

RED INALÁMBRICA DE SENSORES. DETECCIÓN DE PLAZAS LIBRES EN ESTACIONAMIENTO VEHICULAR

Ojeda Ramos, Jorge Aníbal ¹;

Arrúa Ginés, Jorge L. ²; Ayala Díaz, Katia A. ³

Universidad Nacional del Este – U.N.E.

Facultad Politécnica

Ciudad del Este, Paraguay

jorgeojeda90@gmail.com¹, jorgearrua@gmail.com ², katiaayala@fpune.edu.py³

RESUMEN

Hoy en día la tecnología ocupa un lugar de suma importancia en la vida cotidiana simplificando nuestras tareas diarias. En Paraguay, principalmente en ciudades céntricas como Asunción, o Ciudad del Este, existe una problemática, específicamente en la localización de un estacionamiento disponible para aparcar sus vehículos, produciendo a los ciudadanos una gran pérdida de tiempo y combustible. El objetivo general de este trabajo de investigación consiste en desarrollar un sistema de detección de estado de las plazas de un local de estacionamiento vehicular mediante la implementación de una red inalámbrica de sensores (Wireless Sensor Network, WSN), basada en el estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee), la plataforma Arduino, y el diseño de una interfaz gráfica que permita la visualización de la información. El método de desarrollo aplicado es de diseño, prototipación y refinamiento del sistema. Como resultado, se dispone de una red que cuenta con nodos sensores y un nodo coordinador encargado de monitorear el estado de las plazas de estacionamiento. Cada nodo sensor cuenta con un sensor ultrasónico que recoge la distancia del objeto más cercano (vehículo), la analiza y envía una respuesta con el estado de la plaza al nodo coordinador.

Palabras claves: WSN, IEEE 802.15.4 (ZigBee), Arduino, Estacionamiento Vehicular, Ultrasonido.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día encontrar una plaza libre en un estacionamiento se ha convertido en un indiscutible desafío (Donoso, P.). A medida que los minutos pasan, los conductores dan vueltas por el estacionamiento, cada vez más frustrados ante la falta de espacios para estacionar. En el mejor de los casos, estas búsquedas son un inconveniente; en el peor, pueden causar una llegada tardía a una cita crítica. En una situación como ésta, es necesario que alguien (o algo) sirva de guía a un espacio libre. De ahí surge la idea de mejorar la gestión del espacio físico destinado al estacionamiento vehicular de las grandes empresas, industrias y establecimientos de cualquier índole, facilitando el acceso a las vacancias de los mismos a través del uso de tecnología eficiente y confiable.

Por otra parte, la continua miniaturización de los dispositivos, el aumento de la capacidad de computación y los avances en las técnicas de reducción de consumo de energía permiten la aparición de nuevos modelos de recopilación de información, como por ejemplo las redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks, WSN) (Ramos, H. Macia, F. Marcos, D.). Las redes inalámbricas de sensores están actualmente en el punto de mira de muchos investigadores y empresas tecnológicas. Su principal objetivo es la adquisición y el tratamiento de datos de forma rápida, flexible y autónoma con múltiples aplicaciones en distintos campos (Aguirre, L.). Se ha decidido introducirse en el mundo de la monitorización inalámbrica debido a la creciente importancia de las redes de sensores en las necesidades actuales, lo cual convierte esta tecnología en un interesante campo de desarrollo para la ingeniería de sistemas. La detección automática del estado de plazas es algo bastante novedoso en el Paraguay ya que pocos establecimientos disponen de soluciones tecnológicas para resolver el gran problema que supone encontrar plazas libres en locales de estacionamiento (ABC Color.).

En este trabajo se propone un sistema de detección de plazas libres en estacionamiento vehicular mediante la implementación de una red inalámbrica de sensores basado en la plataforma Arduino y el estándar de comunicaciones (ZigBee).

MOTIVACIÓN

- Dificultad para encontrar plazas libres en estacionamientos.
- Pérdida de tiempo; Frustración del conductor.
- Tecnología y sistemas en rápido desarrollo.
- Coste reducido, bajo consumo, gran versatilidad, oportunidades de aplicación.

OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un prototipo de una red inalámbrica de sensores para la detección automática de plazas libres en estacionamiento vehicular.

