



Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

Sistema de control de inventario mediante redes de sensores inalámbricas basadas en comunicación IP

Juan José Echevarria Martínez

Director: Sebastián Dormido

Febrero de 2012

Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

Sistema de control de inventario mediante redes de sensores inalámbricas basadas en comunicación IP

Proyecto específico propuesto por el alumno (Tipo B)

Juan José Echevarria Martínez

Director: Sebastián Dormido



Autorización

Autorizamos a la Universidad Complutense y a la UNED a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a sus autores, tanto la memoria de este Trabajo Fin de Máster, como el código, la documentación y/o el prototipo desarrollado.

Firmado:

Firma del alumno

Resumen

En el ámbito de la trazabilidad y la logística, hasta hace poco tiempo se seguían utilizando sistemas de identificación basados en papel o ya en entornos más actuales etiquetas con código de barras que requerían, en ambos casos, de una lectura por parte de algún operario para identificar el paquete u objeto.

Estos sistemas de identificación no automatizados provocan un mayor coste en mano de obra, así como mayor lentitud en los envíos. A medida que la tecnología fue evolucionando se optó por automatizar estos sistemas, minimizando los errores.

A los objetos se les adhiere un identificador por radiofrecuencia en uno de sus lados. Cuando se mueven dichos objetos, se realiza una lectura para obtener dicho identificador, ya sea de forma manual o a través de un arco de control.

De esta forma, se conoce la empresa a la que pertenece el objeto, lo que transporta y su destino. Una vez obtenida la información, el operario es el encargado de colocar el objeto en la zona que le corresponda para su traslado.

El proveer de un sistema para la lectura automática de identificadores sin necesidad de interacción humana asegura que todos los identificadores sean leídos, evitando posibles olvidos o errores y reduciendo la cantidad de documentación en papel asociada.

Señalar que el proyecto se ha realizado con el soporte hardware y partiendo de una idea generada en colaboración con el grupo Internet1 de DeustoTech, que es un Instituto de Investigación perteneciente a la Universidad de Deusto (Bilbao) y que trabaja en proyectos de investigación en diferentes ámbitos.

Descriptorios

-Control automático

-RFID

-NFC

-Inventariado

-Redes de sensores

-ZigBee

-6LoWPAN

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS Y ALCANCE	9
5. METODOLOGÍA	11
6. DESARROLLO	15
6.1 RFID	16
6.1.1 ID-2/ID-12/ID-20.....	17
6.1.2 Parallax RFID Reader Module.....	17
6.1.3 SM130.....	18
6.2 NFC.....	19
6.2.1 PN532	20
6.2.1.1 Demoboard PN532.....	20
6.2.1.2 Arygon APDB.....	21
6.3 ZIGBEE	22
6.4 6LoWPAN.....	23
6.4.1 Internet of Things.....	30
6.4.2 Kits 6LoWPAN.....	32
6.4.2.1 ATAVRRZRAVEN 2.4 GHz Evaluation and Starter Kit	33
6.4.2.2 Sensinode 2.4GHz Evaluation Kit.....	33
6.4.2.3 JN5139 6LoWPAN Evaluation Kit.....	34
6.4.2.4 MicaZ.....	35
6.5 ESTUDIO DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.....	36
6.5.1 Parámetros de transmisión	38
6.5.2 Propagación y alcance.....	38
6.6 DESARROLLO SISTEMA FINAL	38
6.6.1 Hardware	40
6.6.1.1 Periféricos	41
6.6.1.2 Módulo Jennic (JN5139).....	42
6.6.2 Software	45
6.6.2.1 Módulo Jennic.....	45
6.6.2.2 Programa del servidor	46
7. ANÁLISIS	48
7.1 CONSUMO.....	48
7.2 ALCANCE.....	49
7.3 RENDIMIENTO.....	49
7.4 FLEXIBILIDAD.....	50
7.5 CONCLUSIONES.....	50

8. MANUAL DE USUARIO.....	51
9. PLANIFICACIÓN.....	55
10. PRESUPUESTO.....	57
10.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	57
11. BIBLIOGRAFÍA.....	59
11.1 DOCUMENTACIÓN WEB:.....	59
11.1.1 Artículos, publicaciones y trabajos.....	59
11.1.2 Sitios web.....	60
11.2 LIBROS.....	60
12. GLOSARIO.....	61

Índice de figuras y tablas

Figura 5.1: Proceso cíclico de las fases.....	12
Figura 6.1: Tags RFID	17
Figura 6.2: Lector ID-2.....	17
Figura 6.3: Parallax RFID.....	18
Figura 6.4: SM130.....	19
Figura 6.5: Etiqueta NFC.....	20
Figura 6.6: Kit PN532 de NXP.....	21
Figura 6.7: Módulo NFC APDB de Arygon.....	21
Figura 6.8: Red ZigBee.....	22
Tabla 6.1: Comparativa de las tecnologías inalámbricas para dispositivos más populares.....	23
Figura 6.9: Diagrama de red	25
Figura 6.10: Esquema de red 6LoWPAN	28
Figura 6.11: Capas de 6LoWPAN	28
Tabla 6.2 Tipos de nodo 802.15.4.....	29
Figura 6.12: Topología en estrella	29
Figura 6.13: Topología mesh	30
Figura 6.14: Internet of Things	31
Figura 6.15: Kit ATAVRRZRAVEN 2.4 GHz.....	33
Figura 6.16: kit Sensinode 2.4 GHz.....	33
Figura 6.17: NanoRouter de Sensinode	34
Figura 6.18: Kit 6LoWPAN JN5139	34
Figura 6.19: MicaZ.....	35
Figura 6.22: Ejemplos propagación	37
Figura 6.1: Esquema funcional	39
Figura 6.21: Prototipo.....	40
Figura 6.22: Esquema conexión módulos ID.....	41
Figura 6.23: Módulo NFC	42
Figura 6.24: Placa kit de desarrollo de Jennic	43
Figura 6.25: Módulo Jn5139 y conector del módulo con antena integrada	43
Figura 6.26: Configuración UART	44
Figura 6.27: Cola FIFO circular.....	45
Figura 6.28: Interfaz gráfica	47
Tabla 7.1: Consumos	49
Figura 8.1: Router frontera	51
Figura 8.2: Interfaz gráfica	52
Tabla 10.1: Presupuesto.....	57

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las redes de área personal inalámbricas (WPANs) y dentro de ellas, las basadas en IEEE 802.15.4/ZigBee han demostrado su potencial para la creación de sistemas de monitorización basados en redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks - WSN) en ámbitos tan diversos como entornos industriales, salud, logística, edificios inteligentes, seguridad, entornos medioambientales, agricultura, etc. Las redes de sensores inalámbricas permiten el despliegue de nodos de sensores de reducido tamaño, con una alta eficiencia energética y sin necesidad de cables en lugares e instalaciones donde antes no era posible hacerlo.

Sin embargo, la mayoría de las redes de sensores inalámbricas se basan en tecnologías de red propietarias que para su interconexión necesitan gateways multiprotocolo difíciles de diseñar, gestionar y desplegar, por lo que las redes de sensores actuales requieren de una solución que facilite su interconexión natural con otras redes, especialmente con Internet. La tendencia de investigación que se está explorando actualmente consiste en portar el protocolo IP al mundo de las redes de sensores inalámbricas y de las redes WPAN, al haber demostrado que proporciona una tecnología de la comunicación de larga vida, estable y altamente escalable que soporta una amplia gama de aplicaciones, dispositivos y tecnologías de la comunicación. El grupo de trabajo 6LoWPAN de la IETF es el encargado de definir el estándar que permitirá el uso de IPv6 en redes de sensores inalámbricos y WPAN.

El objetivo principal del proyecto es investigar el diseño de un entorno de identificación inteligente, en el que se dote de comunicación IP a las redes de sensores para inventariar objetos reales mediante portadoras de alta eficiencia energética como las derivadas de IEEE 802.15.4, permitiendo materializar la visión de la "Internet of Things", de forma que se puedan ofrecer a usuarios y empresas servicios avanzados e innovadores.

Para ello se dispondrá de un sistema de identificación que permite la interacción con los objetos que pasan por una cinta o puerta de transporte en cualquier lugar de distribución. Mediante el uso de estas tecnologías inalámbricas que permiten la creación de redes de sensores se permite la transmisión de los datos de inventariado de forma rápida y segura al servidor para su procesado.

Se pretende también evaluar el nuevo desarrollo desde el punto de vista de eficacia de las comunicaciones y de eficiencia energética.

A lo largo de este documento se analizan diferentes aspectos del proyecto, desde antecedentes, justificación y objetivos del mismo, hasta la metodología e implementación de un sistema de identificación y comunicación avanzado que provea un entorno de trabajo seguro, eficaz y rápido.

2. ANTECEDENTES

En el ámbito de la trazabilidad y la logística, las tecnologías para la identificación por radiofrecuencia, como RFID, están cada día más implantadas en todo tipo de sectores.

Antes de utilizar este método de identificación automatizada, toda la gestión del inventario se hacía de forma manual. El operario encargado debía ser capaz de leer la etiqueta impresa en un objeto y buscarla en la hoja de registro para verificar su recepción y comprobar su siguiente destino.

Esto llevaba a errores que se repetían cada cierto tiempo, como pérdida de objetos o el envío de los mismos a un destino equivocado. A medida que la tecnología fue evolucionando se optó por automatizar estos sistemas, minimizando los errores.

RFID es un ejemplo de tecnología reciente y muy efectiva para la captura de datos en forma automática. Esta tecnología utiliza ondas de radiofrecuencia para la identificación de objetos a distancia de proximidad.

A diferencia de uno de los métodos empleados anteriormente como los códigos de barras, el contacto visual no es necesario para obtener una lectura, por lo que las velocidades de lectura son mucho mayores y en muchas ocasiones el factor humano, con sus respectivos errores, no es determinante. Los códigos de barras por ejemplo, usan el sistema del Código Universal de Productos que identifica el código del fabricante y el código de producto del artículo. RFID en cambio, al identificar un artículo permite acceder a una variedad de datos que incluyen al fabricante, información del artículo, qué proveedor lo embarcó, el costo específico asociado con el artículo, su trayectoria para llegar a la tienda, y casi cualquier otro tipo de datos relevantes.

Con RFID es posible realizar lecturas simultáneas de objetos, productos, vehículos o personas, agilizando sustancialmente los procesos de identificación. De la misma forma, mediante esta tecnología es posible leer los datos de las etiquetas integradas en los objetos o productos, aún cuando no existe línea visual entre el producto y el lector de RFID.

Uno de los primeros impulsores del uso de RFID en sustitución de los códigos de barras fue la empresa estadounidense de grandes almacenes Wal-Mart. Esta empresa impulsó enormemente la implantación de esta tecnología cuando se negaron a comprar artículos a

proveedores que no utilizaran estas etiquetas para marcar los palés, y ya más recientemente empieza a añadir una etiqueta RFID a cada artículo individual que vende.

Con estos sistemas el inventariado ha pasado de ser un proceso manual, lento y con ciertos errores repetitivos a ser un sistema automático que permite conocer en cada momento la situación del producto requerido.

Al igual que lo que ocurría con la identificación, los sistemas para la transmisión de esa información han ido evolucionando con el paso de los tiempos. De ser un proceso completamente manual paso a ser un sistema automático al empezar a utilizar sistemas como RFID. Los identificadores se van almacenando en un lector de mano que los operarios utilizan en su labor y más tarde esos datos se descargan en algún servidor ya sea de forma cableada o de forma inalámbrica de corto alcance. El uso de tecnologías de comunicación inalámbrica de un alcance mayor empieza a cobrar una mayor importancia, sobre todo en sectores en los que las distancias a recorrer son mayores, como la descarga de contenedores en los puertos.

3. JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías inalámbricas han supuesto con el paso del tiempo una forma más sencilla de utilizar toda clase de dispositivos que proveen un servicio de comunicación.

Uno de los avances destacables de los últimos tiempos es ZigBee, un protocolo con un transmisor y un receptor que usan bajas potencias para trabajar y que se utiliza en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de las baterías. Es ideal para conexiones con diversos tipos de topología, haciéndolo más seguro, barato y fácil de construir y escalar que otras plataformas.

Así, ZigBee es la tecnología inalámbrica más usada actualmente en aplicaciones de automatización de edificios, hogares e industrias, especialmente para aplicaciones con usos de sensores e identificación.

La tecnología ZigBee utiliza la banda de 2,4 GHz y ofrece un conjunto de especificaciones basadas en el estándar IEEE 802.15.4 para redes inalámbricas de área personal. La tecnología de radio 802.15.4 utilizada por ZigBee permite la comunicación instantánea entre dispositivos cercanos sin necesidad de sincronización de red.

ZigBee también define una solución para crear redes mesh autoconfigurables. La topología de red mesh ayuda a los sensores y a los controladores a establecer redes de comunicación inalámbrica fiables. Estas redes hacen que todos los dispositivos tengan la capacidad de comunicarse unos con otros y actúan como repetidores transfiriendo los datos a otros que pudieran estar fuera del alcance. Además, no requieren de un punto de control central. La red se ajustará automáticamente a los cambios topología de la red, y los nodos se pueden añadir, quitar, sustituir o reubicar sin necesidad de la administración de la red tradicional.

Por otra parte tenemos el protocolo de comunicación IP, de sobra conocido por su uso en Internet, que provee una capacidad de comunicación de larga vida, estable y altamente escalable que soporta una gran gama de aplicaciones, dispositivos y tecnologías de la comunicación.

IP posee muchas ventajas que ayudan a las WPAN, como ser un estándar abierto, flexible, escalable y disponible por todos.

El protocolo IPv6 es una nueva versión de IP que remplazará a la actual versión IPv4, cuyo límite en el número de direcciones de red admisibles está empezando a restringir el crecimiento de Internet. De este modo se consigue expandir el rango de direcciones IP de 32 bits a 128 bits. Asimismo, el tamaño mínimo de la carga útil también es aumentado de 576 a 1280 bytes, y además, se consigue implementar fragmentación en los nodos finales en lugar de implementarlo en los routers intermedios. Como punto negativo respecto a tecnologías como ZigBee cabe comentar que el IPv6 necesitaba más memoria y ancho de banda.

