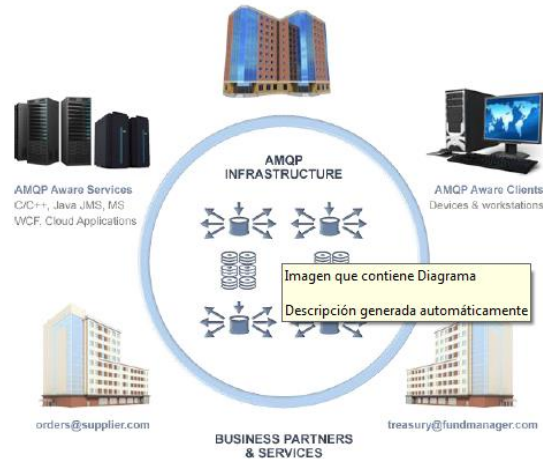
-Estandar

-Abierto

PARA QUE SE USA?

AMQP permite la multiplexación, por lo que se puede usar una sola conexión para muchas rutas de comunicación entre los nodos; por ejemplo, un cliente de aplicación puede recibir al mismo tiempo desde una cola y enviar a otra cola a través de la misma conexión de red.





### 3- Que es un protocolo Zigbee. Para que se usa. Ejemplifique

ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Opera en las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y puede transferir datos hasta 250Kbps.

Este estándar fue desarrollado por la Alianza ZigBee , que tiene a cientos de compañías desde fabricantes de semiconductores y desarrolladores de software a constructores de equipos OEMs e instaladores. Esta organización sin fines de lucro nace en el año 2002. Desarrolla un protocolo que adopta al estándar IEEE 802.15.4 para sus 2 primeras capas , es decir la capa física (PHY) y la subcapa de acceso al medio (MAC) y agrega la capa de red y de aplicación.

La idea de usar una conexión inalámbrica para controlar sensores y adquirir datos tiene muchos años. Existen numerosas soluciones propietarias usadas en domótica pero el gran inconveniente que tienen es la incompatibilidad entre sensores, controles y equipos de

procesamiento de datos que obliga a hacer pasarelas (gateways) para interconectar dispositivos de diferentes marcas

El estándar ZigBee fue diseñado con las siguientes especificaciones:

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de ellos.
- Alcance corto (típico menor a 50 metros).
- Optimizado para ciclo efectivo de transmisión menor a 0.1 %
- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps

Existen muchos estándares que se pueden usar en redes de corto alcance tales como el 802.11 y Bluetooth. Cada uno de estos está desarrollado para una clase de aplicación determinada. ZigBee es el estándar más aceptado hoy para usar en redes de sensores y actuadores que deban operar a batería.

### Clasificación de redes

En la Figura 1 se observa un conjunto de estándares de redes inalámbricas clasificados según los ejes: velocidad de datos y alcance o cobertura

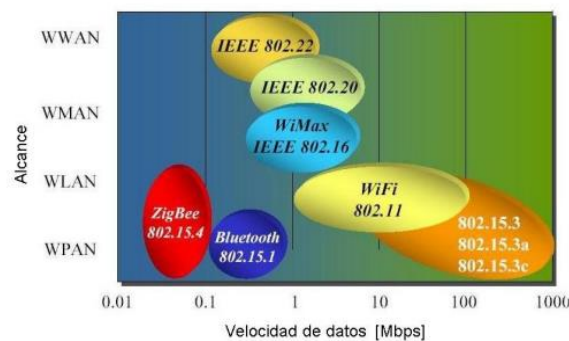


Figura 1: Clasificación de redes inalámbricas

De acuerdo a su cobertura las redes inalámbricas se clasifican en

- WPAN: Redes inalámbricas de área personal
- WLAN: Redes inalámbricas de área local
- WMAN: Redes inalámbricas de área metropolitana
- WWAN: Redes inalámbricas de área geográfica

La finalidad de una interfase que opera bajo IEEE 802.11 es brindar conexión a Internet inalámbrica. Una vez que un dispositivo WLAN se une a la red, se lo trata como a cualquier dispositivo cableado.

Las redes WPAN, no están pensadas para sustituir a un equipo cableado, más bien para proveer una comunicación en el espacio operativo personal (POS: Personal Operating Space) sin necesidad de infraestructura. El POS, es la región esférica de 10 m de radio que rodea al dispositivo. A las redes WPAN se las divide a su vez en redes de alta, media y baja velocidad. IEEE802.15.3 es un ejemplo de red de alta velocidad que puede ser usada por ejemplo para transmitir video desde una cámara a un TV cercano. Bluetooth es un ejemplo de estándar de media velocidad. Puede ser usado para transmisión de música de alta calidad desde un equipo de audio a auriculares inalámbricos. También se emplea para conectar teclados, ratones y otros periféricos a computadoras. ZigBee, con una velocidad de datos máxima de 250 kbps, es considerada una red personal inalámbrica de baja velocidad.

#### Aplicaciones de ZigBee

- Automatización en el hogar

Es una de las aplicaciones más usadas de ZigBee ya que es muy fácil la instalación de dispositivos y la modificación de posición de los mismos. Los usos típicos son:

- Seguridad

Sensores de movimiento, de rotura de cristales, apertura de puertas y ventanas. A pesar de su baja velocidad también se usa para transmitir imágenes de cámara de seguridad de baja calidad.

- Lectura de instrumentos de servicios

Los medidores de consumo de agua, gas y energía eléctrica deben leerse en forma regular a efecto de facturar los servicios. Es posible crear una red tipo malla para que la información de los medidores llegue directamente a la empresa de servicio. También los medidores ZigBee podrían comunicarse con los artefactos dentro de la casa. Por ejemplo ante un pico de consumo eléctrico se podría desconectar algún equipo de alto consumo. ZigBee ayuda a la creación de medidores inteligentes; en algunos países el valor de los servicios se factura en función de la hora en que se produce. En una hora pico se factura la energía a un precio más alto.

- Sistema de riego automático

El uso de un medidor de humedad de suelo permite mejorar la eficiencia del consumo de agua. Se puede distribuir una red de sensores de humedad en un parque de modo que solo se riegue las zonas secas y controlar el tiempo de regado. Una red inalámbrica de sensores facilita enormemente la instalación y el mantenimiento.

- Control de iluminación

Para poder controlar el encendido de una lámpara se necesita un cableado a una llave interruptora en una caja de una pared. ZigBee simplifica la instalación de nuevas lámparas ó controles en lugares donde no está la cañería para pasar un cable. En la Figura 2 se muestra la conexión de lámparas usando ZigBee.



Si bien el costo de la conexión inalámbrica es más elevado que el convencional cableado, brinda otras ventajas además de la facilidad de instalación. Es posible conectar un controlador inteligente que encienda/apague luces de acuerdo a una programación, la detección de presencia de personas ó algún otro criterio.