ESPECÍFICOS

- Revisar el estado del arte de las redes inalámbricas de sensores con especial atención a la plataforma Arduino y el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 (ZigBee).
- Desarrollar, configurar, probar e implementar un prototipo de una red inalámbrica de sensores mediante la plataforma Arduino y el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4 (ZigBee).

MARCO TEÒRICO – CONCEPTOS FUNDAMENTALES

REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES (WIRELESS SENSOR NETWORKS, WSN)

Una red inalámbrica de sensores está conformada por un conjunto de elementos autónomos (nodos) interconectados de manera inalámbrica, que miden variables de ambiente (Gomez, F). Las redes de sensores tienen las siguientes tareas típicas (Schaeffer, E.):

- Determinar un parámetro ambiental: calor, luz, radiación, presencia de humo, humedad, ruido, etc.
- Detectar eventos: presencia, llegada, movimiento, vibración, flujo.

La infraestructura de una red inalámbrica de sensores que puede ser apreciada en el Figura 1 comprende los siguientes componentes básicos (Garbarino, J.):

- un conjunto de nodos sensores.
- una red de interconexión inalámbrica.
- un punto central de recolección de información o estación base.
- un conjunto de recursos para procesar la información recolectada.



Figura 1. Infraestructura de una red inalámbrica de sensores

(ZIGBEE)

Es un estándar de comunicación basado en la norma IEEE 802.15.4 para redes inalámbricas, orientado a aplicaciones cuyos requerimientos principales son bajas tasas de transmisión, bajo costo y larga autonomía [8]. Algunos sistemas para los que existen perfiles de aplicación están definidos en la Figura 2.



Figura 2. Perfiles (ZigBee)

Los roles de los nodos en (ZigBee) se corresponden con los del estándar IEEE 802.15.4, aunque tienen diferente denominación [8]:

- Coordinador (ZigBee) (coordinator) (Coordinador PAN IEEE 802.15.4)
- Encaminador (ZigBee) (router) (Coordinador IEEE 802.15.4)

- Dispositivo Final (ZigBee) (end points) (Dispositivo IEEE 802.15.4)

Se soportan las topologías de red estrella o punto a punto, como se especifica en IEEE 802.15.4 (Figura 3). La red punto a punto puede tomar diferentes formas: malla (*mesh*) y árbol.

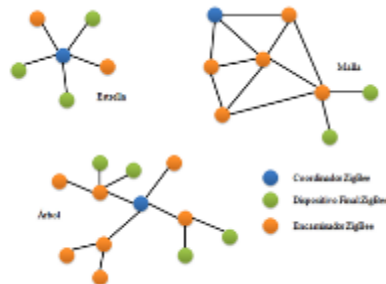


Figura 3. Topologías en (ZigBee)

Los módulos XBee (Figura 4) son dispositivos que integran un transmisor-receptor de (ZigBee) y un procesador en un mismo módulo, lo que le permite a los usuarios desarrollar aplicaciones de manera rápida y sencilla [9]. Son económicos, potentes y fáciles de utilizar.

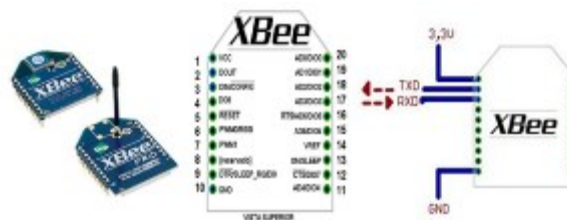


Figura 4. Módulo XBee

ARDUINO

Es una plataforma *open-hardware* de diseño y distribución libre, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje *Processing/Wiring* (Digi International.). En la Figura 5 se puede observar algunas de las placas Arduino. (Aguirre, L.).

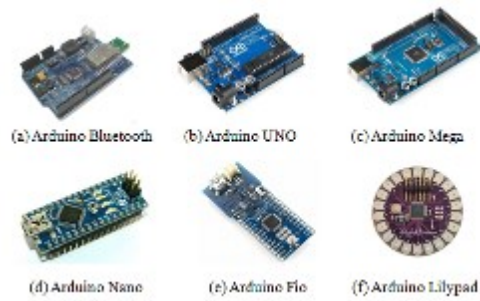


Figura5. Gama de Arduino

2. MATERIALES Y METODOS

BLOQUES Y ELEMENTOS DEL SISTEMA

La Figura 6 muestra los diferentes bloques que forman la red inalámbrica de sensores propuesta y las conexiones entre ellos, existiendo una conexión inalámbrica bidireccional entre cada nodo y el coordinador y una conexión física cableada entre el coordinador y la PC.