6LoWPAN por tanto se refiere al uso de IPv6 para una red de sensores o una red de área personal de bajo consumo. El protocolo debe poder ejecutarse en sensores de dispositivos pequeños, que funcionan generalmente con baterías que operan en frecuencias de radio reducidas y de bajo consumo energético, en este caso basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Cada nodo en una red de este tipo podría convertirse en otro nodo IP, directamente accesible por otro nodo sensor o por otro nodo en otra IP.

El gran problema a solucionar para el despliegue de forma generalizada de este tipo de tecnologías es el consumo energético de cada nodo o sensor. Al estar ubicados generalmente en zonas no provistas de corriente eléctrica convencional hace que los requerimientos energéticos sean un quebradero de cabeza. Además, el problema es que cada nodo tendrá consumos diferentes, dependiendo de las funciones que realiza en el sistema global. La solución utilizada en este momento, es el uso de baterías o pilas que deben ser reemplazadas cuando se agoten. En los casos más fáciles, si los sensores están cerca de una instalación eléctrica u ordenador, pueden alimentarse de la misma. Cabe destacar como línea futura el empleo de mecanismos de ahorro energético u obtención de la misma aprovechando el entorno o situaciones que generen energía (energy harvesting) para poder dotar al sistema de una mayor autonomía y sostenibilidad.

A pesar de que el uso de ZigBee en este momento está más extendido, sobre todo para redes de sensores, y el hecho de que haya más información y sistemas implementados sobre él, tenemos que tener en cuenta que 6LoWPAN (IPv6 sobre redes WPAN) es Internet en sí, la capacidad de conectarnos a la red más importante sin tener que utilizar complejos gateways o pasarelas, como es el caso de ZigBee, sin mencionar el hecho de ser un protocolo abierto, escalable y gratuito.

A pesar de las complejidades se justifica la necesidad de proveer un protocolo de comunicación para el sistema de identificación mediante RFID para el inventariado más innovador y escalable, y que a su vez nos permita desarrollar implementaciones de valor añadido, la posibilidad de realizar conexiones a Internet a través de la red de sensores (Internet of Things), y que a su vez representen una novedad tecnológica en el ámbito de la trazabilidad.

De la misma forma, es importante dotar de un sistema que permita acceder de alguna forma a la plataforma de identificación para comprobaciones puntuales sobre el estado de la misma o como forma de acceso a la misma en caso de que la red quede inoperativa por alguna razón. NFC (Near Field Communication) ofrece la posibilidad de comunicación bidireccional a corta distancia entre dos módulos, permitiendo interactuar con el sistema sin tener que acceder

a la red ZigBee o 6LoWPAN o al servidor, agilizando de tal forma ciertos trámites que puedan favorecer en un mejor funcionamiento de la plataforma.

4. OBJETIVOS Y ALCANCE

Los objetivos que hay que cumplir, así como su alcance, vienen dados en función de los requisitos que debe cubrir un sistema de identificación con comunicación inalámbrica. Por cada objetivo general que se puede ver a continuación, se ha realizado un pequeño desglose en objetivos más concretos y específicos:

- Crear una plataforma de identificación RFID
 - Estudiar las diferentes alternativas
 - Implementar la lectura de identificadores
- Crear una cola FIFO circular para almacenar los identificadores
 - Implementar cola software
- Desarrollar un sistema de comunicación sobre 6LoWPAN
 - Estudiar las diferentes plataformas existentes
 - Estudiar los campos y tramas 6LoWPAN
 - Implementar el protocolo de comunicación sobre 6LoWPAN
- Implementar un mecanismo de comunicación bidireccional sobre NFC
 - Analizar alternativas y módulos NFC
 - Desarrollar software para comunicación básica bidireccional
- Aplicación cliente
 - Diseño del funcionamiento
 - Comunicación con puertos para recibir y enviar paquetes 6LoWPAN

- Interfaz gráfica para observar el funcionamiento del sistema
- Intentar reducir los costes

5. METODOLOGÍA

En este apartado se desglosa la metodología o tareas que se van realizando del proyecto y cómo se estructuran éstas.

Para el desarrollo del proyecto se ha establecido una secuencia lógica de fases, y dentro de cada una de las fases se establecen las actividades a realizar. En total se divide en seis fases, cada una de ellas con unos objetivos concretos y con unos resultados finales que se obtienen de la correcta realización de la tarea correspondiente; entre estos resultados va a haber algunos con un grado de relevancia mayor que van a ser considerados como hitos en el proyecto. Estos hitos son puntos importantes del proyecto y afectan a la duración del mismo, habrá que tener especial cuidado con ellos para que no prolonguen en exceso el proyecto ya que estos hitos no podrán darse si no se tienen todos los resultados de las fases previas.

Este método propuesto para la realización del proyecto ordena las actividades y los pasos a seguir para la buena construcción del mismo, y está basado de forma aproximada en los objetivos planteados en el capítulo anterior. Es una metodología sencilla de evaluar en revisiones periódicas que se irán haciendo a lo largo del tiempo y es un paso importante para definir una posterior planificación.

Las fases que se describen en esta metodología siguen un proceso evolutivo que es coherente con la planificación del proyecto. Por tanto, las fases están en orden de ejecución temporal, ya que así es más sencillo visualizar de manera esquemática el desarrollo que tiene el proyecto de forma lineal, es decir, la sucesión de fases que conformarán la estructura del proyecto, de esta forma se podrá marcar de forma más precisa y sencilla los hitos o puntos clave del proyecto, que como se ha comentado anteriormente son los elementos o puntos importantes que determinan la duración del proyecto, y por tanto son claves para poder entregar el proyecto en fechas, cualquier variación en el tiempo de ejecución de los hitos aumenta el tiempo estimado para la finalización del proyecto, y por lo tanto aumenta sus costes.

La primera fase del proyecto está asociada al análisis de posibilidades de implementación del sistema, teniendo en cuenta las características y resultados que se quieren obtener con el sistema de identificación y comunicación, así como el diseño teórico, y es en las

fases más avanzadas donde realmente se implementa el sistema en base a los diseños y estudios teóricos previos.

No obstante hay que tener en cuenta que el proceso de implementación será cíclico, y habrá fases en las cuales llevado el modelo teórico a la práctica se observarán fallos o necesidades de depuración de ciertos aspectos técnicos de la solución adoptada. Este proceso cíclico es utilizado siempre en procesos de fabricación o implementación de productos o sistemas para poder realizar mejoras en el sistema final obtenido del proceso de implementación, de esta forma se hace más fácil observar fallos, defectos o mejoras posibles en cualquier parte del proyecto y actuar directamente sobre ellos para hacer más robusto el sistema. Tras este proceso será necesario volver a rediseñar esa parte del proyecto para ajustarla a los cambios necesarios. Por lo tanto, las fases que se verán más adelante en este apartado no son del todo rígidas. En la siguiente figura se muestra de manera gráfica ese proceso cíclico.

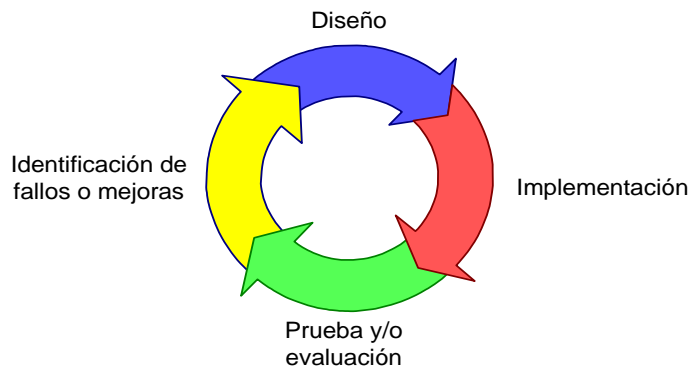


Figura 5.1: Proceso cíclico de las fases

A continuación se muestran las fases de las que consta la implementación del proyecto, diferenciando entre los objetivos que buscamos con dichas fases y los resultados obtenidos de ellas:

Fase 1: Estudios preliminares:

- **Objetivo:** Realizar los estudios pertinentes con el fin de conseguir un sistema lo más eficiente posible.
- **Resultados:** se enumeran a continuación los resultados que se obtienen de esta primera fase.
 - Estudio sobre los módulos 6LoWPAN posibles a implementar, y las codificaciones que utilizan.

- Estudio sobre los módulos RFID existentes.
- Estudio sobre los parámetros del entorno que afectan al sistema de comunicaciones por radiofrecuencia, tales como obstáculos, distancia, etc.
- Estudio sobre el funcionamiento y módulos existentes de NFC.

Fase 2: RFID:

- **Objetivo:** Decidir el módulo RFID a utilizar y montar y desarrollar el hardware y software necesario para su correcto funcionamiento.
- **Resultados:** Programa que permita realizar lecturas de identificadores RFID y almacenarlos en la cola FIFO circular.

Fase 3: Sistema de comunicación 6LoWPAN:

- **Objetivo:** Familiarizarse, adaptarse y asimilar el funcionamiento y el entorno de desarrollo del módulo 6LoWPAN elegido.
- **Resultados:** El resultado de esta fase es la experiencia adquirida sobre la comunicación inalámbrica sobre IP, así como el desarrollo software que permita comunicación bidireccional entre módulos.
- **HITO 1:** Desarrollo sistema 6LoWPAN.

Fase 4: NFC:

- **Objetivo:** Realizar una serie de pruebas y desarrollos preliminares que son necesarias para conocer el funcionamiento de los módulos NFC seleccionados.
- **Resultados:** Programa que permita establecer, realizar y cerrar comunicaciones bidireccionales entre módulos NFC.

Fase 5: Implementación sistema final:

- **Objetivo:** Gracias al trabajo realizado en las fases anteriores, tanto de estudio como de pruebas y selección de la tecnología a desarrollar se procede a la implementación final del sistema.

- **Resultados:** De esta fase se obtiene una plataforma con las tecnologías y módulos analizados y desarrollados en las fases anteriores. Se trata de una beta del sistema final, a falta de las pruebas para poder observar el funcionamiento de la plataforma de identificación y determinar si cumple con las características requeridas o necesita de depuración.

Fase 6: Pruebas funcionales:

- **Objetivo:** Hacer las pruebas piloto del sistema analizando y estudiando los resultados para detectar posibles fallos o mejoras susceptibles de implementación:
 - Comprobar que el funcionamiento cumple los requisitos mínimos.
 - A ser posible realizar las pruebas de tal forma que imiten lo máximo posible la situación final.
- **Resultados:** Mediante las pruebas a las que se verá sometido el sistema, se podrán depurar los posibles fallos que se vayan encontrando. El resultado final será una plataforma lista para integrar en cualquier punto de una cadena de distribución o logística con fines de agilizar y monitorizar el inventariado de productos.

No obstante durante el proceso de depuración habrá que hacer iteraciones mediante el proceso cíclico explicado anteriormente todas las veces que haga falta hasta obtener el funcionamiento deseado.

- **HITO 2:** Sistema definitivo con las pruebas realizadas. Este hito es el último paso para la finalización del proyecto y el más determinante.

6. DESARROLLO

Antes de empezar a realizar la evaluación del sistema desarrollado es importante explicar la motivación del proyecto, y saber qué se quería conseguir en un primer momento.

El objetivo principal del proyecto es investigar el diseño de un entorno inteligente en áreas de logística e inventariado, en el que se dote de comunicación IP a los objetos reales mediante portadoras de alta eficiencia energética como las derivadas de IEEE 802.15.4 permitiendo materializar la visión de la “Internet of Things”, con el fin de identificar y monitorizar objetos para agilizar los procesos consecutivos.

Lo que se quiere es crear un sistema de comunicación avanzado que provea un entorno de trabajo seguro, eficaz y rápido de forma que se pueda ofrecer a usuarios y empresas logísticas servicios avanzados e innovadores.

Para poder realizar el análisis del proyecto se debe crear un entorno de trabajo o escenario de uso para su implementación, en este caso se ha optado por desarrollar un sistema de comunicación en el que tendremos a grandes rasgos una plataforma con un lector RFID para realizar lecturas de los identificadores de los objetos, un módulo NFC para permitir pequeñas interacciones entre la plataforma y los operarios sin tener que tener acceso a la red inalámbrica, agilizando una posible respuesta en caso de encontrar algún problema, nodos de comunicación para crear una red de comunicación inalámbrica y un servidor que será el encargado de procesar la información.

Es importante antes de empezar con el desarrollo analizar los diferentes módulos o sistemas disponibles para las distintas tecnologías que se usarán en la plataforma, con el fin de elegir las más apropiadas en cada caso.

6.1 RFID

RFID se basa en un sistema de almacenamiento y recuperación de datos mediante radiofrecuencia usado principalmente para trazabilidad de productos y bienes. Las etiquetas pueden ser pasivas, semipasivas o activas.

- Pasivas: no tienen alimentación. Los lectores inducen una pequeña corriente eléctrica que resulta suficiente para operar el sistema, de forma que se pueda generar y transmitir una respuesta. La frecuencia y potencia de la respuesta vienen definidas en función de la onda recibida.
- Semipasivas: disponen de una batería que alimenta el microchip, pero no sirve para generar la frecuencia de emisión. La batería se usa para aumentar las propiedades y las características de la señal recibida.
- Activas: utilizan una batería tanto para el microchip como para la transmisión de señal. La onda recibida sólo sirve como señal para enviar la respuesta, a una frecuencia y potencia predeterminadas.

Los elementos que pueden formar un sistema RFID son los siguientes:

- Lector RFID: está compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. Su función es extraer la información de la etiqueta. En ocasiones puede ser también grabador, y en tal caso, siempre que la etiqueta también sea grabable, podrá escribir en ella además de leerla.
- Grabador RFID: escribe en etiquetas grabables información o un nuevo identificador.
- Etiqueta RFID: se trata de un elemento formado por una microantena y un microchip, y todo ello protegido por una cubierta. Las frecuencias de funcionamiento son: 125 kHz (baja frecuencia), a 13.56 MHz (alta frecuencia) o a UHF. En el caso de ser activa o semipasiva se le añade una batería. Existen varios tipos de etiquetas:
 - Sólo lectura: identificador único asociado en la fabricación.
 - Lectura y escritura: identificador puede ser modificado.
 - Anticolisión: permite al lector capturar varias etiquetas.
- Forma: la etiqueta RFID se puede encapsular en diferentes formatos dependiendo del uso y las condiciones ambiente que deban soportar.