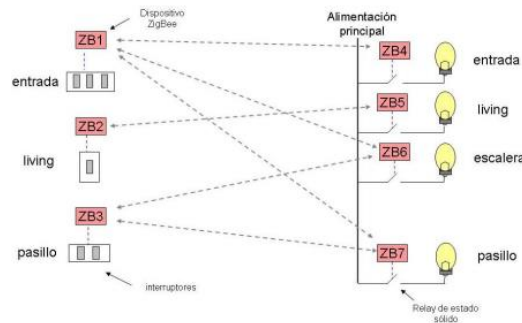


Figura 2: Control de luces en una casa usando ZigBee

- **Control de temperatura multizona** Los termostatos ZigBee se usan para controlar la temperatura de una casa. En los sistemas de aire acondicionado es posible controlar las rejillas deflectoras amortiguadora de aire de modo de tener control de temperatura separado para cada habitación.
- **Controles remotos**  
Tradicionalmente los controles remotos de TV, DVD y equipos de audio usan tecnología óptica infrarroja cuya limitación más importante es que solo funciona a muy poca distancia y sin obstáculos. No puede, por ejemplo, penetrar una pared. Además la comunicación es unidireccional. Como ZigBee usa radiofrecuencia, desaparecen estas limitaciones. Por ejemplo, alguien puede desde otra habitación manejar el equipo de audio y recibir en un display del control remoto, datos de la canción que está escuchando.
- **Automatización industrial**

Para identificar piezas es necesario agregar alguna marca que dé alguna información. Actualmente se usan etiquetas de códigos de barra e identificadores de radiofrecuencia de tipo pasivo (passive RFID: Radio Frequency Identification). Estas, son marcas (tags) formadas por un circuito integrado de memoria que cuando se acercan a un campo electromagnético de determinada frecuencia, se pueden leer y grabar. El inconveniente mayor es que solo trabajan a pocos centímetros del lector. Usando ZigBee es posible construir marcas activas (active RFID) que se lean a mayor distancia y además usarse para brindar información indirecta sobre su localización usando tres o más nodos ZigBee de ubicación conocida

- En hospitales: para el control de pacientes, y medidores y alarma en terapia intensiva. En hoteles: para controlar el acceso a las habitaciones. En monitoreo ambiental: en aplicaciones de redes de sensores como temperatura, humedad, presión, redes de protección de incendio, etc.

#### 4- Que es el protocolo Xbee. Para que se usa. Ejemplifique



Los XBee's son pequeñas radios que pueden comunicarse de forma inalámbrica unas con otras. Pueden hacer cosas simples, como reemplazar un par de cables en una comunicación serial, lo cual es genial cuando deseas crear, por ejemplo, un vehículo radiocontrolado. Estas radios además cuentan con entradas y salidas digitales y analógicas que puedes controlar e incluso puedes conectar sensores y leer sus mediciones en forma remota. Una gran ventaja de estas radios es su bajo consumo además de su posibilidad de realizar conexiones punto a punto, punto a multipunto y mesh.

Existen muchos tipos diferentes de módulos los cuales vamos a revisar, pero una de las ventajas de estos XBee, es que todos, independiente del modelo o serie, tienen los pines en la misma disposición. Alimentación, tierra y los pines de comunicación (TX/RX) se encuentran en el mismo lugar, haciendo que los chip sean totalmente intercambiables, para la mayoría de las aplicaciones.

Existen muchos tipos diferentes de módulos los cuales vamos a revisar, pero una de las ventajas de estos XBee, es que todos, independiente del modelo o serie, tienen los pines en la misma disposición. Alimentación, tierra y los pines de comunicación (TX/RX) se encuentran en el mismo lugar, haciendo que los chip sean totalmente intercambiables, para la mayoría de las aplicaciones.

**Zigbee:** – Es una alianza y un estándar para redes MESH eficientes en el consumo de energía y costos. XBee utiliza el estándar Zigbee, lo modifica y lo pone en un pequeño empaque elegante

**XBee Series 1 (también llamados XBee 802.15.4)** – Son la serie más fácil para trabajar, no necesitan ser configurados, pero incluso así se pueden obtener beneficios. Debido a que son fáciles para trabajar, nosotros los recomendamos, especialmente si estás empezando en esto. Para comunicaciones Punto-a-Punto, estos módulos trabajan tan bien como los de la Serie 2, pero sin todo el trabajo de pre configuración previo.

**ZB (el actual módulo Series 2)** – Básicamente es el módulo Znet 2.5, pero con un nuevo firmware. Esto significa que también funcionan en modo transparente o por medio de

comandos API. También funcionan en redes mesh. Puedes tomar el nuevo firmware y actualizarlo tú mismo. El firmware entre ambos no es compatible (pero es fácilmente intercambiable) por lo que debes elegir cuál firmware deseas usar, y apegarte a éste para crear toda la red.

**2B(el incluso más actual módulo Series 2)** – Son nuevos módulos que poseen mejoras en el hardware respecto de los de la Serie 2, mejorando por ejemplo el uso de la potencia. Funcionan con el Firmware del módulo ZB, pero debido al cambio de hardware, ya no pueden funcionar con el firmware del módulo Znet 2.5. Por lo que ten cuidado si agregas uno de estos módulos a una red ya existente que utilice módulos Znet 2.5. Actualmente algunas de nuestras tarjetas son 2B y otras son ZB.

**XBee Serie 3** – El XBee3 es la última versión de los módulos XBee. Trabaja con una frecuencia de 2.4Ghz y te permitirá crear redes de conexión punto a punto, punto a multipunto, broadcast y mesh todo en uno. Con la nueva Serie 3 de XBee encontrarás un solo modulo para todas tus comunicaciones, ya que permiten configurar el firmware en función a la conectividad que necesites, BLE, Mesh, Zigbee, 802.15.4. Adicionalmente puedes olvidarte de utilizar microcontroladores externos, ya que estos módulos poseen soporte de microphyton y puedes programar tus nodos xbee para que realicen las operaciones necesarias, y procesar toda la información directamente en tu Xbee.

**900MHz** – Técnicamente no es una Serie, pero sí es una familia tal como los otros. Estos módulos pueden funcionar con dos diferentes tipos de firmware, el firmware DigiMesh y el firmware Point-to-Multipoint. Digi (quien fabrica los módulos) actualmente vende ambos módulos, el hardware es el mismo, pero con diferentes firmware. *MC/ Electronics* solamente vende la versión Point-to-Multipoint, pero el firmware se puede cambiar fácilmente. Estos módulos son más o menos Plug and Play (llegar y usar) pero por supuesto no se podría tener beneficio de todas las grandes características que en el módulo se pueden configurar.

**XSC** – Son, básicamente, módulos de 900MHz, pero sacrifican velocidad de datos por el alcance. Los módulos 900MHz tienen una velocidad de datos de aproximadamente 156

Kbps (los otros de aproximadamente 250 Kbps), mientras que en los módulos XSC es de alrededor de 10 Kbps. Por otro lado, si colocas una antena de alta ganancia puedes tener un alcance de alrededor de 24 Km y de 9,6 Km con una antena regular. Estos módulos no requieren configuración externa y tienen otras diferencias incluyendo un set de comandos diferente a los anteriores por lo que se recomienda revisar con anterioridad la hoja de comandos.

**XSC S3B** – Son una mejora a la versión XSC con menor consumo de energía que la versión anterior, además de tener la posibilidad de configurar la potencia de transmisión hasta 250mW. Esta mayor potencia de transmisión permite obtener un rango de 28 millas (45 Kms) con la antena correcta. Los módulos S3B además poseen una mayor tasa de transmisión que la generación previa de módulos XSC.

### **Tipos de Antenas**

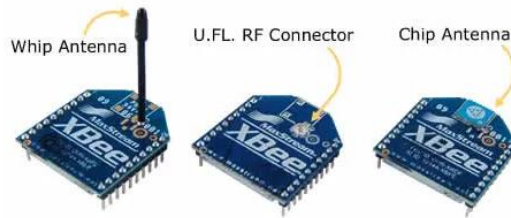
**Chip Antenna** – Básicamente es un pequeño chip que actúa como antena. Rápido, sencillo y barato.

