

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**INGENIERÍA TÉCNICA EN INFORMÁTICA DE
GESTIÓN**



PROYECTO DE FIN DE CARRERA

**ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA RFID Y
DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA
LOCALIZACIÓN DE PERSONAS**

AUTOR: ROBERTO CRISTINA FERNÁNDEZ

TUTOR: DAVID DEL VALLE AGUDO

Julio de 2009

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría destacar a mi familia, especialmente a mis padres, por su paciencia y los malos ratos que les he hecho pasar en todos estos años y por poder contar siempre con su apoyo y dedicación.

A mi tutor David, por dedicarme todo el tiempo que he necesitado, ya que sin su ayuda y dirección no habría podido llevar a cabo este proyecto. Y agradecerle el haberme reservado un puesto en el Laboratorio de Bases de Datos Avanzadas (LABDA).

Finalmente a mis amigos y compañeros de carrera: Toni, José Luis, Pablo, Rubén, Jaime, Richard, Cris, Sergio, Barroso, David M., Paco, Burgos, Marcelo, Tere, Jorge, Rubén S., Rubén G. y Javi..., por su amistad, ayuda y tiempo que hemos compartido juntos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION	8 -
1.1. Objetivos.....	9 -
1.2. Organización del documento	9 -
2. ESTADO DEL ARTE	11 -
2.1. Sistemas de localización en interiores	11 -
2.1.1. GPS (Sistema de Posicionamiento Global).	11 -
2.1.2. Bluetooth.	13 -
2.1.3. Wi-Fi.....	14 -
2.1.4. Banda Ultra-Ancha (UWB).	16 -
2.1.5. Infrarrojos (IR).	17 -
2.1.7. RFID.	18 -
2.1.8. Conclusiones.....	19 -
2.2. Estudio de RFID	20 -
2.2.1. Historia:	20 -
2.2.2. Arquitectura:.....	21 -
2.2.3. Clasificación:	23 -
2.2.4. Estandarización:	26 -
2.3. Principales dominios de aplicación de RFID	27 -
2.3.1. Aplicación de RFID en las cadenas de suministro y el inventariado.	28 -
2.3.2. Cómo puede RFID tener un impacto positivo en los transportes y la logística.	30 -
2.3.3. Cómo fomentar el uso de RFID en el ámbito gubernamental y el sector público.	32 -
2.3.4. Oportunidades a explotar en el uso de RFID en la industria sanitaria.	34 -
2.3.5. Cómo combinar RFID con las nuevas aplicaciones en telefonía móvil e Internet.....	35 -
2.3.6. Otras aplicaciones.....	36 -
2.3.7. Casos prácticos.	45 -

3. ANÁLISIS	- 50 -
3.1. Requisitos	- 50 -
3.1.1. Requisitos funcionales.....	- 50 -
3.1.2. Requisitos no funcionales.....	- 52 -
3.2. Análisis de Casos de Uso.....	- 53 -
4. DISEÑO	- 56 -
4.1. Diseño de la interfaz gráfica de usuario	- 57 -
4.1.1. Adquisición de datos	- 59 -
4.1.2. Posicionamiento	- 62 -
4.2. Diseño de los motores de modelado y localización.....	- 63 -
4.2.1. Motor de modelado.....	- 63 -
4.2.2. Motor de localización	- 63 -
4.3. Diseño de la base de datos	- 64 -
4.3.1. Modelo Entidad-Relación.....	- 64 -
4.3.2. Modelo Relacional.....	- 66 -
4.4. Elección de los dispositivos RFID.....	- 67 -
4.4.1. Dispositivo elegido	- 73 -
5. IMPLEMENTACIÓN.....	- 76 -
5.1. Entorno de trabajo	- 76 -
5.1.1. Lenguajes de programación utilizados:	- 76 -
5.1.2. Aplicaciones:	- 80 -
5.2. Diagrama de clases	- 84 -
6. PRUEBAS	- 93 -
7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	- 99 -
7.1. Conclusiones.....	- 99 -
7.2. Líneas futuras	- 102 -
ACRÓNIMOS.....	- 104 -
BIBLIOGRAFÍA	- 105 -
ANEXO A. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	- 107 -
ANEXO B. MANUAL DE USUARIO	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de un sistema RFID.....	22 -
Figura 2: Esquema de funcionamiento del sistema de seguridad de un automóvil....	37 -
Figura 3: Sistema de seguridad de vehículos (Nissan)	37 -
Figura 4: Una etiqueta RFID empleada para la recaudación en un peaje electrónico-	38 -
Figura 5: Sistema de optimización del tráfico (Edimburgo)	40 -
Figura 6: Sistema de distribución de correo postal (Italia).....	42 -
Figura 7: Imagen del Shopping Navis Wagon.....	45 -
Figura 8: Imágenes del Shopping Buddy	46 -
Figura 9: Diagrama de casos de uso	53 -
Figura 10: Arquitectura del sistema.....	56 -
Figura 11: Ventana inicial.	58 -
Figura 12: Menú.	58 -
Figura 13: Módulo de creación de escenarios.	59 -
Figura 14: Módulo de eliminación de escenarios.....	60 -
Figura 15: Módulo de creación de puntos.	60 -
Figura 16: Módulo de eliminación de puntos.....	61 -
Figura 17: Módulo de adquisición de datos.	62 -
Figura 18: Módulo de posicionamiento.....	62 -