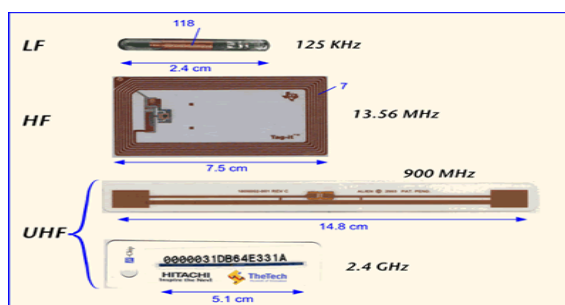


Figura 6.1: Tags RFID

Las etiquetas RFID más utilizadas en ámbitos generales son las pasivas de 125 kHz, debido al precio más barato de los lectores, comparado con el resto de frecuencias, y al hecho de que al ser pasivas no necesitan batería, maximizando la vida útil del sistema y minimizando costes. Proveen un rango de lectura de unos 6-10cm. Algunos de los módulos de baja frecuencia disponibles en el mercado se presentan a continuación.

6.1.1 ID-2/ID-12/ID-20

El ID-12 es un módulo de sólo lectura de RFID de la compañía ID-Innovations. Algunas de sus especificaciones son:

- 125 kHz
- Antena integrada
- Rango lectura de 12 cm con tarjetas ISO
- Dimensiones 26mm x 25mm x 7mm
- Codificación Manchester 64 bits
- Necesita 5 Voltios para funcionar y consume en lectura unos 30 mA

Su salida en forma de pines favorece su inclusión en circuitos integrados o placas para prototipado, pero hay que tener en cuenta que el paso entre pines es de 2 mm y no 2.54 mm, que es lo más normal.

Su precio (unos 22€) y su facilidad de uso (se conecta a 9600 bps, sin paridad y 1 bit de stop a través de una conexión UART) hacen de este módulo un sistema eficaz y sencillo para leer etiquetas RFID.



Figura 6.2: Lector ID-2

6.1.2 Parallax RFID Reader Module

Este lector de RFID de Parallax es capaz de leer etiquetas pasivas de 125 kHz. Sus características son:

- Método de lectura de bajo coste; consume unos 20 mA por lectura
- Comunicación serie a 2400 bps (8N1)
- Funciona de 4.5 a 5.5 V
- El módulo puede habilitarse/deshabilitarse mediante software
- Dimensiones: 62.2mm x 82.5mm x 5.57mm
- Rango lectura de hasta 15cm con tarjetas ISO
- Antena PCB incluida

Este módulo tiene un precio algo superior al anterior (25€) y algo más de rango de lectura, pero sus dimensiones bastante más grandes lo hacen un poco difícil de integrar en un sistema que pretende ser lo más sencillo y pequeño posible.



Figura 6.3: Parallax RFID

6.1.3 SM130

Este módulo de Sonmicro tiene las siguientes características:

- Capacidad de lectura/escritura
- Antena no incluida
- Soporta tarjetas ISO 14443^a
- Conexión a través de UART hasta 115200 bps
- Conexión a través de I2C hasta 400 KHz
- Comunicación encriptada
- Alimentación a 5V
- Frecuencia de funcionamiento: 13.56 MHz
- Dimensiones: 37.6mm x 30.6mm x 8mm

Este módulo tiene un precio de 25€ y que el paso de sus pines sea 2.54 mm favorece su inserción en circuitos o placas, pero al ser su frecuencia de funcionamiento de 13.56 MHz las etiquetas RFID son de mayor precio.



Figura 6.4: SM130

6.2 NFC

NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica de alta frecuencia y de corto alcance que permite el intercambio de datos entre dos dispositivos a una distancia de hasta 10 cm. El protocolo establece conexión inalámbrica entre las aplicaciones de la red y los dispositivos electrónicos. Trabaja en la banda de los 13.56 MHz, esto provoca que no se aplique ninguna restricción y no requiera ninguna licencia para su uso. En este protocolo siempre hay un dispositivo que inicia la conversación y es este el que monitorizará la misma, este rol es intercambiable entre las dos partes implicadas.

Existen dos estándares sobre dispositivos NFC denominados NFCIP (Near Field Communication Interface and Protocol). El estándar NFCIP-1, de 2002, especifica la frecuencia de trabajo en 13.56 MHz y diferentes modos de funcionamiento y operación que los dispositivos del estándar deben soportar, además el protocolo puede funcionar a velocidades de 106, 212 y 424 kbit/s y según el entorno en el que se trabaje las dos partes pueden ponerse de acuerdo de a qué velocidad trabajar y reajustar el parámetro en cualquier momento de la comunicación. El estándar NFCIP-2 especifica el mecanismo para detectar y seleccionar el mejor modo de operación posible.

Modos de funcionamiento:

- Activo: ambos dispositivos generan su campo electromagnético que utilizan para el envío de información.
- Pasivo: sólo una crea el campo y el otro utiliza ese campo para el envío de datos.

Modos de operación o casos de uso:

- Lectura/escritura: permite a las aplicaciones transferencia de datos, como lectura de etiquetas pasivas RFID. Transferencia no segura.
- Emulación tarjeta NFC: permite al dispositivo NFC funcionar como una tarjeta inteligente. Transferencia segura.
- Peer-to-peer (P2P): comunicación entre dispositivos (entre pares).

La tecnología NFC es compatible con el estándar ISO/IEC 14443 por lo que también funciona con RFID, aunque su uso está más extendido en teléfonos móviles.

Tipos de etiquetas NFC:

- Tipo 1: basado en estándar ISO14443A, se pueden leer y re-escribir y configurables a sólo lectura. Memoria de 96 bytes, suficiente para almacenar una URL, hasta 2kB y velocidad de comunicación de 106 kbit/s. Simple y barata.
- Tipo 2: basado en estándar ISO14443A, se pueden leer y re-escribir y configurables a sólo lectura. Memoria de 48 bytes hasta 2kB expandida y velocidad de 106 kbit/s.
- Tipo 3: basado en el sistema Sony FeliCa. Tiene 2kB de memoria y una velocidad de 212 kbit/s. Más complejo y caro.
- Tipo 4: basado en estándar ISO14443A y B, vienen pre-configuradas de fábrica para leer y re-escribir o sólo lectura. Tiene 32kB de memoria y una velocidad de entre 106 y 424 kbit/s.



Figura 6.5: Etiqueta NFC

Las etiquetas NFC son dispositivos pasivos que pueden ser usados para almacenar pequeñas cantidades de datos, generalmente URLs donde encontrar el resto de la información, y después comunicársela a los dispositivos NFC activos (lectores y grabadores) en formato ya definido NDEF (NFC Data Exchange Format) con la energía inducida por éstos últimos.

Un sistema con lectores NFC permite no sólo leer etiquetas si no establecer comunicaciones entre dispositivos permitiendo un uso más amplio que la identificación que provee RFID. Aún con esas ventajas, presenta también ciertos inconvenientes que pueden ser decisivos a la hora de elegir una tecnología de comunicación/identificación a corta distancia, como un mayor precio, mayor complejidad de desarrollo y de despliegue y la necesidad de baterías si se necesita una comunicación bidireccional.

6.2.1 PN532

La mayoría de módulos o dispositivos NFC disponibles en el mercado están basados en el circuito integrado PN532 de NXP. De entre los módulos disponibles se analizan a continuación dos de ellos.

6.2.1.1 Demoboard PN532

Este kit de desarrollo distribuido por NXP consta de dos módulos NFC con antena integrada, tarjetas de 13.56 MHz para pruebas y un cable USB.

Una vez conectado el módulo al ordenador mediante al cable USB, y tras instalar un programa para realizar pruebas, se pueden testear los diferentes comandos del módulo incluido la comunicación entre pares de NFC. Si se quieren desarrollar programas software para controlar el módulo se deberá utilizar alguna librería tipo libusb que permita interactuar a través de USB.

El alcance del módulo de mayor tamaño (mayor antena) es de unos 7 cm y el precio del kit completo es de unos 200€.



Figura 6.6: Kit PN532 de NXP

6.2.1.2 Arygon APDB

Este módulo con antena integrada de Arygon está pensado para ser integrado en cualquier sistema embebido. Se alimenta a 3.3 V, se conecta de forma serie (conexión UART) hasta 115200 bps (8N1) y permite el uso de todas las funcionalidades de un sistema NFC.

Es importante saber que el módulo no está operativo hasta recibir un comando inicial que lo active, por lo tanto antes de enviar cualquier comando se debe iniciar el módulo mediante el comando definido en el documento distribuido por Arygon.

El alcance de este módulo es de unos 3 cm y su precio es de unos 30€ Su menor tamaño (59x32x2 mm) y la capacidad de conectarlo mediante UART a cualquier microcontrolador lo hace perfecto para su utilización en el sistema.

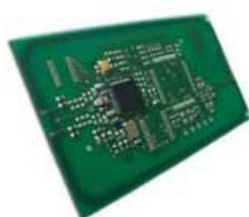


Figura 6.7: Módulo NFC APDB de Arygon

6.3 ZIGBEE

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802-15.4 de red de área personal inalámbrica (WPAN) y está principalmente impulsada por la ZigBee Alliance. La principal característica de ZigBee es que ha sido especialmente diseñada para utilizar una tecnología muy simple, con gran facilidad de uso y mínimo consumo de energía. Así, mientras otras tecnologías como Bluetooth han sido diseñadas para la comunicación entre dispositivos de gran volumen de datos, ZigBee es especialmente idónea para numerosas aplicaciones como la monitorización de sensores o interruptores inalámbricos, caracterizados por manejar un bajo volumen de datos.

ZigBee hace uso de distintas bandas. A nivel global emplea la banda de 2,4 GHz, a la que añade, en Europa, la de 868 MHz y en América la de 915 MHz, todas ellas bandas de uso común que no requieren licencia, requisito acorde con la simplicidad del sistema. ZigBee alcanza coberturas de 10 a 200 metros (según sea dentro o fuera de un edificio) en la banda de 2,4 GHz, y hasta 30-1000 metros en las otras bandas. Las velocidades de transmisión que alcanza también varían según la banda, siendo de 250 Kbps, 40 Kbps y 20 Kbps para las bandas de 2,4 GHz, 915 MHz y 868 MHz respectivamente.

Una de las grandes características de ZigBee es su eficiencia en el uso de la energía, basada por una parte en la simplicidad de su protocolo y, además, en que sólo activa los dispositivos cuando se actúa sobre los datos. ZigBee incluye además mecanismos de encriptación, está optimizado para aplicaciones con baja tolerancia de la latencia y utiliza una estructura de red mallada que evita la necesidad de comunicación directa entre cada nodo y el receptor.

Las principales aplicaciones para ZigBee se dan en la monitorización y control de sensores, en el control de flotas y en domótica.

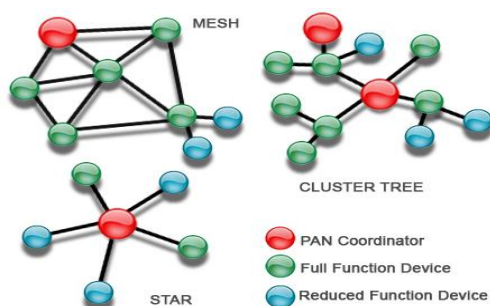


Figura 6.8: Red ZigBee

En resumen, la principal ventaja de ZigBee radica en su bajo consumo y fácil despliegue, permitiendo crear una red que conecte todos los dispositivos del sistema dentro del rango permitido. En el caso de estar fuera del rango de funcionamiento el dispositivo estará sin red. En el momento de entrar en el rango de esa red, el dispositivo comprobará sus parámetros con los de la red para comprobar que pertenece a ese enlace. Si pertenece el dispositivo entrará a formar parte de esa red como un nuevo nodo en su topología.

A pesar de estas ventajas hay que tener en cuenta su baja capacidad de transmisión, provocando cuellos de botella y problemas de comunicación si los datos a transmitir son muchos y continuos.

6.4 6LOWPAN

Las redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks) dentro de las WPANs representan un avance significativo y una alternativa sobre los métodos de monitorización tradicionales. El desarrollo de estas tecnologías ha venido de la mano de nuevos estándares inalámbricos de comunicación, que han permitido la aparición de nuevos paradigmas como la computación ubicua. Dentro de este nuevo escenario, minúsculos sensores monitorizan el medio continuamente y reportan su información a los nodos próximos y a una estación base central, formando una topología en malla (mesh). Los requerimientos de estos sistemas están encaminados a situaciones donde no es necesario un gran ancho de banda, pero el posicionamiento de los nodos restringe su consumo de potencia, ya que muchas veces deberán estar alimentados por baterías.

Estándar	Ancho de Banda	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones
WiFi	Hasta 54Mbps	400mA transmitiendo, 20mA en reposo	Gran ancho de banda	Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros
Bluetooth	1Mbps	40mA transmitiendo, 0,2mA en reposo	Interoperatividad, sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática casera
Zigbee/6LoWPAN	250kbps	30mA transmitiendo, 3µA en reposo	Batería de larga duración, bajo coste	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores, juguetería

Tabla 6.1: Comparativa de las tecnologías inalámbricas para dispositivos más populares

Los estándares inalámbricos más extendidos hoy en día son IEEE 802.15.4/ZigBee, Bluetooth o IEEE 802.11. Cada uno de ellos nació con un objetivo distinto y por lo tanto tiene un rango de aplicación y unas características diferentes. En los estándares recogidos bajo la norma 802.11 se busca la interconexión de computadores con unas necesidades de ancho de banda elevadas de hasta 54Mbps para el 802.11g. El caso de Bluetooth está orientado hacia la implementación de redes inalámbricas de dispositivos periféricos con un ancho de banda menor, de hasta 1 Mbps. El problema que tienen estos dos estándares para convertirse en una tecnología usable a nivel de redes de sensores es la complejidad del protocolo y la rigidez de la

topología de la red, así como el alto consumo de potencia de los transmisores. Por su parte el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee está encaminado hacia el desarrollo de redes inalámbricas de baja velocidad, bajo coste y bajo consumo de potencia (LR-WPAN). Este estándar está orientado a aplicaciones donde la velocidad de transferencia no es muy alta, pero permite que los nodos de la red puedan ser alimentados mediante baterías y puedan funcionar sin ser recargados durante años. Es por lo tanto el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee el que actualmente mejor se adapta a los requisitos impuestos para el desarrollo de redes de sensores inalámbricas.