**Wire Antenna (Whip Antenna)**– Es un pequeño cable que sobresale.

**u.FL Antenna** – Un conector pequeño para conectar tu propia antena. Esto es perfecto si tienes tu equipo en una caja y deseas la antena afuera de ésta.

**RPSMA Antenna** – Un conector más grande para conectar tu propia antena. Nuevamente, esto es perfecto si tienes tu equipo en una caja y deseas la antena afuera de ésta.

**Trace Antenna** – También llamada PCB Antenna, es la que está hecha con pistas en el mismo PCB. Su performance es similar a las Wire Antennas.



## Regular y Pro

**Regular vs Pro** – Hay pocas diferencias entre un XBee regular y un XBee PRO. La diferencia en cuanto a hardware es que el XBee PRO es un poco más largo. Con respecto a comunicación, la versión Pro tiene un mayor alcance (1,6 Km línea vista), pero para ello tiene un mayor consumo de potencia. El criterio para tomar la decisión de cual usar es la distancia que uno requiera comunicar dos XBee. Los dos modelos se pueden mezclar dentro de la misma red.

## 900 y 2.4

**900 vs 2.4** – La mayoría de los módulos XBee operan a 2.4 GHz, pero hay unos pocos que operan a 900 MHz. Básicamente los de 900 MHz pueden llegar muy lejos con una antena de alta ganancia (hasta casi 24 Km). Además a menor frecuencia, la señal posee mayor penetración. Otro punto importante es que los módulos de 900 MHz no están permitidos en algunos países (incluso Digi tiene versiones de 868 MHz que sí está permitido en la mayoría de los países). Estas dos versiones no se pueden mezclar en la misma red.

## 4- ¿Qué es un protocolo IEEE 802.15.4?, ¿Para qué se usa? Ejemplifique

**IEEE 802.15.4** es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (*low-rate*

*wireless personal area network*, LR-WPAN). En 2007, la actual revisión del estándar se aprobó en 2006. El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de protocolos que el estándar no cubre.

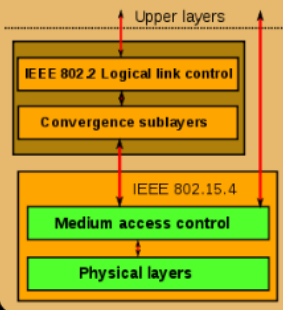
# IEEE 802.15.4 STANDARD

fraggole.upm.es

## INTRODUCTION

**IEEE 802.15.4** standard is intended to accommodate the residential, medical and industrial sectors. The protocol is a low data rate Wireless Personal Area Network (WPAN) which provides low cost and low power consumption for devices. It supports the implementation of mesh networks.

## PROTOCOL STACK



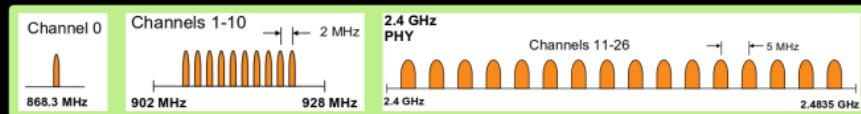
## FREQUENCY

The PHY can operate at

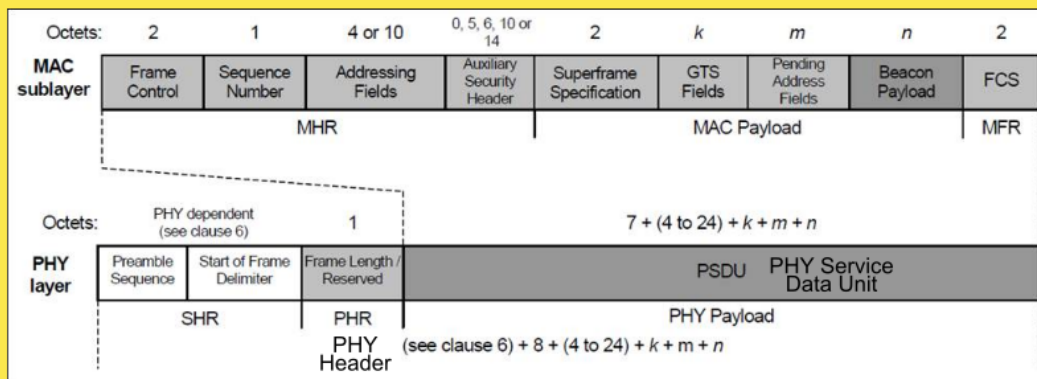
**868.0 - 868.6 Mhz**  
Europe  
1 Channel

**902 - 928 Mhz**  
North America  
up to 10 Channels

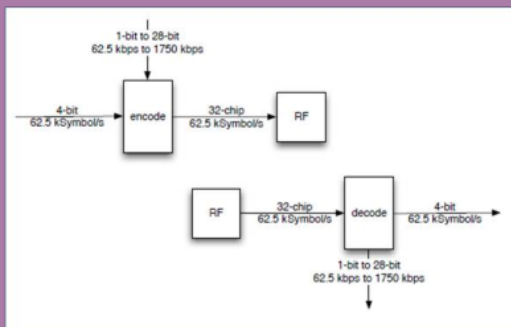
**2400 - 2483.5 Mhz**  
worldwide  
up to 16 Channels



## BEACON FRAME AND PHY PACKET



## ERROR CONTROL ENCODING

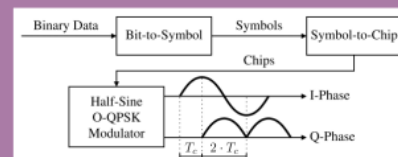


Each 4-bit symbol is mapped to a 32-chip symbol that is RF modulated. Upon demodulation, a Hamming distance check is applied to find the closest symbol to the received chip sequence. This is designed for efficient implementation and not for optimal error correction.

## PHY PACKET FIELDS

Preamble (32 bits) – synchronization  
Start of Packet Delimiter (8 bits)  
PHY Header (8 bits) – PSDU length  
PSDU (0 to 1016 bits) – Data field

## MODULATION 3 STEPS





#### ❓ **IEEE 802.15.4 (WPAN de baja velocidad)**

IEEE 802.15.4-2003 (WPAN's de baja velocidad, Low Rate WPAN) trata las necesidades de sistemas con poca transmisión de datos pero vidas útiles muy altas con alimentación limitada (pilas, baterías...) y una complejidad muy baja. La primera revisión se aprobó en mayo de 2003. El estándar define la capa física y la de enlace de datos del modelo OSI. Tras la formación del grupo 4b en marzo de 2004 este grupo pasó a estado latente. Los protocolos ZigBee se basan en la especificación producida por este grupo de trabajo.

El grupo de trabajo 6LoWPAN del Internet Engineering Task Force (IETF) trabaja en métodos para trabajar con redes IPv6 sobre esta base. Ya está disponible el RFC 4919 que describe los supuestos, la descripción del problema y las metas para transmitir IP sobre redes 802.15.4.

#### ❓ **IEEE 802.15.4a (PHY alternativa)**

IEEE 802.15.4a es una mejora de IEEE 802.15.4 que añade capas físicas adicionales al estándar original. El principal interés de este grupo es permitir comunicaciones y facilidades de localización de alta precisión (de un metro y mejor), alta productividad agregada y necesidades energéticas extremadamente reducidas. También busca la escalabilidad en la tasas de transferencia de datos, distancia de transmisión, coste y consumo.