Figura 19: Lector SYRD245-1N	- 67 -
Figura 20: Lector SYRD245-CF-1	- 69 -
Figura 21: Lector SYRD245-2	- 71 -
Figura 22: Tag SYTAG245-2K.....	- 74 -
Figura 23: Diagrama de clases (Parte 1).....	- 85 -
Figura 24: Diagrama de clases (Parte 2).....	- 86 -
Figura 25: Representación del escenario	- 93 -
Figura 26: Probabilidad de acierto vs. Precisión.	- 97 -
Figura 27: Probabilidad de acierto para cada punto.	- 98 -
Figura 28: Diagrama Gantt (Parte 1)	108
Figura 29: Diagrama Gantt (Parte 2)	109
Figura 30: Ejecución de la aplicación	113
Figura 31: Ventana inicial de la aplicación	114
Figura 32: Opción de adquisición de datos	115
Figura 33: Ventana de adquisición de datos.....	116
Figura 34: Opción de posicionamiento.....	117
Figura 35: Ventana de posicionamiento	117
Figura 36: Gráfico de posicionamiento	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Crear escenarios.	- 54 -
Tabla 2: Eliminar escenarios.	- 54 -
Tabla 3: Crear puntos.	- 54 -
Tabla 4: Eliminar puntos.	- 54 -
Tabla 5: Adquirir datos.....	- 55 -
Tabla 6: Posicionar.	- 55 -
Tabla 7: Prueba1.....	- 94 -
Tabla 8: Prueba2.....	- 95 -
Tabla 9: Prueba3.....	- 96 -
Tabla 10: Costes de personal.....	111
Tabla 11: Costes de material.	111
Tabla 12: Presupuesto total.	112

1. INTRODUCCION

En este proyecto se pretende desarrollar un prototipo o aplicación para la localización de personas en espacios cerrados o interiores. Este tipo de localización se presenta más complicado que el dedicado a espacios abiertos debido a que su estudio es más reciente y por ello todavía quedan algunos problemas sin resolver. Para poder satisfacer las necesidades del mercado habrá que solucionarlos y así intentar conseguir la misma aceptación que tienen los de exteriores.

La elección de la tecnología a utilizar es otra parte importante en este proyecto. Como se verá más adelante en el apartado “Estado del Arte” la tecnología elegida ha sido la de RFID.

Aunque la tecnología RFID se ideó como sistema de identificación de objetos (como alternativa a los códigos de barras), ahora mismo se está aplicando en nuevos sectores gracias a los avances tecnológicos y al descenso en los costes de la electrónica. Además hay multitud de investigaciones orientadas al uso de esta tecnología en un futuro no muy lejano. Por estos motivos se ha prestado atención a los sistemas RFID y se ha seleccionado esta tecnología para un estudio parcial en la medida en que puede utilizarse para localizar usuarios.

Este apartado se va a dividir en las siguientes secciones:

- **Objetivos:** Se plantea la finalidad a la que deben dirigirse los recursos para dar cumplimiento a los propósitos.
- **Organización del resto del documento:** Cómo se organiza el documento. Una breve descripción de cada uno de los distintos capítulos y apartados del documento.

1.1. Objetivos

El objetivo fundamental de este proyecto será el de buscar una tecnología adecuada para localizar usuarios en interiores de edificios y el de implementar un prototipo que demuestre que la tecnología es válida para la aplicación en dicho dominio.

El sistema tiene que ser escalable, para que en cualquier momento que se requiera una mayor cantidad de información a tratar no haya ningún problema en su funcionamiento.

No habrá ninguna limitación en como tienen que ser los escenarios con los que se va a actuar.

La tecnología a tratar tiene que ser barata y de fácil despliegue y manejo para el usuario.

1.2. Organización del documento

A continuación se describen los capítulos de los que está formado este documento y se explica de forma breve de qué trata cada uno:

En el capítulo 2, “Estado del arte”, primero se describen los posibles sistemas de localización en interiores a utilizar y se decide escoger el más adecuado para la realización del proyecto, en este caso RFID. Después se lleva a cabo un estudio intenso de la tecnología RFID y finalmente se presentan sus principales dominios de aplicación.

En el capítulo 3, “Análisis”, se detallan los requisitos que componen la aplicación y después se analizan los casos de uso que muestran la funcionalidad requerida para el sistema.

En el capítulo 4, “Diseño”, se tratan cuatro apartados fundamentalmente. Primero se lleva a cabo el diseño de la interfaz gráfica del usuario, seguidamente el diseño de los motores de modelado y de posicionamiento, después el diseño de la base de datos y por último la elección de los dispositivos RFID que se han utilizado en el presente proyecto.

En el capítulo 5, “Implementación”, se tratan dos apartados. Primero se presenta el Entorno de trabajo que cuenta con dos subapartados: Los lenguajes de programación que se han utilizado para realizar la aplicación del proyecto y por otro lado las aplicaciones que se necesitan para poder llevarlo a cabo.

En el capítulo 6, “Pruebas”, se comprueba que la tecnología elegida es adecuada para la localización de usuarios en interiores de edificios a través de la validación del prototipo.

En el capítulo 7, “Conclusiones y trabajos futuros”, se exponen algunas conclusiones extraídas de todo este trabajo realizado, además de unas posibles mejoras que se podrían hacer en un futuro próximo con el fin de poder obtener algo más completo.

Después se encuentra un apartado de los Acrónimos utilizados en este proyecto.

Finalmente se incluye un último apartado denominado “Bibliografía” en el que se muestran los libros y enlaces Web que se han consultado para la elaboración de este documento.

Como anexos se presentan la Planificación y el Presupuesto del proyecto, y el Manual de usuario.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Sistemas de localización en interiores

La problemática de la localización en interiores está siendo objeto de un intenso estudio e investigación durante estos últimos años y se encuentra ahora mismo en pleno auge en busca de una solución que satisfaga las necesidades del mercado. Hasta ahora, ninguna de las soluciones propuestas ha conseguido el éxito que han alcanzado los sistemas de localización y navegación análogos empleados en exteriores.