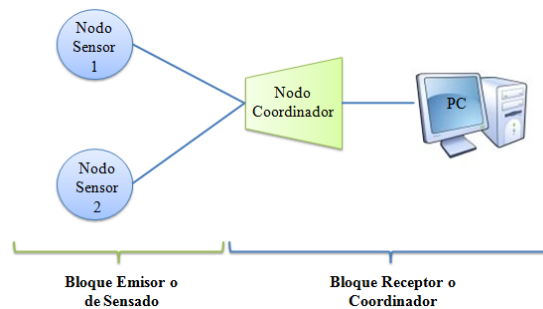


Figura 6. Esquema del sistema planteado

El sistema está dividido en dos bloques:

Bloque Emisor o de Sensado. Cuenta con dos nodos sensores (*end devices*) encargados de transmitir y recibir datos. Cada dispositivo cuenta con un Kit Arduino UNO, un módulo de comunicación por RF XBee y un sensor ultrasónico que recoge información del medio (Figura 7).



Figura 7. Bloque Emisor - Nodo Sensor.

Bloque Receptor o Coordinador. Cuenta con un dispositivo coordinador (Figura 8) que recibe los datos del bloque emisor y los gestiona con la PC. También manda información a cualquiera de los nodos mediante el módulo de comunicación XBee que posee. La PC a la que va unido el equipo coordinador se encarga de monitorizar los datos mediante un entorno gráfico que será diseñado en NetBeans 7.3.1.



Figura 8. Bloque Receptor - Coordinador

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Cada nodo sensor se encuentra en una plaza de estacionamiento. Cuando el nodo coordinador lo solicita, los nodos sensores le envían los datos con el estado de las plazas de estacionamiento teniendo en cuenta la distancia del obstáculo más cercano (vehículo). Los nodos sensores cuentan con un sensor ultrasónico, que mide la distancia del objeto más cercano. De acuerdo al lugar de la aplicación del sistema y de la ubicación de los módulos, si se trata de un local de estacionamiento abierto o cerrado, se establecerá un rango para determinar el estado de cada plaza, es decir, se determinará si la plaza se encuentra libre u ocupada comparando la distancia obtenida con la consulta con un valor específico preestablecido (Figura 9). El microprocesador del Arduino emisor le envía mediante una comunicación serie al módulo XBee los datos que se desean transmitir al coordinador por radiofrecuencia, y este cuando los recibe, se los pasa a la PC por el puerto USB, para que sean monitorizados por pantalla. Una vez recibidos los datos en la PC, estos son

mostrados por pantalla mediante una interfaz gráfica que se ha creado para que resulte más fácil visualizar el resultado (Figura 10).

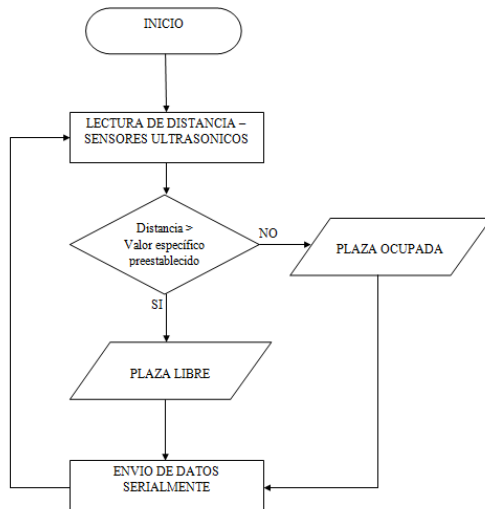


Figura 9. Diagrama de Flujo Simplificado de Bloque Emisor.

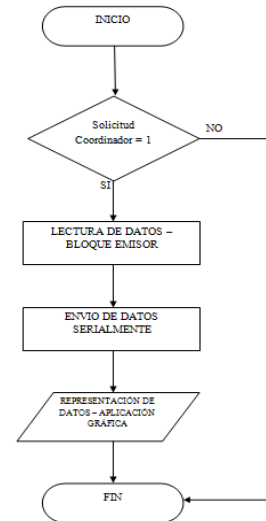


Figura 10. Diagrama de Flujo Simplificado de Bloque Emisor.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