En marzo de 2005 se seleccionó una especificación de base, consistente en dos PHY opcionales que utilizan una radio de pulso UWB (opera en las bandas UWB no reguladas) y técnicas de espectro de dispersión Chirp (en la banda de 2,4 GHz). La radio de pulso UWB se basa en la tecnología UWB de pulso continuo (continuous pulsed UWB, C-UWB) que es capaz de dar las prestaciones requeridas.

#### ❓ **IEEE 802.15.4b (Revisiones y mejoras)**

Este grupo se inició con un proyecto de realización de mejoras y aclaraciones específicas sobre IEEE 802.15.4-2003. Entre estos objetivos se encuentran la resolución de

ambigüedades y reducción de complejidad innecesaria, el incremento de la flexibilidad en el uso de claves de seguridad, las consideraciones para el uso de nuevos rangos de frecuencias disponibles y otros aspectos.

IEEE 802.15.4b se aprobó en junio de 2006 y se publicó en septiembre del mismo año como IEEE 802.15.4-2006.

#### **IEEE 802.15.4c (Modificación de la capa física para China)**

IEEE 802.15.4c fue aprobada en 2008 y publicada en enero de 2009. Esta modificación de las capas físicas añade nuevas especificaciones en el espectro de radiofrecuencia, para adaptarse a los cambios de normativas que hay en China que han abierto las bandas de 314-316 MHz, 430-434 MHz, y 779-787 MHz para el uso de PAN inalámbricas dentro de China.

#### **IEEE 802.15.4d (Modificación de la capa física y de control de acceso al medio para Japón)**

El grupo de trabajo de IEEE 802.15.4d fue constituido para definir una modificación en el estándar existente 802.15.4 de 2006. La modificación contempla cambios tanto en la capa física como en la de control de acceso al medio que son necesarios para soportar la asignación de una nueva frecuencia (950 MHz -956 MHz) en Japón, mientras coexisten con otros sistemas de protocolos en la frecuencia de banda.

#### **IEEE 802.15.4e (Modificación de la capa MAC para aplicaciones industriales)**

El grupo de trabajo de IEEE 802.15.4e fue constituido para definir una modificación en el estándar existente 802.15.4 de 2006. La intención de esta modificación era mejorar y agregar nuevas funcionalidades a la capa MAC, que básicamente consisten en:

- Mejorar el apoyo a los mercados industriales.

- Permitir la compatibilidad con las modificaciones que se propusieron en el WPAN de China.

Las mejoras más específicas fueron realizadas para añadir saltos de canal y una opción de intervalos de tiempos variables compatibles con ISA100.11a. Estos cambios fueron aprobados en 2011.

#### IEEE 802.15.4f (Modificación en la capa física y la identificación por radiofrecuencia o RFID)

El grupo de trabajo de IEEE 802.15.4f fue constituido para definir nuevas capas físicas inalámbricas y mejoras con respecto al estándar de la capa MAC 802.15.4 del 2006 necesarias en las nuevas capas físicas para la identificación por frecuencia o RFID bidireccional.

#### IEEE 802.15.4g Modificación de la capa física para Herramientas de Red Inteligentes (SUN)

El grupo de trabajo IEEE 802.15.4g fue constituido para crear una nueva capa física que modifique 802.15.4 para proporcionar un estándar que facilite, a gran escala, aplicaciones de control de procesos como la utilidad de redes inteligentes capaces de soportar geográficamente diversas redes con una mínima infraestructura. Recientemente han surgido noticias sobre el estándar de radio 802.15.4g.

Propiedad	Rango
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Alcance	10 – 20 m.
Latency	Abajo de los 15 ms.
Canales	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Bandas de frecuencia	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA y rasurado CSMA-CA
Temperatura	El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C

Tabla 4.1 – Propiedades del IEEE 802.15.4

## **USOS**

Las características más importantes en este estándar son su flexibilidad de red, bajos costos, bajo consumo de energía; este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones en el hogar que requieren una tasa baja en la transmisión de datos.

La clave la de motivación para el uso de tecnología inalámbrica es la reducción en los gastos de instalación, ya que nunca es necesario cambiar el cableado. Las redes inalámbricas implican un gran intercambio de información con un mínimo de esfuerzo de instalación. Esta tendencia es impulsada por la gran capacidad de integrar componentes inalámbricos de una forma más barata y el éxito que tienen otros sistemas de comunicación inalámbrica como los celulares. Varias aplicaciones dentro del hogar están vislumbrando la necesidad de comunicación.

En términos generales, estos se pueden clasificar en conexión a Internet, conexión multi-PC, redes de audio y video, automatización del hogar, ahorro de energía y seguridad. Cada uno de ellos tiene diferentes necesidades de ancho de banda, costos y procedimientos de instalación.

Con el gran crecimiento de Internet, las mayores preocupaciones de los diseñadores es el satisfacer la necesidad de compartir conexiones de alta velocidad.

En el otro lado del espectro, las aplicaciones como la automatización del hogar y aplicaciones de seguridad han relajado dichas necesidades. Estas aplicaciones no pueden manejar protocolos muy pesados ya que afectarían seriamente en el consumo de energía y requerirían de mayor poder de procesamiento. Claro que lo anterior tendría un impacto directo en los costos.

## **EJEMPLO**

Consideremos un detector de temperatura pequeño en una ventana. Este sensor no necesita reportar sus datos más que unas pocas veces por hora, es discreto y tiene un precio muy bajo. Este tipo de aplicaciones se manejarían muy bien con un link de comunicación inalámbrica de baja potencia. El uso de cables es (de comunicaciones o de energía) es impráctico por el uso mismo de la ventana. Además, los costos de la

instalación del cable excederían en varias veces el costo del sensor. Además se prefiere que los aparatos consuman muy poca energía ya que el cambio constante de las baterías se considera impráctico.

La tecnología 802.11 (WLAN) resultaría sofocante ya que solo satisface los requerimientos de conexión. Bluetooth se concibió originalmente como un sustituto del cable, pero ha se ha llevado sobre un camino más complejo, haciéndolo impráctico para aplicaciones de bajo consumo.

La tendencia a la complejidad ha incrementado los costos provistos para esta tecnología. Ambos dispositivos, bluetooth y 802.11, requerirían un cambio de baterías algunas veces al año, lo que resulta impráctico si se tienen varias ventanas en esta aplicación como es el caso de una casa típico con varias ventajas.

En el año 2000 dos grupos especialistas en estándares (ZigBee y el grupo 15 de trabajo IEEE 802) se unieron para dar a conocer la necesidad de un nuevo estándar para redes inalámbricas de bajo poder y por lo tanto bajos costos en ambientes industriales y caseros. Dando como resultado que en diciembre de ese año el comité para nuevos estándares IEEE (NesCom) designara oficialmente un nuevo grupo de trabajo para el desarrollo de un nuevo estándar de baja transmisión en redes inalámbricas para áreas personales (LR-WPAN), con lo que nació el estándar que ahora se conoce como el 802.14.