A continuación se van a comentar brevemente los sistemas de localización más importantes para decidir cual es el que mejor se adapta a las necesidades de nuestro proyecto.

2.1.1. GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

Es un sistema de radionavegación mundial que emplea al menos tres de los satélites que rodean la Tierra en órbitas conocidas para fijar la posición de una unidad móvil. En la actualidad la constelación de satélites más utilizada que permite realizar este proceso es la NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) [4], formada por 24 satélites activos más tres de reserva y mantenida por el gobierno estadounidense. La Federación Rusa posee la constelación GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) [4], y por otra parte la Unión Europea está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo.

El sistema GPS [4] está formado por tres segmentos o áreas: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento de usuario. El primero engloba los satélites del sistema y el segundo abarca las infraestructuras terrestres necesarias para el control de la constelación de satélites. Por último, el segmento de usuario está constituido por los equipos de recepción y el software de procesado de señales. NAVSTAR produce dos tipos de señales: una de uso militar muy precisa, y otra de libre uso a la que las estaciones de tierra introducen un error aleatorio controlado.

El fundamento de la localización con GPS es la triangulación, cálculo de la distancia de un punto terrestre a tres o más satélites con posición perfectamente conocida. Este proceso se realiza midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal del satélite al dispositivo receptor. Con el fin de recibir las señales de los satélites GPS la estación móvil ha de tener un módulo receptor específico (hardware y software) que sea capaz de captar varias señales de satélite, calcular su posición utilizando una marca de tiempo y la descripción del satélite recibida, y en su caso, informar a la red. La introducción del módulo hace que el móvil aumente su tamaño y peso y lo encarece debido a los componentes incluidos y al mayor consumo. Sin embargo, este aumento de coste se está viendo paliado en los últimos tiempos debido a que la tecnología de receptor GPS se ha abaratado.

A pesar de la buena precisión que ofrece (de 5 a 20 metros), cuando este sistema se usa en el interior de edificios, presenta muchos problemas debido a la atenuación de las señales recibidas y los multitrayectos provocados por los fenómenos de la reflexión, la difracción y la dispersión (scattering) de la señal. El receptor necesita una línea de visión directa a los satélites, además puede sufrir un retraso relativamente largo en la recepción de las señales.

La precisión puede ser aún mejor (de 1 a 5 metros) si se emplea GPS diferencial (DGPS). Este sistema utiliza para el cálculo de posición la señal de los satélites y la información proveniente de una o más estaciones de coordenadas conocidas. Las estaciones de referencia transmiten las correcciones que calculan constantemente comparando su posición obtenida mediante los satélites con sus coordenadas reales. Con este sistema lo que no se consigue es fiabilidad.

Sistema de posicionamiento global asistido (Assisted Global Positioning System)

La "asistencia" que este sistema proporciona respecto al GPS tradicional radica en el uso de receptores de referencia. Estos receptores recogen información de navegación y datos de corrección diferencial para los satélites GPS que están en la zona de cobertura del servidor de localización. A partir de la información obtenida, el servidor de localización facilita bajo demanda datos de interés a los terminales móviles, principalmente una lista con las efemérides de los satélites (órbitas recalculadas con los datos de corrección suministrados por las estaciones de tierra) visibles para el terminal. Los datos, que se introducen en un pequeño mensaje de unos 50 bytes, son todo lo que el móvil necesita saber para completar los datos GPS recibidos. El servidor de localización puede también tener acceso a una base de datos de elevaciones del terreno que permite precisar la altitud a la que se encuentra el terminal móvil, efectuando de esta manera una localización en tres dimensiones.

2.1.2. Bluetooth.

Bluetooth [4] es una tecnología diseñada para ofrecer conectividad a redes personales mediante un dispositivo móvil de forma económica. Permite conectar múltiples aparatos: ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos móviles, etc., y ofrece conexión a una LAN o WAN [4] a través de un punto de acceso. Bluetooth consigue un canal de comunicación de 720 kbps en un radio de acción de 10 metros, ampliable hasta 100 metros por medio de repetidores. La frecuencia que utiliza está entre 2,4 y 2,48 GHz, cuya gran ventaja es que es un rango de frecuencias abierto. Además, y debido a su concepción de tecnología móvil y económica, tiene un consumo de energía bajo. Para transmitir a una distancia de 10 metros emplea 1mW de potencia, mientras que para llegar a los 100 utiliza 100mW.

Bluetooth se dirige sobre todo a la comunicación de dispositivos y son ya muchos de ellos los que lo tienen integrado, ya que algunas estimaciones afirman que a finales de 2008 había en Europa 286 millones de dispositivos con esta tecnología.

Bluetooth y Wi-Fi [4] tendrán que coexistir aunque hoy en día lo hacen con ciertos límites, pues la posibilidad de que ambos interfieran entre sí es real. Las interferencias provocarían pérdidas de datos, aunque no daños físicos en los terminales. El SIG (Special Interest Group) de Bluetooth y el IEEE [4] trabajan para llegar a eliminar estos problemas. Así, se complementarán para que los usuarios tengan acceso a su información: Bluetooth servirá de medio de comunicación en aparatos con restricciones de potencia y tamaño (teléfonos móviles, cámaras, PDAs, auriculares, micrófonos...), y Wi-Fi permitirá la instalación de LANs sin cables.

Existe un sistema de localización mediante Bluetooth (González-Castaño, 2002-2003) para aplicaciones como comercio móvil y museos electrónicos. Básicamente, la idea es la implementación de servicios que requieren el conocimiento de la posición del usuario en tiempo real, para enviar información relativa del contexto al destinatario final.