En este proyecto se ha optado por una conexión punto a multipunto. Los dispositivos terminales de la red son los módulos Arduino-XBee emisores, y el coordinador es el módulo USB-XBee receptor que se encuentra unido a la PC y es el encargado de transmitir toda la información que le llegue de los distintos módulos. Para configurar una red punto a multipunto lo primero que se hizo fue configurar cada módulo XBee con su respectiva etiqueta, como coordinador o como *end device*. Para ello se utilizó el programa X-CTU (Ruiz,J.), y dependiendo de la misión de cada dispositivo los valores de los parámetros de configuración han sido diferentes como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de configuración de los módulos XBee

| | COORDENADOR | ENDEVICE 1 | ENDEVICE 2 |
|------------------------------------|-------------|------------|------------|
| <i>PANID</i> | 3332 | 3332 | 3332 |
| <i>Destination.Address(DH)(DL)</i> | 0/FFFF | 0 | 0 |
| <i>Source.Address(MY)</i> | 0 | 1 | 2 |
| <i>Coordinator.Enable(CE)</i> | 1 | 0 | 0 |

Una vez configurados los módulos XBee, el siguiente paso fue realizar el código fuente usando el software de Arduino y cargarlo al microprocesador de cada kit Arduino mediante USB. Seguidamente se procedió a crear la interfaz gráfica donde se analizan todos los datos recogidos por el sistema. Esta interfaz gráfica se realizó con el software NetBeans 7.3.1 (NETBEANS) y permite monitorizar los resultados de medida de una forma sencilla y rápida (Figura 11).



Figura 11. Aplicación Gráfica

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este apartado se llega al diseño final de la red inalámbrica de sensores y se realizan las pruebas utilizando la interfaz gráfica diseñada en NetBeans. En la Figura 12 se puede observar el diagrama final de bloques de la red desarrollada en este trabajo.

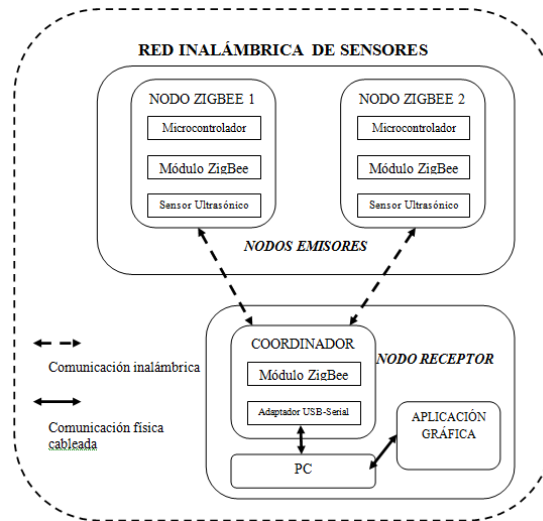


Figura 12. Diagrama final de bloques de los componentes de la red inalámbrica.

A continuación, se puede ver en la Figura 13 el montaje realizado de la red sensorial. Aquí aparecen los dos nodos sensores, el coordinador y sus circuitos de acondicionamiento.

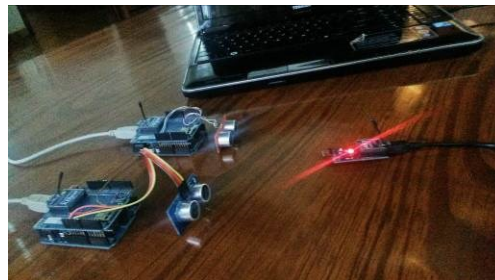


Figura 13. Montaje final realizado

La mayoría de las pruebas fueron realizadas en el escenario que se aprecia en la Figura 14. El mismo consiste en un local de estacionamiento abierto, con dos plazas de estacionamiento disponibles.



Figura 14. Escenario en donde se realizaron las pruebas del sistema.

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

Prueba 1: Diferentes combinaciones de estado de plazas en escenario de pruebas: En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema con diferentes combinaciones de estado de plazas en el escenario de pruebas. Un ejemplo se puede observar en las Figuras 15 y 16.



Figura 15. Escenario Plaza 1 ocupada y Plaza 2 Libre

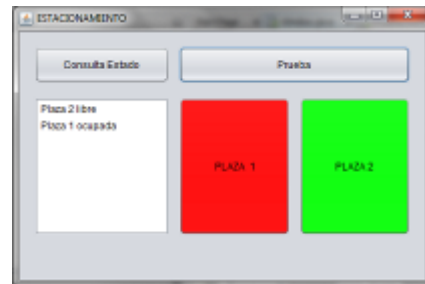


Figura 16. Resultado obtenido con el sistema

En la Tabla 2 se pueden apreciar los resultados obtenidos, en donde se detalla el estado real de la plaza 1 (P1), el estado real de la plaza 2 (P2) y el resultado obtenido a través de la aplicación gráfica (R).