## **6- ¿Qué es un protocolo 6LowPAN?, ¿Para qué se usa? Ejemplifique**

Desde el año 2003, la IEEE liberó el estándar 802.15.4 para redes inalámbricas de área personal (WPAN), proporcionando el primer estándar mundial de radio de baja potencia. Poco después, el grupo denominado “*ZigBee Alliance*” desarrolló una solución para redes ad-hoc sobre IEEE 802.15.4. *ZigBee*, sin embargo, tiene problemas de escalabilidad e integración y aunque existen arquitecturas de clúster que permiten que la red *ZigBee* se conecte a Internet, los dispositivos *ZigBee* no pueden ser conectados directamente a la misma. Por lo tanto, se necesita un nuevo paradigma que permita la posibilidad de que los dispositivos inalámbricos IEEE 802.15.4 se puedan conectar directamente a Internet.

Para tal efecto, la IETF ha propuesto el protocolo **6LoWPAN**, el cual ofrece a los dispositivos IEEE 802.15.4 interoperabilidad con otro tipo de redes a través de un dispositivo intermedio que permite la conexión directa de los nodos mediante una dirección IP. Este estándar consiste en implementar una ligera pila IPv6 en los dispositivos inalámbricos de baja potencia.

El protocolo 6LowPAN es un estándar abierto definido por la IETF (*Internet Engineering Task Force*), tal como lo indica su nombre “*IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks*” es una tecnología de red o capa de adaptación que permite el envío eficiente de paquetes IPv6 dentro de tramas pequeñas de la capa de enlace de datos como las definidas en el estándar IEEE 802.15.4.

En la figura 1 se puede observar que la red 6LoWPAN se conecta a Internet mediante un *router* frontera (*Edge Router*), el cual realiza tres funciones fundamentales:

- ☐ Intercambio de información entre los nodos 6LoWPAN e Internet (u otra red IPv6).
- ☐ Intercambio de información entre los nodos 6LoWPAN.

#### Generación y mantenimiento de la red **Pila de 6LoWPAN**

Como se dijo antes, hasta ahora, se han requerido de puertas de enlace a nivel de la capa de aplicación para hacer que dispositivos con tecnologías como *Zigbee* o *Bluetooth* se puedan conectar a Internet. 6LoWPAN resuelve este dilema introduciendo una capa de adaptación entre la capa de enlace de datos y la capa de red para habilitar la transmisión de tramas IPv6 sobre tecnologías como IEEE 802.15.4.

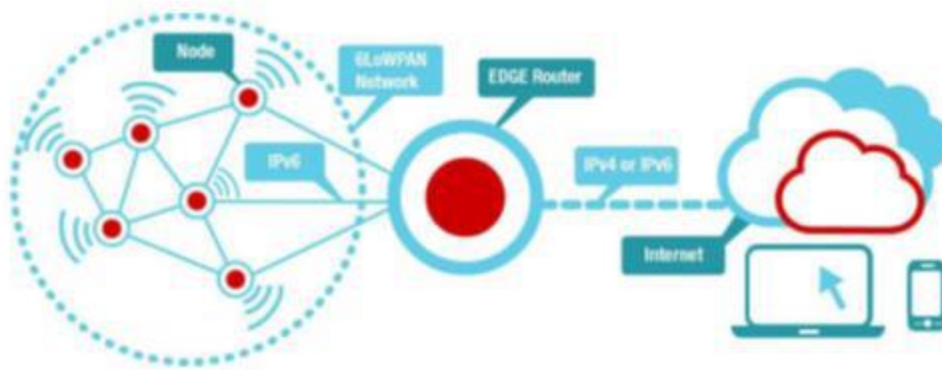


FIGURA 1 ARQUITECTURA DE LA RED 6LoWPAN

Los *router* frontera reenvían tramas a nivel de la capa de red, por lo cual no necesitan de ninguna capa de aplicación. Otras arquitecturas como *Zigbee*, *Z-wave*, *Bluetooth* o redes propietarias requieren de complejas puertas de enlace a nivel aplicación para conectarse a redes IP. Estas puertas de enlace a nivel aplicación deben entender cualquiera de los perfiles de aplicación que son usados en la red, por tanto, cualquier cambio también viene acompañado de cambios en la puerta de enlace. En contraste, los *router* frontera, funcionan independientemente de los protocolos de aplicación usados en la red 6LoWPAN. Esto permite disminuir la carga en el *router* frontera en términos de procesamiento, haciendo posible el uso de dispositivos de menor potencia y menor costo, que ejecuten software más simple y dispongan de un hardware menos complejo.

### Problemas de la tecnología actual

La comunicación directa de nodos en redes IP requiere de muchos protocolos que son demandantes para dispositivos inalámbricos de baja potencia, por ejemplo, IPv6 incluye seguridad para autenticación y encriptación de datos, dichas técnicas pueden ser muy complejas y demandantes para este tipo de dispositivos. Los servicios ofrecidos en Internet generalmente se basan en servicios web, usando principalmente protocolos como TCP, HTTP, SOAP y XML los cuales utilizan complejos patrones de transacción.

Además, los protocolos de Internet actuales requieren de enlaces que manejan tramas de gran tamaño (mínimo 1280 bytes para IPv6), y pesados protocolos de aplicación que requieren de un ancho de banda considerable, por lo que no están optimizados para redes inalámbricas de baja potencia, ya que en este tipo de redes hay menos fiabilidad debido a fallas en nodos, agotamiento de energía, y ciclos de inactividad. Estas limitaciones han restringido al IoT a dispositivos que cuenten con un procesador potente y con un sistema operativo que maneje la pila TCP/IP para tener la capacidad de un enlace directo mediante una dirección IP.

### Pila de 6LoWPAN

Como se dijo antes, hasta ahora, se han requerido de puertas de enlace a nivel de la capa de aplicación para hacer que dispositivos con tecnologías como *Zigbee* o *Bluetooth* se puedan conectar a Internet. 6LoWPAN resuelve este dilema introduciendo una capa de adaptación entre la capa de enlace de datos y la capa de red para habilitar la transmisión de tramas IPv6 sobre tecnologías como IEEE 802.15.4.

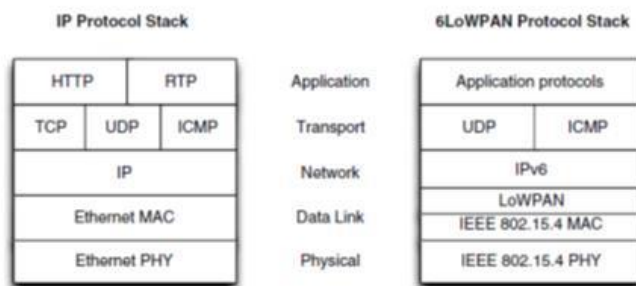


FIGURA 2 PILAS TCP/IP CONTRA 6LoWPAN

En la figura 2, se muestra el uso de IEEE 802.15.4 en 6LoWPAN. La capa de enlace de datos provee de un enlace confiable entre dos nodos conectados detectando errores en la conexión que pueden ocurrir en la capa física durante transmisión y recepción. La capa de enlace de datos incluye la capa de control de acceso al medio (MAC) que usa técnicas como CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance*) en donde se comprueba que ningún otro dispositivo está transmitiendo antes de enviar información, el



entramado de la información, así como la capa 6LoWPAN que provee adaptación de IPv6 a IEEE 802.15.4.