El sistema denominado Red de Localización Bluetooth (Bluetooth Location Network, BLN), transmite información de la posición del terminal móvil a los servidores, sin la participación del usuario. No es objeto de restricciones debido a la pérdida de línea de vista y funciona con dispositivos comerciales ya existentes (dispositivos con Bluetooth o terminales móviles de datos que admitan una tarjeta de expansión). El BLN está compuesto por pequeños nodos Bluetooth que establecen una topología de red espontánea con la inicialización del sistema. Puede coexistir con dispositivos Bluetooth que no son parte del sistema de localización, como impresoras y auriculares.

2.1.3. Wi-Fi.

Hoy en día las tecnologías para red de área local (LAN) inalámbrica están experimentando un boom de implantación. Numerosos proveedores de redes wireless están instalando sus sistemas en hoteles, cafés, aeropuertos y otros edificios en los que se considera rentable una oferta de acceso a Internet de alta velocidad. Estas nuevas infraestructuras también soportan localización de dispositivos móviles, por lo que las aplicaciones basadas en la posición para entornos de área local resultan viables.

En el ámbito del patrimonio y el turismo, se han puesto en funcionamiento redes de este tipo de forma experimental en museos (el Metropolitan de Nueva York), excavaciones arqueológicas (Atapuerca, en combinación con Bluetooth), hoteles y parques temáticos (Disney World), obviamente con la idea de ofertar servicios basados en la filosofía de suministrar al usuario información de interés ligada a su posición.

Antes de explicar el proceso de localización de terminales mediante redes inalámbricas, es necesario saber de qué tipo de tecnología se está hablando. Las redes inalámbricas cubren áreas de hasta 75 metros en el interior de edificios, y de 300 metros en el exterior, ampliables a varios kilómetros mediante antenas. Están implementadas en un grupo de estándares, conocido como 802.11 que comprende varias modalidades, cada una de ellas con unas características de ancho de banda y alcance determinadas. La modalidad más popular es la que se conoce como 802.11b, introducida en 1997. Opera a una frecuencia de 2,4GHz, y su índice de transferencia de datos es de 11Mbps. Esta tasa se ve ampliamente superada por el estándar 802.11a, que llega a ofrecer 55Mbps en una frecuencia de funcionamiento de 5GHz. El problema es que dicha parte del espectro no está disponible en países como España, Italia, Portugal o Alemania, pues es de uso restringido militar. Algunas estimaciones afirman que a finales de 2008 había en Europa 53 millones de dispositivos de WLAN (Wi-Fi).

La localización mediante redes locales inalámbricas puede llevarse a cabo de diferentes maneras. La más sencilla es la basada únicamente en el punto de acceso más cercano al terminal. Este método confunde a menudo la planta del edificio, pues es fácil que la antena más cercana a un usuario ubicado en una determinada planta sea la misma que la correspondiente a un usuario situado en una planta superior, si la posición sobre el piso es similar. Por otra parte la señal es vulnerable debido a las interferencias, lo que puede afectar, además de a la precisión, a la seguridad de la comunicación.

Existe otra propuesta muy interesante, realizada por Ekahau (compañía que comercializa un motor de posicionamiento), basada en el almacenamiento de medida de potencia de señal en diferentes puntos del recinto cubierto. La técnica, conocida como Wi-Fi mapping, arroja resultados más exactos que los métodos de triangulación celular, ofreciendo una precisión de 1 a 20 metros. Además, este sistema es sensible a los cambios de altura, es decir, reconoce fácilmente la planta del edificio en la que está el usuario.

2.1.4. Banda Ultra-Ancha (UWB).

Es una tecnología que nació durante la década de 1960, y cuyo nombre fue acuñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1989. Se desarrolló para radar, localización y aplicaciones de comunicaciones. La capacidad de UWB [4] de operar por debajo del nivel de ruido evitaba que las comunicaciones seguras pudieran ser interceptadas.

UWB emplea ráfagas de potencia mil veces más bajas que las de un teléfono móvil, con duración de picosegundos, en un espectro de frecuencia amplio (3,1-10,6GHz), por lo que la señal resultante tiene un gran ancho de banda que permite una gran resolución en la medida de los retardos ($\sim 1\text{ns}$). Sobre las ráfagas es posible transferir datos a velocidades de centenares de megabits por segundo. Además, la señal es relativamente inmune a la cancelación multi-trayecto, ya que debido a su corta duración la señal directa va y vuelve antes de que las señales reflejadas en los obstáculos alcancen el receptor. Por ello, y porque es un sistema de baja complejidad y coste reducido, UWB resulta especialmente adecuada para aplicaciones móviles sin hilos. Puede asimismo solucionar los problemas de precisión y de seguridad de los que adolece la red Wi-Fi.

Debido a sus características, esta tecnología permite localizar los terminales móviles con un error insignificante. UWB está basada en pulsos ultracortos, de tal manera que el receptor puede determinar el tiempo de llegada con precisión de picosegundos y, por tanto, estimar la posición con precisión de centímetros. La distancia al móvil se calcula midiendo el retardo de un pulso desde que es emitido por el transmisor hasta que llega al receptor. Posteriormente, utilizando triangulación se determina con gran exactitud la posición del terminal. Si se realizan las medidas respecto a cuatro receptores diferentes, es posible saber con precisión la altura a la que está el usuario.

UWB se está estandarizando en tres diferentes estándares: El inicial (IEEE 802.15.3a) que ha sido rechazado, el IEEE 802.15.4a secundado por Motorola y el ECMA-368 secundado por Intel, estos dos últimos aprobados.

Antes de que UWB se consolide como una solución aceptada globalmente, hay algunos puntos que todavía quedan por resolver:

- Rendimiento (consumo, coexistencia con otros dispositivos wireless, inmunidad a las interferencias, robustez del enlace).
- Interoperabilidad.
- Facilidad de integración y certificación.
- Coste de solución global.
- QoS (Quality of Service).