La tecnología ZigBee utiliza la banda de 2,4 GHz y ofrece un conjunto de especificaciones basadas en el estándar IEEE 802.15.4 para redes inalámbricas de área personal. La tecnología de radio 802.15.4 utilizada por ZigBee permite la comunicación instantánea entre dispositivos cercanos sin necesidad de sincronización de red como en el caso de Bluetooth y WiFi.

ZigBee define la solución para crear redes mesh autoconfigurables. La red mesh ayuda a los sensores y a los controladores a establecer redes de comunicación inalámbrica fiable. Estas redes hacen que todos los dispositivos tengan la capacidad de "hablar entre sí", y actúan como repetidores transfiriendo los datos a otros que pudieran estar fuera del alcance. Además, no requieren de un punto de control central, la red se ajustará automáticamente a los cambios de topología de la red. Los nodos se pueden añadir, quitar, sustituir o reubicar sin necesidad de la administración de la red tradicional.

El impulso de ZigBee como estándar es claramente creciente gracias al apoyo de ZigBee Alliance, que publicó el 'ZigBee Smart Energy public application profile' en enero de 2008. La ZigBee Alliance es un grupo internacional de compañías que trabajan conjuntamente para permitir la supervisión y el control de los productos fiable, rentable, de baja potencia, sin necesidad de cables de red y basado en un estándar mundial abierto. Los miembros comprenden proveedores de tecnología y fabricantes de todo el mundo. Estos miembros siguen creciendo como líderes en tecnología y fabricantes de equipos originales (OEM) e integran la tecnología en una amplia gama de productos.

Las características más relevantes de las redes de sensores inalámbricas basadas en IEEE 802.15.4 son:

- La reducción de los costes del ciclo de vida. El coste del cableado es el único incentivo suficiente para muchos propietarios para adoptar sistemas de control inalámbrico, ya que las instalaciones inalámbricas se pueden hacer en cualquier lugar, en cualquier momento, además del ahorro del 20% al 80% del coste de la instalación del cableado. Además, las redes inalámbricas siguen generando ahorros a lo largo de su ciclo de vida porque son muy fáciles de mantener, mover o sustituir.
- Flexibilidad. Libre de cableado y de los problemas y costos asociados, los propietarios de edificios pueden colocar controles inalámbricos prácticamente en cualquier lugar con lo que el tiempo de despliegue se reduce drásticamente.

- Autoconfigurable. La red se adapta a cualquier cambio que se produzca en la misma, sin necesidad de un administrador del sistema.
- Autorreparable. Si un dispositivo pierde el contacto con un vecino, simplemente contacta con otro. Esto hace que este tipo de redes sean muy fiables.
- Mantenimiento simplificado. Las redes inalámbricas son más fáciles de mantener. El personal de mantenimiento puede utilizar un portátil para comunicarse y realizar diagnósticos, sin cables. Esta es una ventaja significativa en los casos en que los controladores se encuentran en lugares difíciles de acceder.
- Interoperabilidad. Poseen la capacidad de comunicación con los actuales sistemas de cable que están presentes en 90 a 95 por ciento de los edificios.

Pero las redes de sensores inalámbricas se encuentran en el mismo estado que las redes de ordenadores hace dos décadas: islas de redes con su propio protocolo interconectadas por complejos gateways multiprotocolo difíciles de diseñar y gestionar. Algunas de las redes de sensores se basan en tecnologías de red propietarias, mientras que otras se construyen entorno a estándares abiertos. La solución estandarizada que se optó para las redes de computadores, es decir, que todos operen sobre arquitecturas basadas en IP, debería ser el siguiente paso en la evolución de las redes de sensores, si se quieren que sean ampliamente adoptadas por los usuarios. Éstos demandan cada vez más soluciones basadas en normas estandarizadas, porque son mucho más fáciles de escalar, ofrecen seguridad y ofrecen la mayor flexibilidad en el mantenimiento y la gestión.

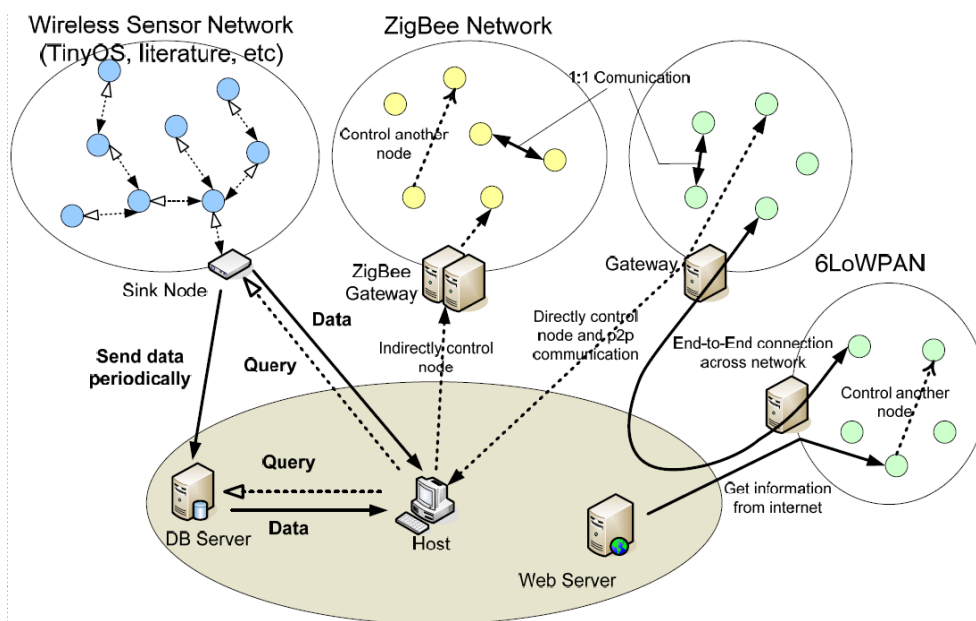


Figura 6.9: Diagrama de red

La solución por la que se ha optado ha sido uso de IP como estándar de comunicación, al haber demostrado que proporciona una tecnología de la comunicación de larga vida, estable y altamente escalable que soporta una amplia gama de aplicaciones, dispositivos y tecnologías de la comunicación.

Las múltiples ventajas que IP puede proporcionar a las WPAN son:

- IP es un estándar abierto. El Internet Engineering Task Force (IETF) es una organización reconocida por la ISO encargada de la estandarización del protocolo IP. La IETF se formó en 1986 y está organizado en grupos de trabajo, cada uno con una temática y una serie de hitos específicos. Dos de estos grupos de trabajo se centran en el uso del protocolo IP en redes de sensores: 6LoWPAN and ROLL (este último, se ocupa del enrutamiento sobre redes de baja potencia).
- IP es flexible. IP se utiliza en todo el mundo para un amplio conjunto de aplicaciones. Ofrece una arquitectura flexible de capas que permite evolucionar soluciones y aplicaciones. IP está soportado por prácticamente todos los dispositivos modernos, desde servidores alta gama, teléfonos móviles hasta dispositivos embebidos de bajo costo.
- IP está en todas partes. IP está disponible en la mayoría, si no todos, los sistemas operativos para computadoras de uso general y servidores.
- IP es escalable. Con Internet, IP ha demostrado ser inherentemente escalable. Ninguna otra tecnología de red ha sido desplegada y probada en esa inmensa escala y con un número tan grande de dispositivos.
- IP es manejable. La gestión en redes IP se hace con un conjunto de protocolos y mecanismos estandarizados.
- IP es End-to-End. IP dispone de comunicación extremo a extremo entre dispositivos, sin necesidad de traducción de protocolos mediante pasarelas. Los gateways suelen ser complejos para diseñar, administrar e implementar. Con el éxito mundial de Internet, la arquitectura extremo a extremo de IP ha demostrado ser escalable, estable y eficiente.

El estándar 802.15.4 define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal de bajo consumo. Las capacidades de este estándar son más limitadas que WPAN y WLAN ya que para minimizar el consumo poseen tramas de pequeña longitud, poco ancho de banda y baja potencia de transmisión. Con 6LoWPAN se consiguen tasas de transferencia de 250kbps con un alcance de hasta 10 metros.

Debido a que los microcontroladores utilizados en los nodos 6LoWPAN poseen limitaciones en memoria y en la capacidad de cómputo, muchos desarrolladores de aplicaciones 6LoWPAN se decantaron a utilizar protocolos propietarios como ZigBee, ya que el protocolo IPv6 necesitaba demasiada memoria y ancho de banda.

El protocolo IPv6 es una nueva versión de IP (Internet Protocol) que reemplazará a la actual versión IPv4, cuyo límite en el número de direcciones de red admisibles está empezando a restringir el crecimiento de Internet. De este modo, se consiguen expandir el rango de direcciones IP de 32 bits a 128 bits. Asimismo, el tamaño mínimo de la MTU también es aumentado de 576 a 1280 bytes, y además, se consigue implementar fragmentación en los nodos finales en lugar de implementarlo en los routers intermedios.

El IETF (Internet Engineering Task Force) ha definido, recientemente, un grupo de trabajo conocido como 6LoWPAN, cuyo acrónimo hace referencia al uso de IPv6 para una red de sensores o una red de área personal de bajo consumo. Su reto es implementar IPv6 de manera que el protocolo pueda ejecutarse en sensores de dispositivos pequeños, que funcionan generalmente con baterías que operan en frecuencias de radio reducidas y de bajo consumo energético, en este caso basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Cada nodo en una red de este tipo podría convertirse en otro nodo IP, directamente accesible por otro nodo sensor o por otro nodo en otra IP.

De este modo se consigue relacionar el uso de la tecnología 802.15.4, conocido como ZigBee, con la tecnología IP de un modo relativamente sencillo. Entre sus objetivos se encuentra la adaptación de IP a los formatos de paquete y la interoperabilidad, la gestión de direcciones y de la red, el encaminamiento mediante topologías adaptables dinámicamente, la seguridad, el descubrimiento de dispositivos y otras consideraciones en cuanto a la implementación.

Teniendo en cuenta que una de las principales razones para usar 6LoWPAN aparece con la necesidad de un espacio de direccionamiento grande, esto significa que se puede realizar una red con un gran número de nodos, generalmente siguiendo una topología mesh. El hecho de seguir este tipo de topología suele implicar un encaminamiento multisalto, pero hay que prestar atención al tamaño del paquete y por lo tanto se debe minimizar el overhead en el encaminamiento, además de los requerimientos de memoria y procesado. En el esquema ofrecido por Jennic en el documento "Product Brief – 6LoWPAN Network Protocol Stack", el cual se muestra a continuación, se puede apreciar como quedaría implementado aproximadamente un sistema final.

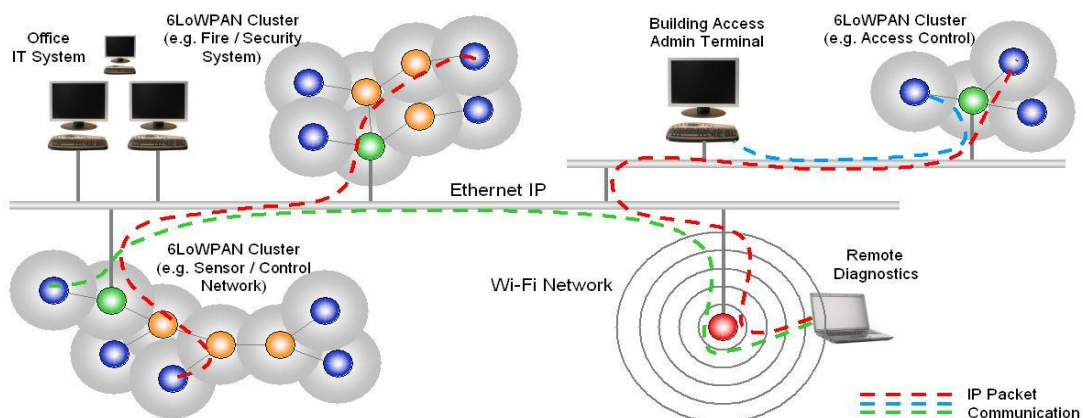


Figura 6.10: Esquema de red 6LoWPAN

A la hora de aplicar el protocolo IP a las WSN, los datagramas de IPv6 no son una partición natural para 6LoWPAN lo que implica una necesidad de fragmentación y compresión de estos datagramas. Para ello 6LoWPAN posee una capa de adaptación entre las capas de enlace y de red consiguiendo comprimir los paquetes del protocolo IPv6 para su utilización en redes inalámbricas de área personal de bajo consumo.

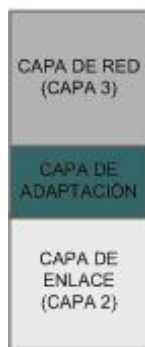


Figura 6.11: Capas de 6LoWPAN

La capa de adaptación proporciona:

- Compresión de la cabecera IPv6, para reducir la sobrecarga en transmisión.
- Fragmentación para soportar el requisito mínimo de las MTU de IPv6.
- Soporte para la capa 2 para poder enviar un datagrama IPv6 a través de varios nodos, mediante múltiples saltos (reenvío de paquetes de un nodo a otro).

Para la compresión de la cabecera en el protocolo IPv6, cuya longitud de la cabecera estándar es de 40 bytes es reducida para no ocupar tanto espacio en los paquetes de 802.15.4 que poseen una longitud de 127 bytes.