Tabla 2. Prueba 1

| # | P1 | P2 | R |
|---|---------|---------|------------------------------------|
| 1 | Libre | Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 2 | Ocupada | Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 3 | Libre | Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 4 | Ocupada | Ocupada | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Ocupada |

Prueba 2: Distancia Vehículo – Nodo Sensor: En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema ubicando los obstáculos (vehículos) a distintas distancias de los nodos sensores, en busca de posibles resultados incorrectos por probables problemas de interferencia. Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas se pueden observar en la Tabla 3, en donde se especifica la distancia del

vehículo al nodo sensor de la plaza1 (D1), la distancia del vehículo al nodo sensor de la plaza 2 (D2), el estado real de las plazas (ER) y el estado que arroja el sistema (ES).

Tabla 3. Prueba 2

| # | D1 | D2 | ER | ES |
|----|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 10 cm | - | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 2 | 15 cm | - | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 3 | 30 cm | - | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 4 | - | 10 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 5 | - | 15 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 6 | - | 30 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 7 | 30 cm | 30 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 8 | 10 cm | 30 cm | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 9 | 30 cm | 15 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 10 | - | - | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |

Prueba 3: Cambio de posición de nodos sensores: En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema mudando de lugar los nodos sensores y colocándolos en el centro superior de cada plaza de estacionamiento (Figura 17).



Figura 17. Ejemplo del escenario de la prueba 3

Para realizar esta prueba se tuvo que modificar el *firmware* de los nodos sensores en el siguiente aspecto: si la altura medida por el sensor ultrasónico no varía y se mantiene constante, la plaza se encuentra libre. Ante cualquier variación de esa medida, el sistema determinará que la plaza se encuentra ocupada. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 4, en donde se especifica la distancia del vehículo a la pared de la plaza 1 (D1), la distancia del vehículo a la pared de la plaza 2 (D2), el estado real de las plazas (ER) y el estado que arroja el sistema (ES).

Tabla 4. Prueba 3

| # | D1 | D2 | ER | ES |
|----|-------|-------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 10 cm | - | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 2 | 15 cm | - | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Ocupada |
| 3 | 30 cm | - | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 4 | - | 10 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 5 | - | 15 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Ocupada |
| 6 | - | 30 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 7 | 30 cm | 30 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 8 | 10 cm | 30 cm | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 9 | 30 cm | 15 cm | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |
| 10 | - | - | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |

Prueba 4: Diferentes disposiciones de las plazas de estacionamiento: En esta prueba se analizó el comportamiento del sistema en caso de contar con un local de estacionamiento en donde las plazas se encuentran una frente a otra o una detrás de otra como se puede apreciar en la Figura 18.



Figura 18. Ejemplo del escenario de la prueba 4

Para tal efecto los nodos sensores de las plazas fueron acomodados uno frente a otro a una cierta distancia (Figura 19) y uno detrás del otro (Figura 20), respectivamente.



Figura 19. Disposición 1 de las plazas de estacionamiento.

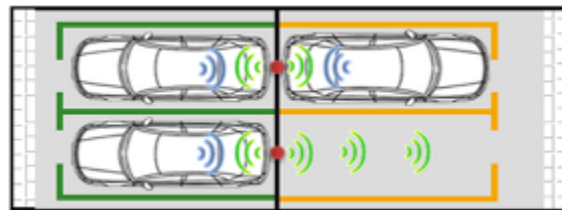


Figura 20. Disposición 2 de las plazas de estacionamiento.

Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 5, en donde se presenta la disposición de los nodos sensores (P), estado real de las plazas (ER), estado obtenido a través del sistema (ES).

Tabla 5. Prueba 4

| # | P | ER | ES |
|---|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Figura 19 | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Libre |
| 2 | Figura 19 | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre | Plaza 1 Libre Plaza 2 Libre |
| 3 | Figura 20 | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Ocupada Plaza 2 Ocupada |
| 4 | Figura 20 | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada | Plaza 1 Libre Plaza 2 Ocupada |

Prueba 5: Alcance: En esta prueba se analizó el alcance de la comunicación entre el nodo coordinador y los nodos sensores. Para tal efecto se alejaron los nodos sensores del nodo coordinador para verificar el rango de comunicación. En la tabla 6 se recogen los resultados obtenidos, en donde se determina la distancia entre el nodo coordinador y los nodos sensores (D), ambiente de medición (A) y estado de la conexión (E).