La capa de red direcciona información a través de la red, incluso si se requieren de múltiples saltos. La capa de transporte genera sesiones de comunicación entre aplicaciones ejecutadas en los dispositivos. Esta capa permite que múltiples aplicaciones tengan su propio canal de comunicación. TCP es el protocolo de transporte dominante en Internet, sin embargo, este protocolo orientado a conexión tiene cabeceras demasiado grandes y por lo tanto no es siempre factible en dispositivos de bajo consumo de energía. Para ese tipo de dispositivos, UDP, es una mejor opción al ser un protocolo no orientado a conexión que maneja cabeceras pequeñas.

Finalmente, la capa de aplicación es responsable del formato de la información. Una capa de aplicación ampliamente usada en Internet es HTTP sobre TCP. HTTP usa XML que es un lenguaje basado en texto con una cabecera grande, por lo tanto, no es óptimo su uso en redes 6LoWPAN. Por esta razón, se han desarrollado protocolos de aplicación alternativos, como CoAP (*Constrained Application Protocol*), un protocolo sobre UDP con un mecanismo REST muy similar a HTTP. CoAP está definido por IETF en el RFC7252 y define retransmisión, mensajes confirmados y no confirmados, suscripción y descubrimiento de recursos.

El protocolo 6LoWPAN puede considerarse como una gran alternativa para la implementación del IoT ya que al utilizar IPv6 se tiene conectividad e interoperabilidad con otras redes IP, se dispone de gran número de direcciones IP (2<sup>128</sup>) lo cual permitirá conectar millones de objetos/ cosas de manera inalámbrica a Internet utilizando la infraestructura existente y finalmente ofrece una integración transparente con la misma.

## **EJEMPLO DE USO**

En este estudio se implementa un prototipo de gestión de luminarias que cumple los siguientes requerimientos:

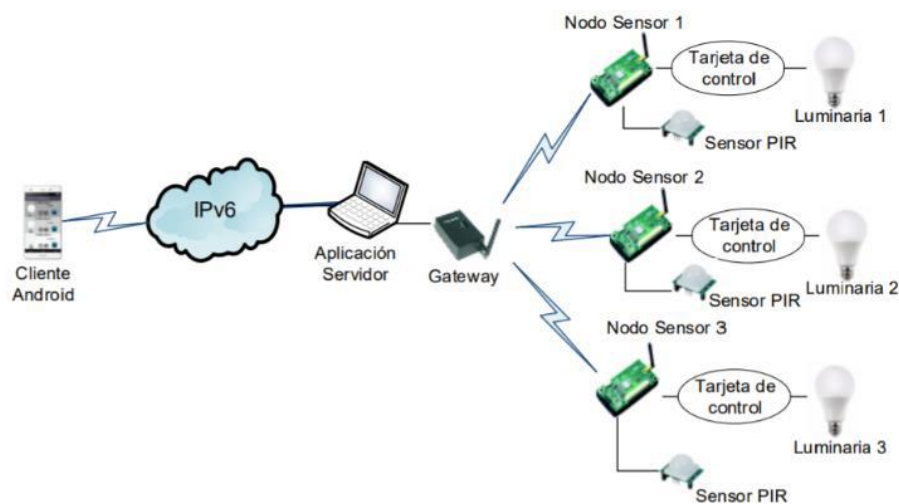
- Permite la gestión remota del encendido y apagado de las luminarias, control de la intensidad lumínica, temporización, detección de movimiento y simulación de presencia.
- La gestión remota se hace con dispositivos basados en Arduino, conectados a la red IPv6.
- El direccionamiento de los nodos sensores debe ser compatible con IPv6 y permitir una conectividad de extremo a extremo.
- Usa herramientas estándares para las comunicaciones en la capa aplicación de la arquitectura de la red inalámbrica de sensores.

### Componentes del prototipo

El prototipo implementado (Figura 1) está formado por un dispositivo Android llamado cliente, una aplicación alojada en un computador llamada servidor, un nodo gateway, tres nodos sensores que forman parte de una red sensor inalámbrica que opera con IEEE 802.15.4 y la red IPv6, que se describen a continuación:

**Figura 1.**

Diagrama del ambiente de prueba

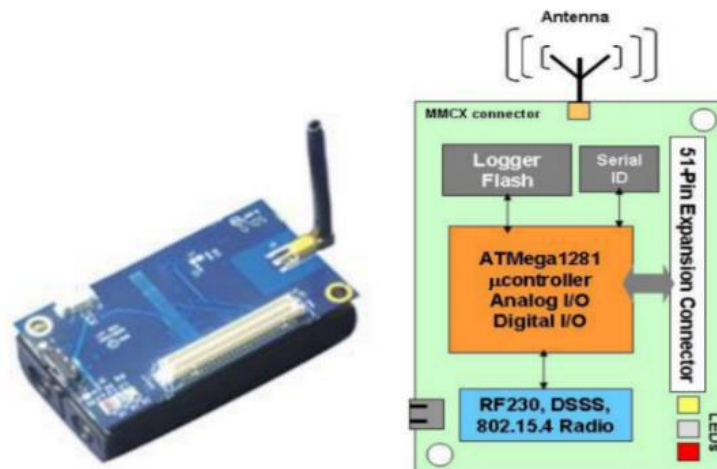


## Nodo sensor

Es un nodo IRIS XM2110 (MEMSIC, 2012) (Figura 2) basado en un microcontrolador de baja potencia ATmega1281, de 8 bits, con un transmisor y receptor que operan en la banda 2.4 GHz. Este nodo gestiona el sensor de movimiento y la intensidad de la luminaria por medio de una tarjeta de control diseñada para tal efecto.

**Figura 2.**

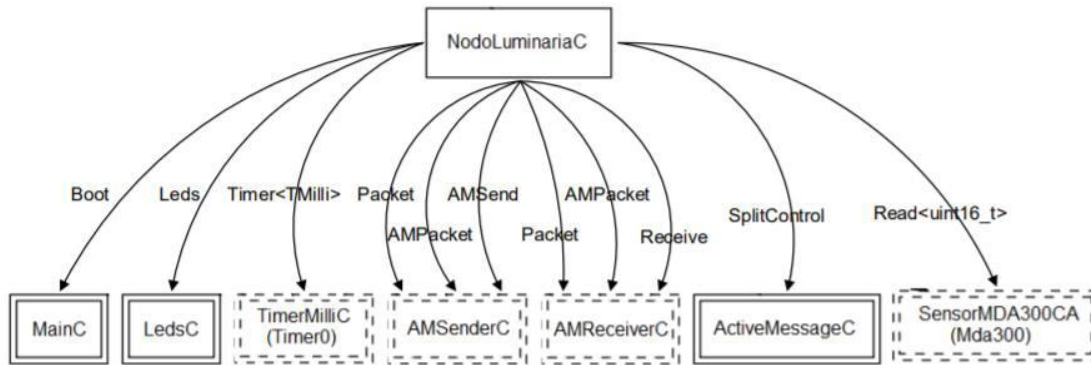
Nodo sensor IRISxm2110



La información recolectada por cada nodo sensor se envía por medio del gateway hacia el servidor. El código de la aplicación fue creado con NesC y sus componentes se presentan en la Figura 3.

**Figura 3.**

Componentes de la aplicación ejecutada en nodo sensor Iris XM21



En la Figura 4 se presenta el componente de código nodoluminaria.h, en el cual se define la estructura del paquete, que consiste en la cabecera de 6LoWPAN con compresión HC1-HC2. Este paquete forma parte de la carga útil de la trama IEEE 802.15.4.