2.1.5. Infrarrojos (IR).

Fue la primera tecnología empleada para el desarrollo de sistemas de localización en interiores. Se utilizan tags que emiten radiación infrarroja en modo difuso, es decir, de forma radial, no en modo punto a punto como es habitual en los sistemas IR [5] empleados en comunicaciones. Se trata de un sistema de detección más que de localización, ya que la posición del elemento etiquetado con el tag IR se infiere de la posición fija y conocida de los sensores que detectan al tag.

La principal limitación de esta alternativa tecnológica es que la radiación infrarroja no atraviesa las paredes, por lo que hay que instalar sensores en cada una de las habitaciones. Además, debido a que la emisión es directiva por el efecto pantalla del cuerpo del portador del tag, es conveniente instalar más de un sensor por localización para asegurar que la detección se produzca correctamente, lo cual hace aumentar mucho el coste. No obstante, con este sistema se obtiene la gran ventaja de conseguir evitar interferencias y falsas detecciones de otros sensores.

2.1.6. Ultrasonidos.

Se trata de soluciones que están también basadas en tags o etiquetas para los elementos a controlar, pero en este caso estos tags emiten o reciben ultrasonidos. Los tags cuentan con un transceptor radio (banda de 433 MHz), una lógica de control que contiene un identificador único de 48 bits y un emisor de ultrasonidos. La infraestructura se compone de sensores de ultrasonidos, estaciones base de radiofrecuencia y un sistema central de gestión, formando los sensores o receptores una malla en puntos conocidos del techo.

Cada estación base puede activar simultáneamente un número máximo de 3 tags, con una frecuencia de refresco de 50 veces por segundo. El tiempo de vida de la batería del tag es de 15 meses. El sistema no se comercializa en la actualidad debido al alto coste de la infraestructura, y se pretenden sustituir las comunicaciones de radiofrecuencia entre estaciones base y tags por infrarrojos, para evitar la complejidad del trabajo multifrecuencia en estaciones base próximas. En cualquier caso, se trata de una tecnología poco madura y bastante elevada en precio, encontrándose todavía lejos de ser comercializada.

2.1.7. RFID.

RFID [6] supone la tecnología base de la autoidentificación electrónica de ítems, almacenamiento remoto y recuperación de datos. Un sistema RFID está formado por un reader o lector situado en una zona estratégica que permite la comunicación e intercambio de información a través de una antena, un host que se comunica con esa antena y almacena y procesa datos, y tags o etiquetas integrados por una antena y un chip donde se almacena la información de interés. Estos se comunican e intercambian la información con el reader cuando se encuentran en la zona de cobertura.

En los sistemas RFID la comunicación es mediante señales de radio sin necesidad de haber visión directa entre el lector y el tag, por lo que se consigue una gran flexibilidad.

Aunque existen multitud de criterios para clasificar estos sistemas, se distinguen dos clases fundamentales en función del tipo de tags que se empleen: pasivos (sin batería) o activos (con batería). Mientras los pasivos tienen unos rangos de medida inferiores a un metro, en los activos se sitúa entre los 2 y los 100 metros.

Estos sistemas también permiten implementar soluciones de localización muy precisas, funcionales y robustas, siempre que sólo se requiera localizar los entes móviles sin ser necesario un intercambio masivo de información.

Los marcadores de radiofrecuencia (RFID) son la tecnología más simple y escalable y con un potencial de crecimiento superior.

2.1.8. Conclusiones.

Tras lo expuesto anteriormente ahora hay que decidir qué sistema es el más adecuado para nuestro Proyecto Fin de Carrera.

- El GPS primordialmente está pensado como sistema de localización en exteriores y su coste es elevado.
- Tanto el Bluetooth como el Wi-Fi se ajustan bastante a nuestros objetivos pero tienen problemas en precisión y seguridad.
- La Banda Ultra-Ancha (UWB) aunque es un sistema de baja complejidad y bajo coste tiene problemas de rendimiento e interoperabilidad.
- Los infrarrojos aunque tienen la ventaja de conseguir evitar interferencias y falsas detecciones de otros sensores, no atraviesan las paredes, por lo que se necesita una gran cantidad de sensores por localización que supone un aumento en el coste.
- El sistema de ultrasonidos no está comercializado actualmente debido al alto coste de su infraestructura.

Tras este resumen queda claro por tanto que la opción por la que nos vamos a decantar para llevar a cabo este proyecto es la del sistema RFID, ya que es el que mejor se adapta a nuestras necesidades en relación al coste, precisión, complejidad de uso y flexibilidad.

2.2. Estudio de RFID

2.2.1. Historia:

Se tiene antecedentes del uso del RFID desde la década del 20, pero su historia documentada comienza en 1940, cuando se desarrolló como medio para la identificación de los aviones aliados y enemigos durante la Segunda Guerra Mundial. Esto porque el uso del radar permitía la detección de aviones a kilómetros de distancia, pero no su identificación. El ejército alemán descubrió que, si los pilotos balanceaban sus aviones, al volver a la base cambiaría la señal de radio reflejada de vuelta. Este método permitía distinguir a los aviones alemanes de los aliados y se convirtió en el primer dispositivo de RFID pasivo.

En las décadas de los 50 y 60 continuó el avance de los sistemas de radar y comunicaciones con el trabajo científico para identificación remota de objetos. Las empresas de retail pronto comenzaron a trabajar con sistemas antirrobo que, usando ondas de radio, determinaban si un objeto había sido pagado o no a la salida de las tiendas.

Las primeras patentes para dispositivos RFID fueron solicitadas en Estados Unidos, concretamente en 1973, cuando Mario W. Cardullo se presentó con una etiqueta RFID activa que portaba una memoria reescribible. El mismo año, Charles Walton recibió la patente para un sistema RFID pasivo que abría las puertas sin necesidad de llaves. Una tarjeta con una antena comunicaba una señal al lector de la puerta que, cuando validaba la tarjeta, desbloqueaba la cerradura.