Tabla 6. Prueba 5

| # | D | A | E |
|---|-----------|----------------|------------|
| 1 | 5 metros | <i>Indoor</i> | Ok |
| 2 | 10 metros | <i>Indoor</i> | Ok |
| 3 | 15 metros | <i>Indoor</i> | Ok |
| 4 | 20 metros | <i>Indoor</i> | No conecta |
| 5 | 25 metros | <i>Outdoor</i> | Ok |
| 6 | 30 metros | <i>Outdoor</i> | Ok |
| 7 | 40 metros | <i>Outdoor</i> | Ok |
| 8 | 45 metros | <i>Outdoor</i> | No conecta |

Resulta importante mencionar que en un espacio real, una señal se ve afectada por otras señales y barreras que pueden presentarse en su camino. Según la hoja técnica de los módulos XBee Serie 1 teóricamente alcanzan los 30 metros en ambientes indoor (interiores) y 100 metros en ambientes *outdoor* (exteriores).

Prueba 6: Tiempo de vida de las baterías: Esta prueba consistió en averiguar el tiempo de duración de las baterías en los dos modos posibles: *sleep* (dormido) y continuo (sin interrupción). Tanto el Arduino UNO como el módulo XBee pueden entrar en modo *sleep*. El consumo aproximado según los estados se establece en la Tabla 7.

Tabla 7. Consumo aproximado según estados de Arduino y XBee

| # | Dispositivos | Consumo |
|---|----------------------------------|---------|
| 1 | Arduino UNO | 23.9 mA |
| 2 | Arduino + Módulo XBee | 77 mA |
| 3 | Arduino UNO dormido | 9.81 mA |
| 4 | Arduino despierto + XBee dormido | 26 mA |
| 5 | Arduino dormido + XBee despierto | 70 mA |
| 6 | Arduino dormido + XBee dormido | 21.5 mA |

La Tabla 8 refleja los resultados obtenidos utilizando la combinación de la opción 2 (modo continuo) y la opción 4 (modo sleep) de la Tabla 7. En la misma se especifican el modo de operación y la duración con baterías de Litio de 600 mAh.

Tabla 8. Prueba 6

| Modo | Duración |
|----------|----------|
| Sleep | 12:15:19 |
| Continuo | 07:32:27 |

4. DISCUSIÓN

Prueba 1: Diferentes combinaciones de estado de plazas en escenario de pruebas: En todos los casos presentados en la Tabla 2, los resultados obtenidos a través del sistema coinciden con los estados reales de las plazas de estacionamiento en el escenario de pruebas. **Prueba 2: Distancia Vehículo – Nodo Sensor:** En todos los casos de la Tabla 3, los resultados obtenidos concuerdan con la realidad planteada. Por lo tanto, los probables problemas de interferencia en el escenario de prueba establecido quedan prácticamente descartados. Sin embargo, de acuerdo a las especificaciones técnicas de los sensores ultrasónicos, los mismos tienen un ángulo de medición de 30°, por lo que, a la hora de implementar este sistema en el mundo real surjan algunos inconvenientes que pueden ser superados realizando un estudio de plaza del estacionamiento y de ésta manera ubicar los sensores en lugares convenientes. **Prueba 3: Cambio de posición de nodos sensores:** Ocho de los casos presentados en la Tabla 4, arrojan resultados que concuerdan con la realidad planteada, sin embargo dos no. Esto se debe a que el sensor ultrasónico