**Figura 4.**

Definición del direccionamiento para 6LoWPAN

```

enum {
    //Tipo mensaje Active Message
    AM_BLINKTORADIO = 6,
    //Intervalos para tomar medidas
    FRECUENCIA_MUESTREO = 10000
};

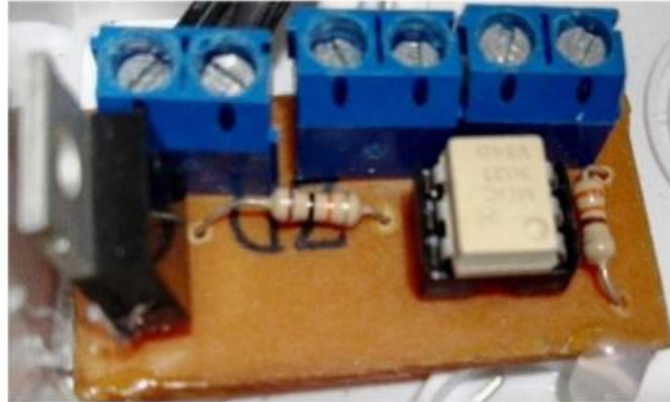
typedef nx_struct BlinkToRadioMsg {
    //Campos 6LoWPAN encapsulados
    //en la trama IEEE 802.15.4
    nx_uint64_t direccion_origen;
    nx_uint64_t direccion_destino;
    nx_uint8_t dispatch;
    nx_uint8_t HC1;
    nx_uint8_t limite_salto;
    nx_uint16_t datos;
} BlinkToRadioMsg;
  
```

Tarjeta de control

En la Figura 5 se presenta el dispositivo, implementado en este trabajo, acoplado al nodo sensor, el cual le permite al nodo sensor controlar el funcionamiento de la luminaria para encenderla, apagarla y controlar el nivel de iluminación.

**Figura 5.**

Tarjeta de control

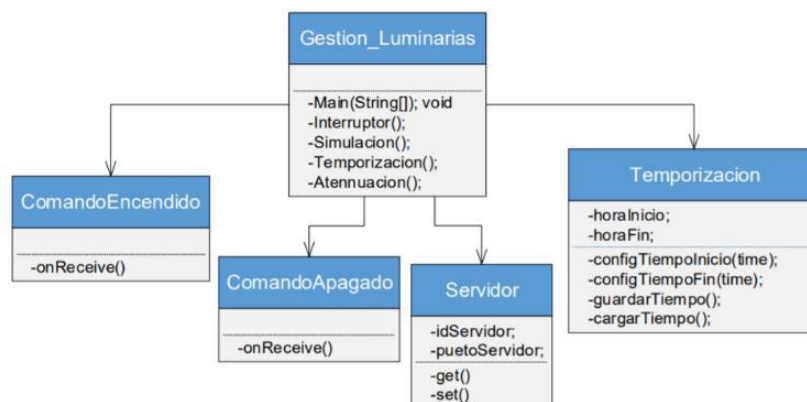


Cliente Android

Debido a que se necesita hacer la gestión remota utilizando una red IPv6, el cliente debe ser ejecutado en un dispositivo con el sistema operativo Android, con la versión 5.0 o superior, habilitado para tener conectividad con IPv6. Para desarrollar el aplicativo se utiliza el lenguaje de programación Java para implementar el sistema de gestión remota de las luminarias. En la Figura 6, se observa el diagrama de clases de la aplicación ejecutado en el cliente Android.

**Figura 6.**

Diagrama de clases de la aplicación Cliente

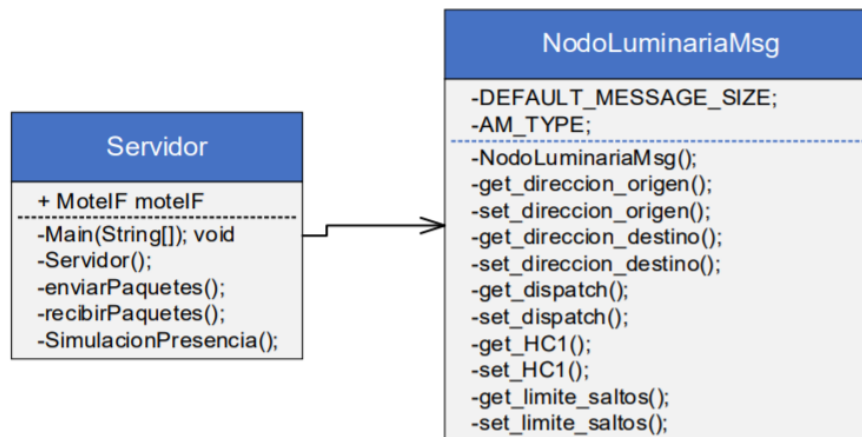


## Servidor

Es el computador en el cual se ejecuta la aplicación Servidor para convertir los protocolos de la red sensor inalámbrica con 6LoWPAN al protocolo IPv6 de la red internet. Para hacer la conversión de protocolos, el servidor trabaja conjuntamente con un nodo sensor definido como Gateway, el cual se conecta al puerto serial del servidor. El servidor envía los datos a la aplicación Cliente usando el protocolo IPv6. La aplicación Servidor se implementa empleando lenguaje Java y el IDE Eclipse. El diagrama de clases se muestra en la Figura 7.

**Figura 7**

Diagrama de clases de la aplicación Servidor



El servidor envía los paquetes hacia el nodo Gateway y al dispositivo cliente. Los paquetes se capturan en el terminal del servidor usando las herramientas MsgReader (Sicos1977, 2013). Para visualizar los paquetes en el servidor se utilizó la herramienta Java Listen, que funciona como un monitor de paquetes (sniffer, en inglés) y facilita la presentación de los paquetes binarios en la pantalla.

## Nodo gateway

Implementado con el dispositivo MIB520 (MEMSIC, 2010), este nodo recolecta información de la red sensor inalámbrica que opera con el protocolo IEEE 802.15.4 y la

transmite al servidor; además, recibe los datos desde el servidor y los retransmite hacia los nodos sensores para el control de las luminarias. Para las comunicaciones entre el servidor y los nodos sensores, el nodo Gateway utiliza la aplicación BaseStation (TinyOS, 2009), herramienta de TinyOS, que permite al Gateway operar como un puente entre el puerto serie del servidor y la red inalámbrica de sensores. Cuando el nodo Gateway recibe un paquete del puerto serie del servidor, lo transmite por radio; cuando recibe un paquete por la radio, lo transmite al puerto serie. De esta manera, la herramienta BaseStation establece la comunicación entre el servidor y los nodos sensores. La herramienta MIG (TinyOS, 2011) es empleada para encapsular el paquete en la carga útil de la trama IEEE 802.15.4; se pueden leer e imprimir los campos de la carga útil de la trama 802.15.4. Utilizamos la herramienta MsgReader (TinyOS, 2010) para extraer únicamente la carga útil de la trama omitiendo la cabecera IEEE 802.15.4.