El gobierno de Estados Unidos también trabajaba sobre esta tecnología en los años 70 y montó sistemas parecidos para el manejo de puertas en las centrales nucleares, que se abrían al paso de los camiones equipados con una antena que portaban materiales. También se desarrolló un sistema para el control del ganado que había sido vacunado insertando bajo la piel de los animales, una etiqueta RFID pasiva con la cual se podía distinguir los animales que habían sido vacunados y los que no.

Con el tiempo se han desarrollado mejoras en la capacidad de emisión y recepción, así como en la distancia que es lo posible alcanzar, lo cual ha llevado a extender su uso en ámbitos que van de lo doméstico hasta la seguridad nacional, como sucede con el pasaporte expedido en la actualidad en los EEUU que lleva asociadas etiquetas RFID.

2.2.2. Arquitectura:

El modo de funcionamiento de los sistemas RFID es simple. La etiqueta RFID, que contiene los datos de identificación del objeto al que se encuentra adherido, genera una señal de radiofrecuencia con dichos datos. Esta señal puede ser captada por un lector RFID, el cual se encarga de leer la información y pasarla en formato digital a la aplicación específica que utiliza RFID.

Un sistema RFID consta de los siguientes tres componentes:

a) Etiqueta RFID o transponder:

Compuesta por una antena, un transductor radio y un material encapsulado o chip. El propósito de la antena es permitirle al chip, el cual contiene la información, transmitir la información de identificación de la etiqueta. El chip posee una memoria interna con una capacidad que depende del modelo y varía de una decena a millares de bytes. Existen varios tipos de memoria:

- *Solo lectura:* el código de identificación que contiene es único y es personalizado durante la fabricación de la etiqueta.
- *De lectura y escritura:* la información de identificación puede ser modificada por el lector.
- *Anticolisión:* Se trata de etiquetas especiales que permiten que un lector identifique varias al mismo tiempo (habitualmente las etiquetas deben entrar una a una en la zona de cobertura del lector).

b) Lector de RFID o transceptor:

Compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. El lector envía periódicamente señales para ver si hay alguna etiqueta en sus inmediaciones. Cuando capta una señal de una etiqueta (la cual contiene la información de identificación de ésta), extrae la información y se la pasa al subsistema de procesamiento de datos.

c) Subsistema de procesamiento de datos o Middleware RFID:

Proporciona los medios de proceso y almacenamiento de datos.

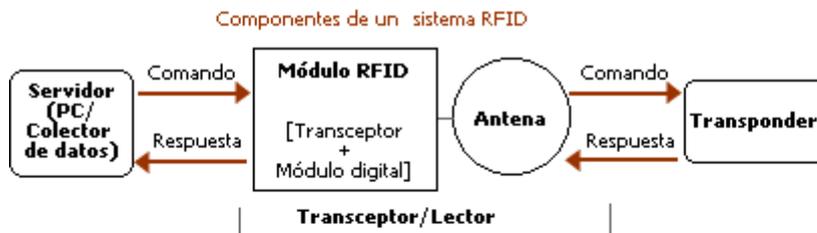


Figura 1: Componentes de un sistema RFID

2.2.3. Clasificación:

2.2.3.1. Según el tipo de etiqueta o tag:

a) Etiquetas pasivas:

No tienen fuente de alimentación propia. La mínima corriente eléctrica inducida en la antena por la señal de escaneo de radiofrecuencia proporciona suficiente energía al circuito integrado de la etiqueta para poder transmitir una respuesta.

Debido a las preocupaciones por la energía y el coste, la respuesta de una etiqueta pasiva RFID [10] [13] es necesariamente breve, normalmente apenas un número de identificación.

La falta de una fuente de alimentación propia hace que el dispositivo pueda ser bastante pequeño: existen productos disponibles de forma comercial que incluso pueden ser insertados bajo la piel.

Las etiquetas pasivas, en la práctica tienen distancias de lectura que varían entre unos 10 milímetros hasta unos 6 o 10 metros dependiendo del tamaño de la etiqueta y de la potencia y frecuencia en la que opera el lector.

Hasta principios del 2008 el dispositivo más pequeño disponible en el mercado medía 0.05 milímetros \times 0.05 milímetros y era más delgado que una hoja de papel.

b) Etiquetas semi-pasivas:

Son muy similares a las pasivas, la diferencia está en que incorporan adicionalmente una pequeña batería. Esta batería permite al circuito integrado de la etiqueta estar constantemente alimentado. Además, elimina la necesidad de diseñar una antena para recoger potencia de una señal entrante.

Estas etiquetas, comparadas con las pasivas, son más potentes y responden con más celeridad en un radio de lectura superior.

Tienen una fiabilidad comparable a la de las etiquetas activas a la vez que pueden mantener el rango operativo de una etiqueta pasiva.

c) Etiquetas activas:

Tienen una fuente de energía incorporada, lo que les permite tener una cobertura de lectura mayor y memorias más grandes que las etiquetas pasivas. Esto facilita la capacidad de poder almacenar información adicional enviada por el transmisor-receptor.

Actualmente, las etiquetas activas más pequeñas tienen un tamaño aproximado de una moneda. Muchas etiquetas activas tienen rangos prácticos de diez metros, y una duración de batería de varios años.

Como las etiquetas pasivas son mucho más baratas de fabricar y no necesitan batería, la gran mayoría de las etiquetas RFID [10] [13] existentes son de este tipo.