La compresión es sin estado, lo que significa que no crea un estado de conexión entre el compresor y el descompresor. La conexión sin estado permite a la red varios puntos de entrada y salida, mientras que una conexión con estado es susceptible de un único punto de fallo. Como consecuencia de esta compresión sin estado, los nodos inalámbricos necesitan menos memoria RAM y ROM que con protocolos con conexión como ZigBee.

La fragmentación se utiliza cuando la carga útil de una trama IPv6 no cabe en una única trama 802.15.4. En este caso esta carga útil se dividirá en varias tramas 802.15.4.

Hay tres tipos de nodos diferentes en una red 6LoWPAN:

- Nodo Coordinador.
- Nodo Router.

- Nodo Final.

Tipo de Nodo	Rol
Coordinador	Este un nodo esencial y tiene como función: -Selecciona el canal a utilizar en la red. -Es el nodo principal de la red. -Permite a los nodos conectarse a él.
Router	-Retransmite mensajes de un nodo a otro. -Permite a otros nodos conectarse a él. -Pueden actuar como nodos Finales. Un nodo Router ha de estar activo en todo momento y no entrar en el modo sleep.
Final	-Recibe y envía mensajes. -No permite a otros nodos conectarse a él. -Para aumentar la duración de las baterías puede entrar en modo sleep si no trasmite ni recibe mensajes.

Tabla 6.2 Tipos de nodo 802.15.4

En el caso de realizar una red en estrella, necesitaríamos un nodo coordinador al que se conectasen los nodos finales, tal y como se muestra en la siguiente figura. Los nodos finales sólo pueden comunicarse entre ellos.

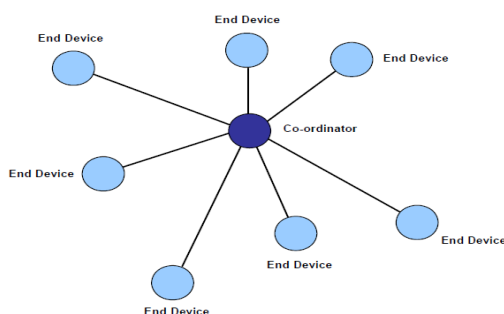


Figura 6.12: Topología en estrella

Como consecuencia de la escasa cobertura de los nodos 802.15.4 se implementan topologías mesh o de árbol para conseguir cubrir áreas extensas con diferentes nodos.

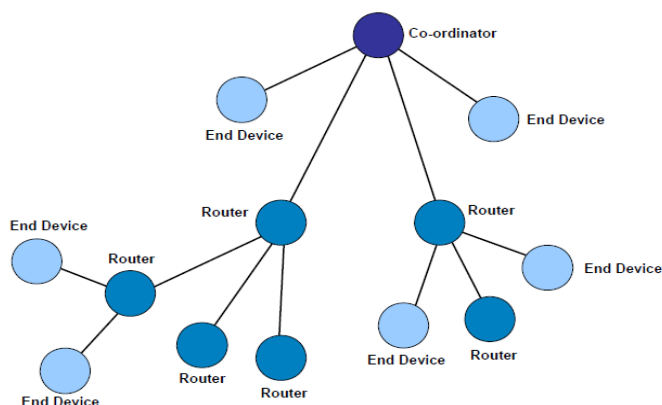


Figura 6.13: Topología mesh

Estas topologías poseen un nodo coordinador central al que se pueden conectar tanto los nodos finales como los nodos router. A su vez los nodos router pueden estar conectados a otros nodos router o a nodos finales. Los nodos solo podrán comunicarse directamente con sus hijos o padres, y para comunicarse con otros nodos se utilizarán los nodos router y/o el nodo Coordinador.

A diferencia con sistemas ZigBee, 6LoWPAN permite comunicación a través de Internet sin la necesidad de implementar costosas pasarelas, como por ejemplo de ZigBee a IP, facilitando el acceso y control a redes distantes. Las redes 6LoWPAN se conectarán a través de un router frontera, normalmente el nodo coordinador, con el resto de redes.

En cuanto a la seguridad, cabe decir que el estándar 802.15.4 del IEEE proporciona seguridad a nivel de enlace mediante AES (Advanced Encryption Standard). Debido a la naturaleza de los dispositivos, deberían descartarse soluciones que impliquen un excesivo ancho de banda o nivel de cálculo.

Resumiendo, 6LoWPAN es una tecnología emergente, puesto que todavía se está definiendo, que debido a sus beneficios se espera que sea adoptada ampliamente por los fabricantes, lo que permitirá dotar de comunicaciones IP a los dispositivos facilitando la creación de nuevos servicios orientados a la Internet del Futuro.

6.4.1 Internet of Things

En las últimas tres décadas, Internet ha cambiado de ser una red primitiva para científicos y militares a centro mundial de la información y la comunicación, impregnando todas las esferas de la vida pública y privada.

Internet ha soportado las nuevas necesidades sin cambiar su arquitectura, por lo que no es de extrañar que haya surgido la necesidad de revisar la arquitectura de Internet para hacer frente a sus problemas actuales y hacer que sea viable en el futuro. Éste es el objetivo perseguido por la Internet del Futuro.

La Internet del Futuro explorará la siguiente evolución de Internet en varios ejes, uno de los cuales es precisamente la Internet de las Cosas (Internet of Things). El concepto de Internet de las Cosas hace referencia a la conexión sin fisuras de dispositivos, sensores, objetos, habitaciones, máquinas, vehículos, etc., a través de redes fijas o inalámbricas. Los sensores, dispositivos y etiquetas tienen una interacción con el entorno y envían información a otros objetos gracias a la comunicación de máquina a máquina.

La visión tradicional de una Internet repleta de información a la que cualquier persona puede acceder, ha sido sustituida por una nueva visión en la que cualquier objeto conectado es capaz de generar información y difundirla por la red, a la vez que es capaz de consumir la información proporcionada por otros objetos. Como consecuencia de todo lo anterior, las relaciones M2M que se van a producir en este contexto plantea nuevos modelos de comunicación, no sólo entre los propios dispositivos, sino entre éstos y las propias personas.

Gracias a los últimos avances en el mundo de las tecnologías de la información y comunicación, se ha creado una nueva dimensión que algunos autores definen de la siguiente forma: “en cualquier momento y en cualquier lugar, que cualquier persona tenga la capacidad de conectarse con cualquier cosa”.

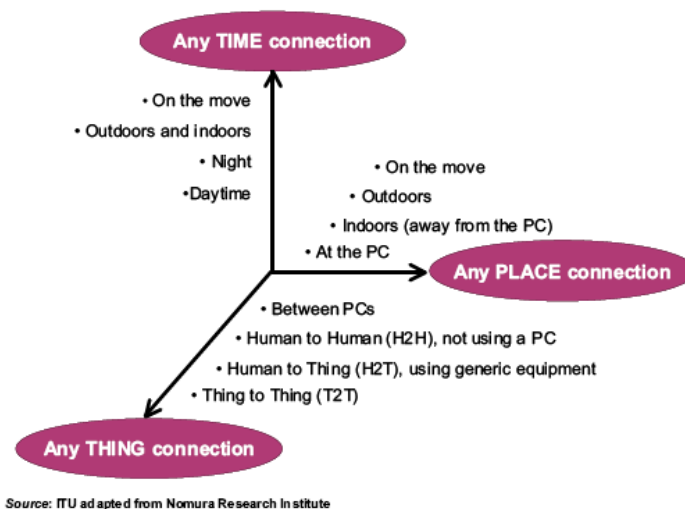


Figura 6.14: Internet of Things

Si se aplica este nuevo modelo a la computación ubicua, que define un modelo de interacción donde el entorno es sensible al contexto que nos rodea, se posibilita una nueva frontera tecnológica donde el modelo de interacción y los servicios a proporcionar por el entorno ya no se limitan a la habitación o al edificio en el que se encuentran, sino que se tiene acceso a todo lo que Internet puede ofrecer.

Para la implementación del modelo de “Internet of Things” es necesario solucionar algunos aspectos técnicos. Los más relevantes son los siguientes:

- Es crucial, la comunicación con el objeto y su entorno: es fundamental la obtención de datos sobre los que modelar y trabajar, de forma que se pueda transformar el universo real en uno virtual.
- El uso de un sistema de identificación efectivo: RFID (identificación por radiofrecuencia) se ha convertido en uno de los pilares del “Internet of Things”, no sólo por su capacidad de identificación sino por la posibilidad de transmitir información del estado del objeto al que representa.

- Inteligencia artificial: dota a los dispositivos de una mayor capacidad de reacción frente a los cambios del entorno.
- Miniaturización de los objetos: los avances en nanotecnología harán que los dispositivos sean cada vez más y más pequeños con las mismas capacidades de interacción y conexión.

Hasta hace poco, los objetos inteligentes contaban con una limitada capacidad de comunicación, como las etiquetas RFID, pero la nueva generación de tecnologías de comunicación inalámbrica IEEE802.15.4 basados en IP hace posible una comunicación efectiva con ellos y con su entorno.

La utilización de redes inalámbricas dentro del concepto de "Internet of Things" es un aspecto muy importante debido principalmente a la necesidad de que sea posible establecer una conexión en cualquier lugar y en cualquier momento. Las redes de sensores inalámbricas son un buen punto de partida por varias razones:

- Tratan aspectos que afectan indirectamente a este tipo de redes como son el consumo energético o sistemas de localización. Incluye la parte de sensores necesaria también en este caso.
- La aparición de los objetos inteligentes requiere mecanismos de comunicación escalables e interoperables que apoyan la creación de nuevos servicios. IP ha demostrado proporcionar una tecnología de comunicación de larga vida, estable y altamente escalable que soporta una amplia gama de aplicaciones, dispositivos y tecnologías de la comunicación. IP es ligero y se ejecuta en dispositivos embebidos. IP, por lo tanto, tiene todas las cualidades para hacer la "Internet de las Cosas" una realidad, es decir, la conexión de millones de dispositivos de comunicación.

Muestra del interés del mundo industrial por esta tecnología es que en septiembre de 2008 un grupo de proveedores de tecnología y usuarios han formado la IP for Smart Objects (IPSO) Alliance, cuyo objetivo es la promoción de IP como la tecnología de red más adecuada para la conexión de objetos y la entrega de información recogidos por los objetos.

Un nuevo enfoque que se plantea con la "Internet of Things" es el llamado ecosistema digital, donde conviven de forma virtual las representaciones tanto de los objetos como de las personas conectadas, lo que conlleva algunos aspectos a tener en cuenta como la privacidad de los datos de los usuarios o cómo afectará esto a su vida diaria (control absoluto de las actividades del usuario).

6.4.2 Kits 6LoWPAN

A continuación se muestran los diferentes kits de desarrollo disponibles en la actualidad para aplicaciones 6LoWPAN.

6.4.2.1 ATAVRRZRAVEN 2.4 GHz Evaluation and Starter Kit

Este kit de desarrollo incluye dos nodos y un Stick USB. El Kit de desarrollo no incluye un router frontera para conectar los nodos con otra red, en su lugar el Stick USB sirve de pasarela para recibir los paquetes 6LoWPAN en el ordenador al que se conecte.



Figura 6.15: Kit ATAVRRZRAVEN 2.4 GHz

Los nodos AVR Raven incluyen entre otras cosas una pantalla LCD, altavoz de 8 Ω , serial DataFlash de 16 Mbits, GPIO, USART...

Puede instalarse el sistema operativo Contiki en el microcontrolador, lo que permite gestionar las comunicaciones 6LoWPAN de una forma sencilla ya que está diseñado para ofrecer comunicaciones IP.

6.4.2.2 Sensinode 2.4GHz Evaluation Kit

Este Kit incluye dos nodos con acelerómetros en los 3 ejes, 2 botones, 2 leds, sensor de iluminación, UART...



Figura 6.16: kit Sensinode 2.4 GHz

Además de los dos nodos este Kit también incluye Sticks USB, para poder recibir los paquetes 6LoWPAN en el ordenador al que se conecten.

Aunque en el Kit no se incluye un Router frontera que haga la conversión de 6LoWPAN a IPv6, Sensinode también ofrece un Router frontera denominado NanoRouter.



Figura 6.17: NanoRouter de Sensinode

6.4.2.3 JN5139 6LoWPAN Evaluation Kit

La pila de protocolos de Jennic provee una solución de conectividad inalámbrica basada en IEEE802.15.4 a 2,4 GHz, para permitir que dispositivos empotrados puedan comunicarse de forma inalámbrica usando IP. Diseñado para funcionar con el microcontrolador de Jennic, la solución de conectividad IP provee una implementación de un solo chip de baja potencia para el desarrollo de productos redes inalámbricas, que pueden comunicarse con otros dispositivos IP en una red existente.

Este kit de desarrollo de Jennic incluye 5 nodos que poseen sensores de luz, temperatura y humedad y uno de ellos además posee una pantalla LCD.

El kit provee un entorno completo para el desarrollo de aplicaciones con conectividad inalámbrica IP de baja potencia basadas en el microcontrolador inalámbrico JN5139.



Figura 6.18: Kit 6LoWPAN JN5139

El microcontrolador JN5139 tiene 21 GPIO, 2 UARTs, I2C, EEPROM de 128 bytes x 8 bits... El Kit incluye las librerías necesarias para conectar los microcontroladores JN5139 con el protocolo 6LoWPAN.

Además para la interconexión con otras redes incluye un router frontera que trasforma los paquetes 6LoWPAN a IPv6. Comentar que desde hace poco tiempo el sistema se ha cambiado por el estándar ZigBee Pro.

6.4.2.4 MicaZ

La MicaZ es un módulo inalámbrico desarrollado por Crossbow que se utiliza como plataforma para redes de sensores de baja potencia. Funciona a 2,4 GHz, compatible con 802.15.4, y está diseñada específicamente para redes de sensores empotrados.



Figura 6.19: MicaZ

Estas motas soportan comunicación de datos con bajo consumo energético, relativamente elevada capacidad de procesamiento lógico configurable y comunicación inalámbrica. Además según se especifica es capaz de soportar los protocolos IPv4 e IPv6, necesarios para la plataforma que se desea implementar. La mota se puede cargar con un sistema operativo para dispositivos empotrados, como Contiki.