de la plaza 1, con un ángulo de medición de 30°, tiene bajo su campo de visión al automóvil estacionado en la plaza 2 y, por lo tanto, aunque en la plaza 1 no se encuentre estacionado ningún vehículo, el sistema determinará que ambas plazas se encuentran ocupadas. Seguidamente, al comparar los resultados obtenidos en esta prueba y en la anterior, se puede concluir que la mejor disposición de los sensores para el escenario de pruebas montado es la ubicación original con un 100% de efectividad contra un 80% de la ubicación cambiada. **Prueba 4: Diferentes disposiciones de las plazas de estacionamiento:** En todos los casos presentados en la Tabla 5, el estado real de las plazas de estacionamiento coincide con el estado obtenido a través del sistema. Cabe mencionar que esta prueba fue realizada manteniendo la posición original de los sensores para el escenario montado (Figura 14). Por lo tanto, se pudo comprobar una vez más que los problemas de interferencia son prácticamente nulos, y que los estados de las plazas son correctamente captados por el sistema propuesto. **Prueba 5: Alcance:** Las mediciones fueron realizadas en ambientes *indoor* y *outdoor*. El resultado obtenido no coincide con las especificaciones técnicas, ya que a partir de los 20 metros (traspasando tres paredes) en ambientes *indoor* ya no es posible establecer una conexión estable entre el coordinador y los nodos sensores, al igual que a partir de los 45 metros en ambientes *outdoor*. El alcance puede ser mejorado utilizando módulos de comunicación XBee de mayor potencia. **Prueba 6: Tiempo de vida de las baterías:** Tanto el Arduino UNO, como los módulos XBee consumen menos al estar en modo sleep. No se encontró la forma de sincronizarlos y se decidió escoger sólo uno de los dos para "dormirlo".

CONCLUSIÓN

Tras la ejecución de este trabajo se puede decir que:

- Se ha diseñado e implementado un prototipo de red inalámbrica de sensores mediante comunicación (ZigBee) y la plataforma Arduino para la detección de estado de plazas de un local de estacionamiento vehicular.
-

- El sistema diseñado es viable y podría ser implementado en un local de estacionamiento real, indistintamente de la ubicación de las plazas y de los nodos sensores. Esto quedó demostrado con las pruebas 2, 3 y 4, cambiando de posición los nodos sensores o la ubicación de las plazas de estacionamiento. En prácticamente todas ellas el resultado obtenido por el sistema coincidió con la situación real planteada en los diferentes escenarios.

5. REFERENCIAS

- Donoso, P. Análisis de problemas de estacionamiento en grandes instituciones. Aplicación al caso de un campus universitario. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/5366642/02-Analisis-de-problemas-de-estacionamiento> [Octubre de 2013].
 - Ramos, H. Macia, F. Marcos, D. Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes. Aplicación a la Monitorización de Variables Fisiológicas. Recuperado de www.dtic.ua.es/grupoM/recursos/articulos/JDARE-06-H.pdf [Octubre de 2013].
 - Aguirre, L. Estudio de una red de sensores sin hilos basadas en la tecnología Arduino bajo protocolos de comunicaciones (ZigBee). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9511/1/memoria.pdf> [Octubre de 2013]
 - Gomez, F. Redes de sensores inalámbricas. Recuperado de http://atc.ugr.es/~aprieto/TIC_socio_sanitario/A11_4_05_Redес_sensores.pdf [Octubre de 2013]
 - Schaeffer, E. Un Vistazo a los fundamentos de optimización de redes sensoras. Recuperado de <http://elisa.dyndns-web.com/~elisa/presentations/optsensora.pdf> [Octubre de 2013]
 - Garbarino, J. Protocolos para redes inalámbricas de sensores. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf> [Octubre de 2013]
 - ABC Color. Buscan solución al problema de estacionamiento en el Poder Judicial. Recuperado de <http://www.abc.com.py/nacionales/buscan-solucion-al-problema-de-estacionamiento-en-el-poder-judicial-322403.html> [Octubre de 2013]
 - (ZigBee) Alliance. Recuperado de [http://www.\(ZigBee \).org/](http://www.(ZigBee).org/) [Octubre de 2013]
 - Mendez, G., (ZigBee) y sus aplicaciones en el monitoreo y control de procesos a distancia. Recuperado de <http://www.dtic.ua.es/grupoM/recursos/articulos/JDARE-06-H.pdf>
-

<http://www.fciencias.uaslp.mx/archivos/premiosDES2009/LICENCIATURA-C.Aplicada-MENDEZ-DELGADO.pdf>> [Octubre de 2013]

- Ruiz, J. Arduino + XBee. Recuperado de http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf> [Octubre de 2013]
 - Digi International. Recuperado de <http://www.digi.com/>> [Octubre de 2013]
 - Arduino. Recuperado de <http://arduino.cc/>> [Octubre de 2013]
 - NetBeans IDE. Recuperado de <https://netbeans.org/>> [Octubre de 2013]
-