Las ventajas significativas que ofrecen las etiquetas pasivas en cuanto al coste, se contraponen a los mejores resultados que obtienen las etiquetas activas en medios difíciles, como son lugares húmedos o cerca de materiales metálicos. De ahí que el uso de etiquetas activas sea muy común hoy en día.

2.2.3.2. *Según su radiofrecuencia:*

a) Etiquetas de frecuencia baja (entre 125 o 134,2 kilohercios):

Son etiquetas de coste bajo y poco alcance. Su principal ventaja es su aceptación en todo el mundo, funcionan cerca de los metales y su uso está ampliamente difundido. La distancia de lectura es inferior a 1,5 metros, por lo que las aplicaciones más habituales son la identificación de animales, barriles de cerveza, bibliotecas, etc.

b) Etiquetas de alta frecuencia (13,56 megahercios):

Alcance y velocidad medios con coste relativamente bajo. Fueron desarrolladas como un sustituto barato y de perfil pequeño. Se pueden adaptar a etiquetas de papel populares en bibliotecas, identificación de pacientes, movimientos de equipajes de avión o acceso a edificios como también en activos fijos, son sensibles a la presencia de metal y requieren ciertas especificaciones de montaje. Normalmente se utilizan en aplicaciones tales como la trazabilidad de los productos, siendo su alcance mayor en relación a las frecuencias más bajas.

c) Etiquetas UHF o frecuencia ultraelevada (de 868 a 956 megahercios):

Posibilitan mayores alcances y gran velocidad de lectura. Tienen grandes ventajas en la recolección automática de datos ya que se elimina el personal. Se usan en el rastreo de líneas de abastecimiento. Su gran velocidad facilita otro tipo de servicios como el cobro de peajes de forma automática. Las etiquetas UHF no pueden ser utilizadas en todo el mundo porque no existen regulaciones globales para su uso.

d) Etiquetas de microondas (2,45 gigahercios):

Por lo general son usadas en sistemas RFID [13] activos ofreciendo largas distancias (por encima de los 30 metros) y altas velocidades de transmisión. Tienen un coste más elevado y se utilizan, por ejemplo, para localización de redes de pesca en el Mar del Norte.

2.2.4. Estandarización:

Los estándares de RFID abordan cuatro áreas fundamentales:

- *Protocolo en el interfaz aéreo:* especifica el modo en el que etiquetas RFID y lectores se comunican mediante radiofrecuencia.
- *Contenido de los datos:* especifica el formato y semántica de los datos que se comunican entre etiquetas y lectores.
- *Certificación:* pruebas que los productos deben cumplir para garantizar que cumplen los estándares y pueden interoperar con otros dispositivos de distintos fabricantes.
- *Aplicaciones:* usos de los sistemas RFID.

Como en otras áreas tecnológicas, la estandarización en el campo de RFID se caracteriza por la existencia de varios grupos de especificaciones competidoras. Por una parte está ISO con la serie 18000-6C, y por otra EPCglobal con EPC Gen 2. Ambas comparten el objetivo de conseguir etiquetas de bajo coste que operen en UHF.

2.3. Principales dominios de aplicación de RFID

En este apartado se pretende conseguir una visión amplia sobre los usos y beneficios de la tecnología RFID [1], así como de la importancia que podría tener para los usuarios. Es una tecnología emergente, con un progreso espectacular en los últimos años.

Se hace necesario algún tipo de clasificación para las aplicaciones. De este modo, se podría realmente determinar cuáles son los aspectos y políticas relacionados con cada tipo de aplicación a la hora de hacer el estudio.

Podemos determinar que existen cinco campos tradicionales de aplicación para RFID además del nuestro de localización:

1. Cadenas de suministro de mercancías e inventariado.
2. Transporte y logística.
3. Aplicaciones electrónicas gubernamentales y sector público.
4. Salud e industria farmacéutica.
5. Nuevas aplicaciones para móviles e Internet.

En las siguientes secciones de este apartado se pasa a analizar en detalle cada uno de estos dominios de aplicación recién comentados.

Finalmente se presentarán algunos casos prácticos de aplicación de la tecnología RFID entre los que se incluyen algunos de localización, que es de lo que trata este proyecto.

2.3.1. Aplicación de RFID en las cadenas de suministro y el inventariado.

Según las previsiones RFID [1] va a convertirse en una tecnología tremendamente extendida, si se cumplen las estimaciones que sitúan su crecimiento anual en un 57% para el mundo y un 46% para Europa en un futuro cercano. Una buena parte de este crecimiento derivará de las aplicaciones y tecnologías, siendo las asociadas a las cadenas de suministro las que se espera que lideren dicho incremento.

El propósito de las cadenas de suministro es, lógicamente, canalizar las mercancías a través de las redes de suministro desde el fabricante hasta el usuario final. Para cumplir con este objetivo de un modo eficiente, la transparencia en las cadenas de suministro es imprescindible. Si no puede saberse qué se está moviendo, esa mercancía no puede controlarse, siendo por lo tanto imposible cualquier tipo de planificación que de dicha mercancía dependa, lo cual nos lleva inexorablemente a la ineficiencia. Algunas de las formas en que la falta de eficiencia puede presentarse son la ausencia de existencias, inventario que realmente no existe (conocido típicamente como inventario fantasma, que se da cuando no se produce notificación de que un determinado producto ha salido de su almacén con lo que, por tanto, sigue apareciendo en las bases de datos de la empresa), líneas de producción con tasas de eficiencia reducidas, pedidos menos eficaces e incluso robos y falsificaciones. El costo de todo ello para la empresa que lo sufre es evidente.