Contiki es un sistema operativo muy pequeño de código abierto desarrollado por Adam Dunkels que se usa principalmente en sistemas integrados sobre microcontroladores, incluyendo nodos de redes de sensores, en los que se ha conseguido comunicación sobre IPv6 entre ellos.

Tras el análisis de la tecnología 6LoWPAN y sus diferentes kits de desarrollo en el mercado, se puede concluir:

- Debido a que 6LoWPAN es una tecnología nueva, todavía no se encuentran disponibles muchos Kits de desarrollo en el mercado. Aun así parece que la tendencia será que las redes de sensores con tecnología 802.15.4/ZigBee vayan portándose al protocolo IP, por sus características ya mencionadas anteriormente. De esta manera con el tiempo irán surgiendo más Kits de desarrollo e incluso nodos ZigBee serán adaptados para permitir comunicaciones en 6LoWPAN.
- Con la tendencia de la Internet de Futuro y la Internet de las Cosas, los diferentes objetos de la vida cotidiana tienden a conectarse a Internet. Para ello

la tecnología 802.15.4 ofrece la mejor solución posible, pero la tecnología ZigBee implica realizar costosas pasarelas a IP para que estos nodos se conecten a Internet. Con 6LoWPAN este paso es eliminado.

Por lo tanto, el Kit de Jennic parece ser el más apropiado para el proyecto, ya que permite cumplir los requisitos y funcionalidades deseadas para el prototipo, y su precio asumible y bajas dimensiones son óptimas para el sistema.

6.5 ESTUDIO DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN

Este apartado se introduce en el análisis del medio de transmisión, en este caso dicho medio es el aire. La propagación de las ondas electromagnéticas por el aire es muy diferente, y está afectada por diferentes factores, que por ejemplo la propagación de las ondas por un medio guiado.

Todo sistema de telecomunicación debe diseñarse para que en el receptor se obtenga una relación señal-ruido mínima que garantice su funcionamiento. Los servicios de comunicaciones inalámbricas que se proveerán tienen en común el empleo de ondas electromagnéticas radiadas como soporte de la transmisión de información entre el transmisor y el receptor.

Para la correcta planificación de cualquiera de estos sistemas resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la propagación electromagnética, su magnitud y su influencia en las distintas bandas de frecuencias.

De acuerdo con el IRE (Institute of Radio Engineers), la transmisión en el espacio libre es la radiación electromagnética sobre una línea recta en el vacío o en una atmósfera ideal, siendo suficientemente removidos todos los obstáculos que pudieran afectar dicha onda de cualquier manera. En este caso, sólo la onda directa propagada desde una antena transmisora será efectiva en la antena receptora, y la intensidad de campo presente en cualquier punto del espacio es llamada comúnmente intensidad en el espacio libre.

Las fluctuaciones de ondas de alta frecuencia propagándose por la parte baja de la atmósfera pueden, ocasionalmente, elevarse respecto al valor de intensidad de campo en el espacio libre, pero el promedio de los valores debido a tales fluctuaciones siempre se encontrará por debajo del valor definido. La potencia recibida, debida a la intensidad de campo en el espacio libre depende solamente de la cantidad de potencia transmitida y de la distancia sobre la cual se propaga la onda, y está dada por la siguiente expresión:

$$P_r = P_t G_t G_r \lambda^2 / (4 \pi d)^2$$

La ecuación anterior no muestra una relación clara entre potencia transmitida y recibida en función de la frecuencia, ya que según sean los parámetros de antena empleados la dependencia explícita con la frecuencia varía. A frecuencias bajas, bandas MF, LF y VLF, las antenas empleadas son necesariamente pequeñas en términos de λ . En este caso las antenas

presentan típicamente una directividad constante con la frecuencia. A partir de la ecuación se observa que, para directividades constantes con la frecuencia, la pérdida de transmisión aumenta con la frecuencia. Por el contrario, a frecuencias elevadas, bandas de UHF y SHF, las antenas pueden tener dimensiones grandes relativas a λ . En este caso, por ejemplo en el de reflectores parabólicos, el área efectiva de la antena es proporcional al área física de la misma y, por tanto, independiente de la frecuencia, por lo que de la expresión resulta que la pérdida de transmisión disminuye al aumentar la frecuencia.

Como regla general puede afirmarse que para antenas de dimensiones fijas y considerando la propagación en el espacio libre, disminuir la frecuencia en bandas de frecuencias bajas y aumentarla en bandas de frecuencias elevadas reduce la pérdida de transmisión.

La propagación en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno terrestre muy pocas situaciones se ajustan a este modelo. La presencia de la tierra, atmósfera e ionosfera alteran en la mayoría de casos la propagación.

Además tenemos que contar con varios efectos debidos a la proximidad de la tierra con la antena radiante y obstáculos en el camino de la onda radiada que se pueden usar en nuestro favor dependiendo de las condiciones en las que nos encontremos, como pueden ser la onda de espacio (onda incidente más la reflejada), difracción (posibilidad de comunicación sin tener línea de visión directa) y la onda de superficie (onda propagándose por el suelo).

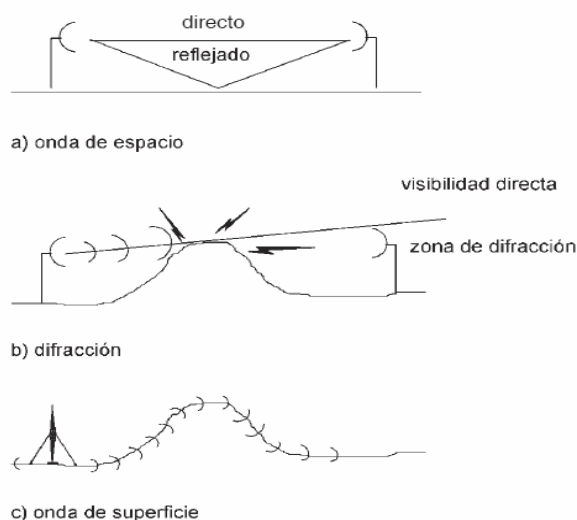


Figura 6.22: Ejemplos propagación

6.5.1 Parámetros de transmisión

Uno de los aspectos más importantes para planificar teóricamente el enlace de datos es la caracterización del medio con los parámetros de transmisión típicos. A continuación se presenta una lista de ellos:

- Relación señal a ruido (SNR): la relación señal/ruido, es la diferencia en dB entre el nivel de la señal útil, y el nivel de ruido.
- Relación portadora a interferencia (C/I)
- Atenuación que introduce el medio
- Pérdidas totales en espacio libre
- Problemas con el multipath (multitrayecto)
- Etc

Además del medio también hay que caracterizar los equipos radio (transmisor, receptor, antenas, etc):

- Ruido que introducen en la transmisión
- Umbral de recepción
- etc

6.5.2 Propagación y alcance

Teniendo en cuenta lo explicado en el apartado anterior y sabiendo la potencia de transmisión de los módulos 6LoWPAN se pueden establecer las distancias máximas de transmisión en exteriores e interiores para los módulos JN5139:

- Exteriores: distancia máxima de unos 400 metros en línea recta.
- En interiores, y teniendo en cuenta las paredes y obstáculos presentes, la distancia máxima aproximada se sitúa en unos 40 metros.

6.6 DESARROLLO SISTEMA FINAL

Primeramente se va a desglosar la parte más hardware del proyecto, como un esquema general del funcionamiento del mismo:

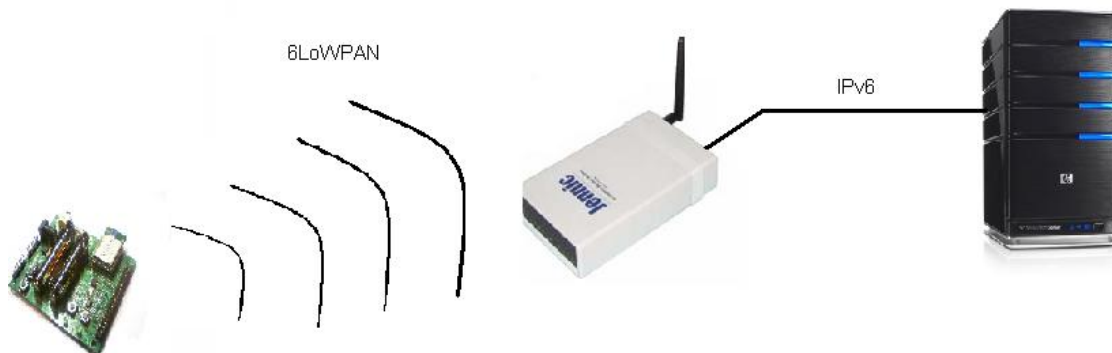


Figura 6.20: Esquema funcional

En este caso, el nodo enviará la información mediante 6LoWPAN. El router 6LoWPAN de Jennic convertirá este mensaje 6LoWPAN en un mensaje de IPv6 para que el servidor conectado al Router coordinador pueda recibir los datos correctamente. En este caso se ahorra la necesidad de configurar un nodo base conectado al servidor como en el caso de ZigBee.

La información más importante respecto a la estructura y funcionamiento del sistema se presenta a continuación:

- La plataforma/sistema se colocaría en un lugar fijo (cinta transportadora por ejemplo) donde vayan a pasar los elementos pendientes de ser inventariados con una etiqueta RFID acoplada.
- Al leer su identificador, se almacena y se envía de forma inalámbrica a un servidor (en este caso un portátil) preparado para la recepción inalámbrica de esos paquetes. Éste comprobará que la etiqueta recibida es correcta (no corrupta) y devolverá un reconocimiento positivo a la plataforma para que borre esa etiqueta. Si el identificador de la etiqueta estuviese corrupto solicitará una retransmisión.
- La aplicación del lado servidor se encargará de recibir esos paquetes y procesarlos (comprueba la etiqueta y los presenta de forma gráfica con la dirección de la plataforma que lo ha leído así como con sus datos ambientales de temperatura, humedad y luminosidad), para su futura inclusión en una base de datos.
- Para facilitar las labores de los operarios sin tener que estar en las proximidades del servidor se utiliza comunicación NFC con las plataformas desplegadas (chip y antena NFC en la plataforma y en el dispositivo del operario, en este caso un portátil), con acercar los

dispositivos se obtiene su dirección/identificador, valores de los sensores y un byte de estado para ver si la plataforma funciona correctamente y poder actuar consecuentemente.

6.6.1 Hardware

El hardware estará dividido en varios módulos, en los que se tendrán alojados tanto los periféricos como el módulo de comunicaciones de Jennic. Una imagen del sistema se puede ver a continuación, con las diferentes partes importantes resaltadas por un círculo rojo:

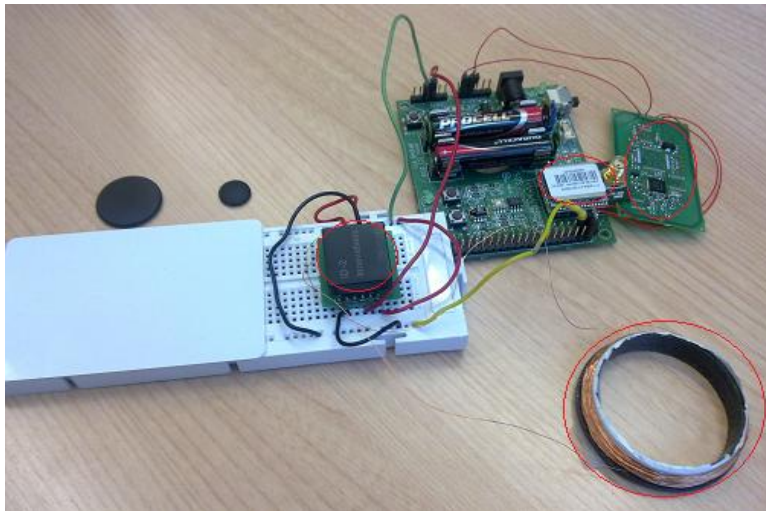


Figura 6.21: Prototipo

- Módulo Jennic: En este módulo se encuentra el microcontrolador JN5139 de Jennic que será programado para interactuar con los periféricos y que enviará mediante 6LoWPAN la información necesaria al servidor. Además se disponen diferentes pines que permiten acceder de forma sencilla a líneas del módulo.
- Módulo RFID: Montado sobre un placa de prototipado se encuentra el módulo RFID ID-2, cuyas conexiones se analizan más adelante. Este lector permite leer diferentes etiquetas RFID presentes también en la imagen.
- Módulo NFC: el módulo de Arygon APDB, que permite una comunicación bidireccional en un alcance limitado, está conectado directamente al módulo de Jennic. La alimentación del módulo también se conecta a la plataforma de Jennic.
- Antena: en la parte inferior de la imagen se observa una antena de 125 KHZ diseñada para funcionar con el módulo ID-2. Este módulo tiene una impedancia dada (1.08 mH) que hay que respetar, y el formato, tamaño y número de vueltas depende de esta impedancia y de la forma que tenga la antena (en este caso se ha elegido una antena circular ya que el

campo generado es más uniforme). El tutorial para construir la antena se encuentra en la Bibliografía del proyecto.

6.6.1.1 Periféricos

En primer lugar el lector RFID debe leer las diferentes etiquetas de los productos. El lector RFID (ID-2), lector de baja frecuencia, tiene un reducido tamaño y una alta capacidad de lectura de etiquetas a distancias razonables. El esquema electrónico sigue la siguiente configuración, y es importante de cara a la conexión con otros dispositivos tener presente que la comunicación serie asíncrona funciona a 9600 baudios.