#### Red IPv6

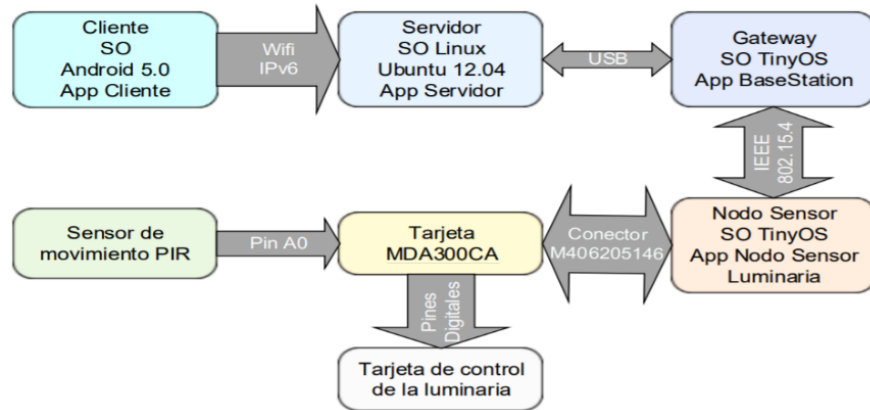
La red IPv6 se implementa con 3 ruteadores Cisco 1841 conectados en topología anillo y configurados con IPv6.

#### Componentes del sistema

Como se muestra en la Figura 8, inicialmente la aplicación Cliente Android, que se ejecuta en un teléfono celular, enviará una petición a la aplicación Servidor que opera con Ubuntu; estos dos componentes se comunicarán usando IPv6. Luego, el servidor envía un mensaje a la red inalámbrica IEEE 802.15.4 utilizando el Gateway. El Gateway y los nodos sensores operan con el sistema operativo TinyOS. En la misma figura, se aprecian las aplicaciones que se ejecutan en cada elemento que forma parte del prototipo. Con respecto a la manera en que se comunicarán los sistemas, las flechas indican la tecnología de comunicación empleada.

#### **Figura 8.**

Componentes del sistema



La luminaria prototipo que se implementó para controlarla ser controlada en forma remota se observa en la Figura 9.

**Figura 9.**

Luminaria implementada

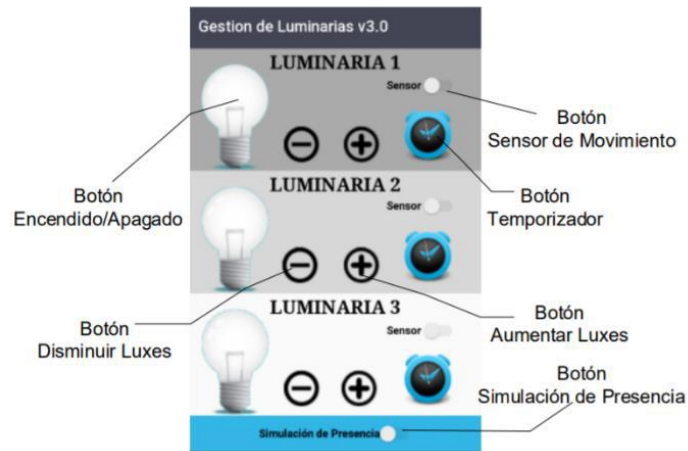


La aplicación desarrollada para el dispositivo con el sistema operativo Android (teléfono celular) tiene una interfaz (Figura 10) que permite activar y desactivar la temporización, elegir la hora que se enciende o se apaga la luminaria y presentar los datos de configuración del temporizador.

**Figura 10.**



## Interfaz para el control de la luminaria



Configurados todos los componentes del prototipo, se validó el funcionamiento del sistema propuesto. Las funciones de encendido, apagado, temporización de la luminaria y control de la intensidad de iluminación funcionaron de acuerdo con los requerimientos de diseño.

En la Tabla 1, se presentan las direcciones IPv6 configuradas en los nodos sensores para hacer las pruebas de conectividad con el teléfono celular configurado con IPv6. El resultado de la función ping, que verifica la conectividad entre el nodo sensor y el teléfono celular, fue exitoso.

**Tabla 1.**

Direcciones de los nodos sensores

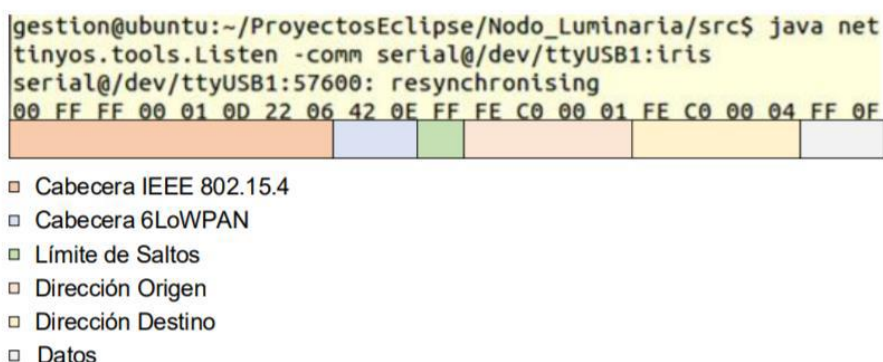
Columna 1	Columna 2
Gateway	FEC0::1B
Luminaria 1	FEC0::1
Luminaria 2	FEC0::2
Luminaria 3	FEC0::3

En la Figura 11, se presenta la información del paquete 6LoWPAN enviado por el nodo sensor, capturado en el servidor, para ser convertido en un paquete IPv6 y recibido por el teléfono celular.

Para medir la intensidad de iluminación, se usó la aplicación basada en Android denominada 'luxómetro'; esta aplicación utiliza el sensor que está ubicado en la parte frontal del dispositivo celular.

**Figura 11.**

Paquete 6LoWPAN recibido en el servidor



## Control de luminosidad

Se obtuvieron las medidas de intensidad de luz de la luminaria utilizando el luxómetro (ver Tabla 2); la disminución y el aumento de la intensidad de luz medida permitieron comprobar el control sobre la luminaria desde el teléfono celular. La intensidad de luz medida depende del voltaje suministrado a la luminaria y de los luxes del ambiente. La variación de lúmenes medidos al pasar de un nivel de intensidad a otro no es fija, debido al tipo de foco y a la variación del voltaje que tiene un valor promedio de 13 voltios.

**Tabla 2.**

Medidas obtenidas con el luxómetro

Número de Medida	Ambiente (Luxes)	Luxómetro (Luxes)	Ambiente (Luxes)	Luxómetro (Luxes)
1	146	4100	79	82
2	175	3595	104	466
3	116	2739	91	905
4	152	554	115	3278
5	110	110	146	3486

### Temporización

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la prueba de la temporización, en la cual se pueden apreciar los tiempos de respuesta del control de encendido de la luminaria en forma remota.

**Tabla 3.**

### Medidas de tiempos de temporización

Tiempo configurado		Tiempo medido	
Hora Encendido	Hora Apagado	Hora Encendido	Hora Apagado
18:00:00	21:00:00	18:00:23	21:00:35
13:15:00	13:45:00	13:15:08	13:45:40
19:34:00	22:30:00	19:34:21	22:30:51
09:40:00	11:00:00	09:40:05	11:00:02

A pesar de que los resultados obtenidos con la función de temporización fueron satisfactorios, cabe mencionar que las acciones de prendido y apagado de la luminaria no fueron ejecutadas de manera inmediata y en el momento indicado, sino que se llevaron a cabo un tiempo después de la hora definida. Esto se debe a que en el celular se estaban ejecutando otras aplicaciones, y el servicio utilizado para el envío de mensajes no tiene una prioridad alta.

### Simulación de presencia

Durante esta prueba se verificó que el encendido y apagado de la luminaria de manera aleatoria. Se hicieron pruebas con franjas horarias y se constató el funcionamiento

correcto. Los resultados obtenidos cumplen con la función de simulación de presencia codificada.