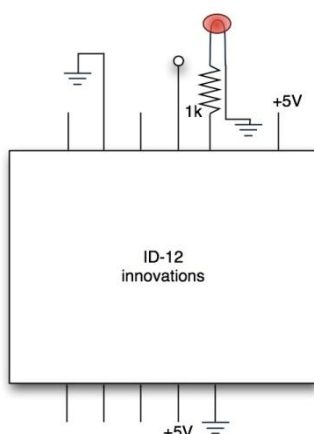


Figura 6.22: Esquema conexión módulos ID

Respecto a sus pines, el 1 (esquina inferior derecha) se conecta a tierra y el 11 (esquina superior derecha) a la alimentación de 5 V. El pin 2 es el de RESET, que debe estar conectado a 5 V para mantenerse en funcionamiento de forma continua. El 3 y el 4 están disponibles para conectarles una antena externa y un condensador variable, que permitan al usuario alterar, según el interés de su aplicación, las características de lectura. El pin 5 y el 6 no tienen aún funciones reales definidas, sino que están reservadas para futuros intereses. El 7 es el pin de selección de formato, que conectándolo a tierra proporciona los datos del tag leído en formato ASCII por medio de la línea de datos D0, colocada en el pin 9. La segunda línea de datos D1, situada en el pin 8 no se utiliza. El pin 10 da una función de señalización adicional, emitiendo un pulso lógico de 3.1 kHz cuando se sucede una lectura. En la fase de pruebas, se conecta a un led o a un zumbador, y éste se iluminará o sonará cuando se haya efectuado una lectura.

Al utilizar un lector ID-2 que no posee antena interna, tan sólo se deberá conectar la antena RFID externa entre los pines 3 y 4, quedando el resto de conexiones explicadas anteriormente igual.

En cuanto al módulo NFC se disponen de 6 conexiones que se muestran a continuación:



Figura 6.23: Módulo NFC

Se puede ver en la parte superior izquierda de la imagen 6 conexiones que tiene el módulo NFC de Arygon que se desglosan a continuación en orden ascendente:

- Recepción: recepción datos vía serie a 115200 bps. Se deberá conectar al pin de transmisión serie de una de las UARTs.
- Transmisión: transmisión de datos vía serie a 115200 bps. Se deberá conectar al pin de recepción serie de una de las UARTs.
- Reset: mantener al aire para funcionamiento normal del dispositivo.
- Hreq: permite enviar un comando de solicitud al módulo (no conectado).
- Tierra: conexión que se estable con uno de los pines de tierra de la placa de Jennic, como se ve en la imagen.
- Alimentación: alimentación a 3.3V que se estable con uno de los pines de alimentación a 3.3V de la placa de Jennic.

6.6.1.2 Módulo Jennic (JN5139)

El módulo de Jennic para 6LoWPAN es el encargado de gestionar el funcionamiento del sistema general. Este módulo recibe la información de las etiquetas leídas por el lector RFID, las almacena y las reenvía al servidor. A su vez se encarga de controlar el funcionamiento del sistema general y de tomar las acciones oportunas en el caso de que se lea una nueva etiqueta o se reciba algún mensaje del módulo NFC.



Figura 6.24: Placa kit de desarrollo de Jennic

A continuación se puede observar el esquema electrónico del módulo JN5139 de Jennic:

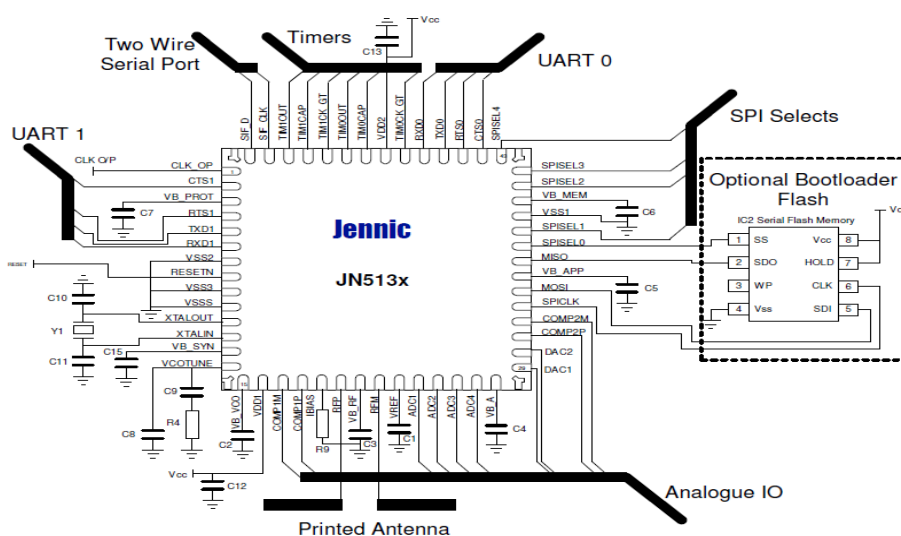



Figura 6.25: Módulo Jn5139 y conector del módulo con antena integrada

De todos los pines que posee el módulo se detallarán los necesarios para la implementación del sistema (su ubicación y detalles se encuentran en el datasheet del JN5139):

- Alimentación: a través de una fuente o de pilas. Se dispondrán de varios pines con 3 funcionalidades:
 - Tierra
 - 3.3V
 - 5V

- Configuración: al estar ya construido el sistema en la plataforma de Jennic no es necesario saber la configuración y el pineado para su funcionamiento, pero es importante explicarlo por si se quiere sacar el módulo fuera de la plataforma.
 - SSM y SSZ deben estar conectados entre sí, de esta manera se permite a la señal de selección del SPI comunicarse con la memoria Flash del módulo. El pin SWP (protección escritura Flash) debe estar a Vcc para permitir grabar el dispositivo. El RESETN (a Vcc en condición normal) es el encargado de resetear la Flash, pero también permite junto al MISO entrar en el modo programación de la memoria y cargarle un nuevo programa desde la UART. Para ello, se debe poner a nivel bajo MISO, mientras está a nivel bajo poner también a nivel bajo RESETN y después liberar primero RESETN y después MISO.
- UART: para poder grabar la Flash aprovechando el cable USB-FTDI incluido en el kit y para su conexión al módulo de RFID y de NFC se utilizan 6 pines conectados al módulo.



Pin	Signal
1	Ground
2	Request to Send Output
3	5V Supply Input from USB-to-Serial Cable
4	Receive Data Input
5	Transmit Data Output
6	Clear to Send Input

Figura 6.26: Configuración UART

Para recibir información del lector RFID y comunicarse con NFC se usa la comunicación serie asíncrona de las 2 UARTs del módulo, de esta forma tenemos una UART para la grabación en la memoria y para comunicación con el módulo de NFC y la segunda para la lectura de etiquetas por RFID. En el caso del módulo RFID hay que conectar la transmisión y recepción del módulo a los pines 4 y 5 de la UART0 y la alimentación del lector al pin de 5V. En el del módulo NFC se conectan las líneas de transmisión y recepción a los pines 4 y 5 de la UART1.

Cabe destacar que la memoria que posee el módulo (96kB) es más que suficiente para el desarrollo del sistema y los ficheros de configuración propios (sobrando bastante espacio), lo que nos evita tener que conectar módulos de memoria externa para aumentar su capacidad.

6.6.2 Software

Para el correcto funcionamiento del proyecto es necesario implementar el código necesario en el microcontrolador de Jennic y realizar un programa en el servidor (ordenador) que gestione los datos recibidos desde los nodos 6LoWPAN.

6.6.2.1 Módulo Jennic

La mota tiene que ser capaz de llevar a cabo diferentes funciones, cumpliendo con los requisitos del sistema expuestos. Por un lado tiene que comunicarse con el lector RFID para capturar lo que éste ha leído, así como con el módulo NFC en caso de ser necesaria una comunicación con algún usuario. A continuación tiene que enviar el paquete con la información deseada al receptor, a través de la red que estará formada por una o varias motas Jennic.

Cuando el lector RFID detecta una etiqueta envía vía serie la información al microcontrolador de Jennic. Puede haber situaciones en las que no pueda comunicarse con el servidor, como por ejemplo la falta de cobertura. En caso de que no se pueda realizar la comunicación, el sistema tiene que ser capaz de encolar la información para transmitirla más adelante, y perder la menor información posible.

Para ello se utiliza una cola FIFO circular, el primer elemento almacenado en la cola será el primero en ser enviado cuando sea posible y se tratará de forma circular.

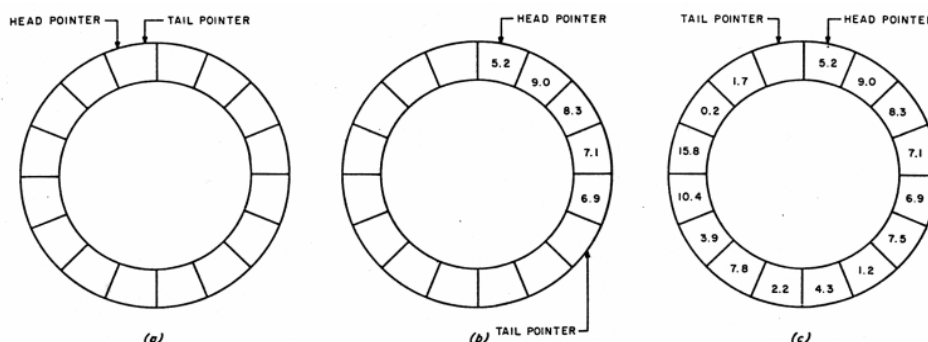


Figura 6.27: Cola FIFO circular

El tamaño máximo de la cola está limitado por el hardware pero los 96kB de memoria dan espacio más que suficiente para las 100 posiciones que se estima debe tener la cola circular. El protocolo de comunicaciones que se implementará para la comunicación entre la plataforma y el servidor es el siguiente:

- Cada vez que el sistema recibe datos (lectura etiqueta RFID), los almacena en la cola y los envía al servidor.

- El servidor procesa el paquete recibido y envía un paquete de confirmación al módulo de Jennic.
- Cuando se recibe el paquete que viene desde el servidor, se comprueba si es la contestación al que él ha enviado anteriormente. En caso afirmativo, borra el identificador de la cola porque ya ha sido tratado.
- Si no recibe la contestación correspondiente, el paquete no se elimina de la cola y el módulo de Jennic sigue enviando el paquete cada cierto tiempo mientras no reciba la contestación desde el servidor.

Para diferenciar entre los tipos de mensajes y paquetes que se intercambian los nodos se crea un protocolo de comunicación diferenciándolos por un código inicial asociado a cada tipo de mensaje.

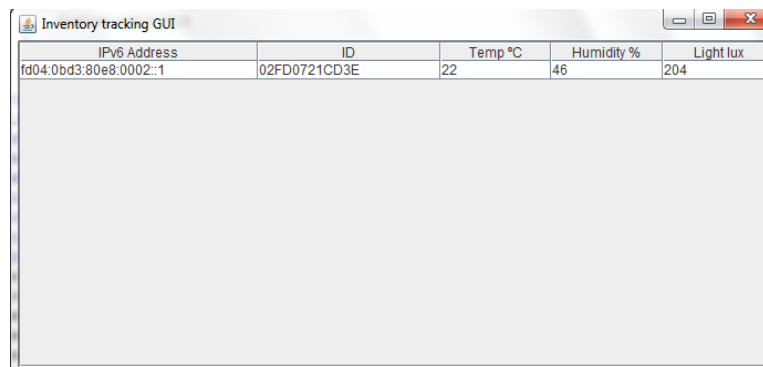
Antes de poder hacer uso de las funciones del sistema expuestas hay que tener en cuenta que el nodo o nodos de los que se componga la red deben conectarse con el router frontera (convierte mensajes 6LoWPAN a IPv6), ya que éste es el encargado de comunicarse con el servidor a través de Ethernet. Para saber si hemos conseguido conectarnos al router disponemos de señalizadores: cuando los dos leds del módulo parpadeen simultáneamente y recibamos un primer paquete con la dirección IPv6 del nodo en el servidor es que la conexión de red se ha establecido.

En el caso de la comunicación NFC no existe intercambio de datos vía 6LoWPAN, los datos sólo se envían entre los módulos NFC.

El módulo conectado a la plataforma de Jennic está habilitado en modo Target (dispositivo secundario que responde al primario, como un maestro-esclavo), es decir, que se encuentra esperando a que otro módulo inicie una comunicación con él. Cuando se quiera comunicar bastaría con aproximar los dos módulos y ejecutar la aplicación del módulo conectado al ordenador (servidor). Este programa tan sólo ejecuta una sucesión de comandos, que son básicamente iniciar un módulo próximo, establecer los parámetros de la comunicación, intercambiar datos (se envía una petición para que el otro módulo devuelva los datos que tiene) y liberar la comunicación.

6.6.2.2 Programa del servidor

En el servidor tendremos la aplicación encargada de gestionar la comunicación que se efectúa entre el router frontera y el módulo.



IPv6 Address	ID	Temp °C	Humidity %	Light lux
fd04:0bd3:80e8:0002::1	02FD0721CD3E	22	46	204

Figura 6.28: Interfaz gráfica

Como se observa en la imagen superior se dispone de una interfaz gráfica desarrollada en Java que muestra una tabla con 5 campos: dirección IPv6, identificador y valores de los sensores de temperatura, humedad y luz. De esta forma se visualiza fácilmente el envío y dirección de paquetes entre los elementos de red de nuestro sistema.

El funcionamiento de la aplicación es el siguiente: cuando recibimos un tag del módulo, en el método encargado del puerto serie se comprueba el tipo de mensaje recibido y si es una lectura de RFID, se forma un objeto con los datos del mismo, así como la fecha de recepción y si está corrupto (checksum). Si el paquete recibido es correcto, se muestra en la tabla.

Para comprobar la correcta recepción de las etiquetas se puede disponer de un fichero xml en el que se tengan almacenados los objetos disponibles. Esta opción se presenta como posible mejora futura al sistema.

7. ANÁLISIS

En este apartado se intentará realizar un análisis del sistema obtenido, prestando especial atención a campos como el consumo, alcance, rendimiento o flexibilidad.

Cabe destacar en primer lugar que tanto la flexibilidad como las posibilidades de escalabilidad del prototipo son muy grandes, ya que al tratarse de una red configurable se puede ir variando la topología de la red de sensores, poniendo motas en diferentes zonas y utilizarlas no sólo como bases si no como routers, redireccionando la información necesaria a la mota o router destino para ser procesada por el servidor. Incluso el módulo podría funcionar como router redireccionando dicha información, pero esto implicaría un mayor consumo energético por parte del mismo, por lo que es necesario evaluar adecuadamente su utilidad.

El mayor logro o valor añadido del sistema es que gracias al protocolo IP tendremos la posibilidad de conexión a Internet y utilizar esa conexión para nuevas funcionalidades dentro del inventariado automático de objetos.

Para evaluar si el rendimiento obtenido es el esperado, no sólo basta con que el sistema ejecute las operaciones según lo previsto si no que también implica que aspectos como el rango de alcance de la comunicación, los tiempos de espera o la autonomía del producto sean los necesarios para la obtención de un prototipo completo, pudiendo comparar sus funcionalidades y características con un sistema ZigBee para ver que tecnología ofrece un mejor comportamiento.

7.1 CONSUMO

La transmisión y recepción inalámbrica son los que provocan un mayor consumo. Otros elementos que también consumen bastante son el módulo NFC y el lector de RFID.

Situación/Elemento	Amperios
Módulo (procesado CPU)	2.85mA+0.295/MHz(procesado) 2.4uA(sleep activo) 0.1uA(sleep)
Tx radio (modo boost)	35mA máx. (20.5 A/W) (42mA)
Rx radio (modo boost)	35mA máx. (40mA)
UART	25uA
Timers	65uA
DIOs	30uA
Leds y circuitería	2mA
RFID	25mA
NFC	25mA
Grabación	20mA

Tabla 7.1: Consumos

7.2 ALCANCE

Para poder medir el alcance del módulo de Jennic en transmisión, se puede realizar una prueba muy sencilla, y es que al conectarse un módulo al router frontera se señala la conexión entre ellos mediante el parpadeo simultáneo de ambos leds; en cambio, si no se realiza la conexión o se pierde, uno de ellos deja de encenderse. Por lo tanto, una vez que el módulo está conectado al router, con tan sólo desplazar el módulo hasta perder la conexión es la forma de saber el alcance.

De esta forma el alcance obtenido es de aproximadamente 30 metros en interiores, con obstáculos de por medio y teniendo en cuenta que se opera en la misma banda que WiFi, con las posibles pérdidas y colisiones que esto pueda suponer.

Hay que darse cuenta que la distancia radio depende de la antena (con la antena cerámica usada unos 330 metros máximo, con las normales hasta 1 kilómetro y de alta potencia hasta 2 kilómetros), potencia de salida del módulo (potencia normal de unos 1.8mW) y el entorno, por ejemplo en campo abierto se puede llegar hasta el kilómetro y en ambiente de oficina con reflexiones e interferencias suele rondar los 20-40 metros.

7.3 RENDIMIENTO

El rendimiento del sistema implementado, es el esperado tanto desde el punto de vista funcional como del de eficiencia.

Los puntos más críticos son la cola FIFO y el envío de mensajes entre el módulo y el router frontera, y es donde hay que tener especial cuidado para no provocar un funcionamiento no eficiente.

Cada vez que se lee una etiqueta RFID se realizan dos procesos: enviar un mensaje al router frontera con el identificador leído para que el servidor pueda verificarlo y segundo, guardar ese identificador en la cola FIFO por si tuviese que ser retransmitido pasado un tiempo.

Cuando el servidor verifica el identificador, comprobando el checksum para ver que no haya errores, responde con un reconocimiento y el módulo borra de la cola el identificador; en cambio, si no hay reconocimiento se reenviará el identificador cada cierto tiempo hasta que se corrobore.

7.4 FLEXIBILIDAD

Cabe destacar que tanto el rendimiento como la flexibilidad de la plataforma 6LoWPAN se pueden ver considerablemente incrementados debido a la posibilidad de conexión a Internet de los dispositivos, lo que abre un abanico de posibles nuevos usos, una ventaja que otras plataformas no tendrían. El hecho de poder gestionar la red de sensores como si fuera una red IP facilita mucho las labores de configuración y gestión.

De esta forma, además de tener un sistema funcional y robusto, se dispone de una mayor escalabilidad y flexibilidad, que junto a la conexión a Internet a través de IP permite extender el uso de la plataforma desarrollada.

7.5 CONCLUSIONES

La investigación sobre redes de sensores basadas en comunicación IP y el sistema/prototipo final obtenido permiten demostrar las capacidades y beneficios que IP puede proveer en el ámbito de la monitorización y control de diferentes entornos , así como acercar la visión de la “Internet de las Cosas” en la que multitud de objetos y dispositivos puedan conectarse entre sí y tener acceso a Internet gracias a la comunicación IP, abriendo un sinfín de posibilidades y aumentando el rendimiento y flexibilidad de este tipo de sistemas.

8. MANUAL DE USUARIO

Antes de nada se debe conectar el router frontera 6LoWPAN al ordenador mediante un cable Ethernet y conectarlo a corriente.



Figura 8.1: Router frontera

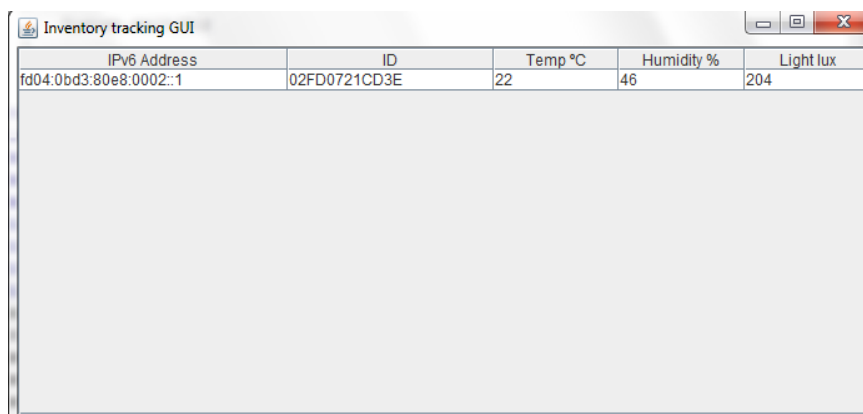
Una vez hecho esto se debe configurar dicho router, los pasos para hacerlo en un sistema con Windows XP son:

- 1 Instalar IPv6 en el ordenador
 - 1.1 En una ventana de MS-DOS escribir: netsh interface ipv6 install
 - 1.2 Reiniciar el ordenador
- 2 Habilitar IPv6 en la interfaz de Ethernet
 - 2.1 Acceder al Panel de Control
 - 2.2 Entrar en Conexiones de Red
 - 2.3 Seleccionar el de Ethernet y con botón derecho entrar en Propiedades

- 2.4 Habilitar IPv6 si no lo está
- 3 Asignar dirección IPv6 a la interfaz de Ethernet
 - 3.1 Escribir en MS-DOS: `netsh interface ipv6 add address "<name>" fd04:0bd3:80e8:0001::2`, donde <name> es el nombre de la interfaz
- 4 Añadir ruta estática
 - 4.1 Escribir en MS-DOS: `netsh interface ipv6 add route fd04:0bd3:80e8:0001::/64 "<name>"`, donde <name> es el nombre de la interfaz
- 5 Configurar el router
 - 5.1 Comenzar la aplicación de configuración del router que viene con el router y seguir los pasos sin cambiar los valores predefinidos
 - 5.2 Instalar
- 6 Testear la conexión
 - 6.1 Escribir en MS-DOS: `ping fd04:0bd3:80e8:0001::1` y si se reciben los paquetes de vuelta la conexión funciona.

Una vez configurado el router se deben conectar todos los módulos a la placa de 6LoWPAN como se ha explicado anteriormente.

Una vez hecho esto se debe ejecutar la aplicación del servidor desde Eclipse para visualizar los paquetes enviados desde el módulo. Se visualizará una ventana como esta:



IPv6 Address	ID	Temp °C	Humidity %	Light lux
fd04:0bd3:80e8:0002::1	02FD0721CD3E	22	46	204

Figura 8.2: Interfaz gráfica

Al encender el módulo se sincronizará con el router y se podrá empezar a leer etiquetas RFID, enviando cada vez un paquete al servidor para ser visualizado (como en la imagen anterior).

Cuando se quiera apagar basta con desconectar el módulo, el router y la aplicación software.

Para el caso de comunicación NFC basta con acercar el módulo de la plataforma al módulo conectado al ordenador a través de un cable FTDI. Al ejecutar la aplicación software de NFC en Eclipse se transmitirán los valores de los sensores al ordenador para poder visualizarlos en el momento y ver el funcionamiento del sistema. Esta parte está más pensada para utilizarse en movilidad con una PDA o móvil, pero al no tener acceso a ellos se hace a través del ordenador. Una muestra de los comandos intercambiados en la comunicación se muestra a continuación:

```

Init: 15

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 02 FE D5 15 16 00

List: 35

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 16 EA D5 4B 01 01 12 01 01 FE A2 A3 A4 A5 A6 A7 C0 C1 C2 C3 C4 C5 C6
C7 D5 00

Atr: 31

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 12 EE D5 51 00 AA 99 88 77 66 55 44 33 22 11 00 00 00 09 01 29 00

Parameters: 16

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 03 FD D5 4F 00 DC 00

data_exchange: 00 00 FF 04 FC D4 40 01 01 EA 00

Data: 22

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 09 EE D5 40 01 53 49 16 2E 14 01 37 00

Release: 16

Received: 00 00 FF 00 FF 00 00 00 FF 03 FD D5 53 01 D7 00

```

"Datos obtenidos: **SI-> 21321** tem: **22**, hum **46**, lum **200**, estado: **1**"

Primeramente se inicia el módulo NFC y se listan los dispositivos que están al alcance. Tras esto se configuran los parámetros de la configuración y se intercambian los datos entre los módulos, en este caso se envía el identificador de la plataforma seguido de los valores de los sensores y un byte indicador del estado, todos ellos resaltados.

9. PLANIFICACIÓN

El diagrama de Gantt se utiliza para establecer la planificación temporal de las tareas que se han definido en el apartado de metodología y que se suele mostrar de forma gráfica para poder entender mejor el desarrollo del proyecto.

Al realizar el proyecto en 2 meses no tiene mucho sentido realizar un diagrama de Gantt, en el que las tareas queden ubicadas en esos dos meses. Simplemente comentar que el orden de ejecución del proyecto ha seguido el orden establecido en el apartado de Metodología de la memoria.

10. PRESUPUESTO

En este apartado se analiza la dimensión económica del proyecto. En primer lugar se realiza un presupuesto con un listado de todos los gastos que supondría llevar a buen puerto este sistema de identificación y comunicación para trazabilidad. No se va a realizar ninguna aproximación a un modelo de negocio para explotar este proyecto comercialmente, ya que en esta fase el proyecto se sitúa sólo en el ámbito de investigación y prueba de concepto.

10.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Los gastos económicos necesarios para este proyecto a priori no van a ser muy elevados. A continuación se presenta una tabla con una lista de todos los gastos estimados.

Concepto	Valor en €
Módulo y placa JN5139	50
Router frontera 6LoWPAN	150
Cables y conectores	10
Lector RFID ID-2	22
Módulo NFC	30
Cobre para antena	8
Tarjetas RFID	5
TOTAL	275

Tabla 10.1: Presupuesto

Tanto las aplicaciones de software y de grabación no entran dentro del presupuesto ya que se va a evitar el pago de estas licencias usando software libre sin licencia o el suministrado por los fabricantes, consiguiendo un abaratamiento de costes.

Comentar nuevamente que todo el hardware del proyecto se ha utilizado de los laboratorios de DeustoTech, sin ese soporte hardware prestado el proyecto no habría podido realizarse.

11. BIBLIOGRAFÍA

En este apartado se recogen de manera ordenada todas las referencias consultadas para la realización de la documentación del proyecto. En el primer subapartado se recogen todas las referencias sobre consultas realizadas en internet; artículos, publicaciones, trabajos o sitios web son las referencias incorporadas a esta bibliografía. En el segundo subapartado se recogen las referencias sobre los libros consultados.

11.1 DOCUMENTACIÓN WEB:

Esta bibliografía se separa en dos subapartados. En el primero de ellos se enumeran las referencias sobre artículos, publicaciones y/o trabajos que se han ido consultando en los diferentes sitios web. En el segundo se citan sitios, portales o páginas de inicio web, que por la realización de numerosas consultas no se detalla cada una de las búsquedas

Para ambos casos las referencias tienen una estructura ordenada. Entre comillas y en cursiva el nombre del artículo, de la publicación o del sitio web; que se completa con el nombre del autor en el caso de existir.

11.1.1 Artículos, publicaciones y trabajos

“RFID-enabled Supply Chain Traceability: Existing Methods, Applications and Challenges”

Dongmyung Lee;Jinwoo Park. Department of Industrial Engineering, Seoul National University. Republic of Korea

“Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging”

Mikko Kärkkäinen. Department of Industrial Engineering and Management, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.

“microID 125 kHz RFID System Design Guide”

Microchip. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51115f.pdf>

11.1.2 Sitios web

“Jennic” Disponible en: <http://www.jennic.com>

“Sparkfun” Disponible en: <http://www.sparkfun.com>

“Wikipedia” Disponible en: <http://es.wikipedia.org>

“Google” Disponible en: <http://www.google.es>

11.2 LIBROS

En el caso de las referencias de libros también siguen un orden establecido. En primer lugar se dispone el nombre del autor, seguido en la misma línea del título de la obra. En la segunda línea se encuentra información como el traductor (en caso de existir); el número de edición, el país, la editorial y el año de publicación. En este apartado tan sólo se encuentra un libro.

SHELBY, Zach; BORMANN, Carsten. *6LoWPAN: the wireless embedded Internet*.
Wiley, 2009

12. GLOSARIO

Medio de transmisión = Medio físico por el cual viaja la señal

RFID= Radio Frequency IDentification

NFC= Near Field Communication

UART= Universal Asynchronous receiver-Transmitter

I2C= Inter-Integrated Circuit

6LoWPAN= IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks

ZigBee= especificación conjunto de protocolos basado en el estándar 802.15.4

bps= bits por segundo

FTDI= Future Technology Devices International

8N1= Configuración Puerto serie con 8 bits de datos, ningún bit de paridad y 1 bit de parada.

WSN= Wireless Sensor Networks

WPAN= Wireless Personal Area Networks

IEEE= Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF= Internet Engineering Task Force

GUI= Graphic User Interface

MTU= maximum transmission unit