RFID podría mostrarse tremendamente útil a la hora de reducir estos problemas al ser la tecnología adecuada para dotar a las cadenas de suministros de la transparencia de la que hoy adolecen, lo cual sería el objetivo final de la aplicación en este sector. Para que la transparencia fuera total, se haría necesaria la implementación de soluciones de principio a fin, es decir, que identificaran y controlaran las mercancías desde su fabricación hasta su reciclado, aunque esto parece poco factible a corto plazo. Sin embargo, implementaciones parciales que afectaran por tanto sólo a partes de la cadena de suministro, también resultarían muy útiles. Esto nos lleva a tener que hacer una nueva clasificación especialmente relevante a la hora de considerar posibles cuestiones de privacidad.

En cuanto al inventariado decir que es la principal aplicación que se le está dando al RFID en la actualidad. Consiste en asignar un *tag* a los artículos, remplazando el actual código de barras. Tener información adicional de los objetos ofrece numerosos beneficios, tanto para el control de stocks, como en la gestión de distribución y abastecimiento.

Las escalas de utilización pueden ser muy diferentes. En supermercados el nivel de implantación de las etiquetas RFID sería a una escala de cada producto, sin embargo en grandes distribuidores se hace un uso a escala de palés y, subiendo de nivel, se utiliza también a escala de vagones o contenedores en puertos y estaciones de trenes.

En este caso se trata de una tecnología razonablemente implantada en grandes centros de distribución. Obviamente, las empresas no invierten en nuevas tecnologías si no les va a reportar beneficios interesantes. Los resultados ya pueden ser observados y el ahorro al utilizar tecnología RFID en grandes centros de distribución ronda entre el 10 y 16%.

Los beneficios concretos del uso de RFID [1] en el inventariado son:

- *Serialización de datos*: Cada objeto tiene un número de identificación único.
- *Reducción de la intervención humana*: Se eliminan tareas de obtención de datos de los objetos así como de lectura de códigos de barras. Influye en la reducción de costes y de errores en el proceso.
- *Tiempo de lectura*: Se reduce el tiempo al poder realizarse varias lecturas simultáneas.
- *Tiempo de actualización de datos*: igualmente se reduce al poderse actualizar datos de las etiquetas RFID conforme se van leyendo.
- *Incremento de la seguridad*: Se consigue un mayor control de los objetos.

2.3.2. Cómo puede RFID tener un impacto positivo en los transportes y la logística.

A principios de los 80, se usaba el papel como elemento de control de los procesos logísticos, mientras que hoy en día lo más habitual es usar códigos de barras. El problema de este sistema es que no puede reescribirse y es necesario que haya una línea de visión para que el código pueda ser leído. En el futuro, RFID [1] permitirá una monitorización dinámica y micro-dispositivos con autoorganización. RFID posibilita las comprobaciones automáticas en puntos diferentes y la recogida continua de datos. Además, las etiquetas RFID pueden reescribirse, lo cual hace factible un almacenaje de datos descentralizado. Todo esto nos abre camino para nuevas aplicaciones relacionadas con la monitorización de la calidad y de la temperatura, así como una gestión automática de productos de alto valor. RFID sólo es un primer paso hacia las redes de objetos inteligentes.

Existen ya múltiples aplicaciones de RFID en transportes que han sido desarrolladas y demostrado ser útiles:

- Sellos electrónicos en contenedores, que se destruyen al ser éstos abiertos
- Control en el transporte de animales.
- Gestión de flotas en las compañías de transporte.
- Seguimiento de contenedores en el mar.
- Mejora de la seguridad en carretera.
- Logística.
- Lucha contra la falsificación de productos.

El desarrollo pleno de la tecnología RFID puede llevarnos a una imagen de cadenas de suministro en las que las unidades individuales (cajas y paquetes) están etiquetadas, permitiéndoles interactuar con las fuentes de información (Internet, por ejemplo), para autogestionar su propio movimiento a través de cadenas de suministro desde los fabricantes a los consumidores finales. Sin embargo, para que este escenario pueda darse es imperativo que el coste de fabricación de los chips se abarate, lo cual se cree que podría lograrse desarrollando nuevos materiales y técnicas de impresión.

Dado que el RFID facilita el aumento de la transparencia a la hora de transportar productos, su aplicación puede ayudar a combatir la falsificación y el robo, que suelen ser llevados a cabo, por parte del crimen organizado. Estos temas suponen un problema de gran magnitud para la industria, al introducir costo e inseguridades adicionales en los sistemas de distribución e incluso modificando los intereses de los consumidores (el riesgo de que determinadas marcas de alimentos hayan podido ser falsificadas hace que el consumidor se preocupe de la seguridad en los alimentos).

De muchos estudios llevados a cabo por consorcios de fabricantes sobre las falsificaciones se ha extraído una primera recomendación muy clara: el mejor punto de intercepción para los productos falsificados son las fronteras, no las tiendas. Es lógico por tanto deducir que para extraer el máximo beneficio del RFID en lo que a este tema se refiere, los servicios de aduanas y las empresas deberían cooperar.

Por otra parte, si lo que se desea es garantizar la autenticidad de los productos de una determinada marca o, lo que es lo mismo, ser capaces de detectar las falsificaciones, se hace necesario que sean los propios fabricantes quienes etiqueten los productos.

De todo esto podemos deducir que la interoperabilidad, los estándares y la cooperación son aspectos muy importantes a la hora de aplicar RFID a los transportes. Además, dado que el transporte es una actividad que por su propia naturaleza tiene lugar a nivel internacional, el diseño de sistemas dotados de equipos RFID se beneficiaría también de la colaboración de las administraciones públicas e incluso de la policía y demás cuerpos de seguridad encargados de la vigilancia aduanera.

2.3.3. Cómo fomentar el uso de RFID en el ámbito gubernamental y el sector público.

RFID [1] ofrece aplicaciones que benefician tanto a los gobiernos como a los ciudadanos. Dichas ventajas van desde la ayuda en lo que a combatir la falsificación de documentos oficiales se refiere hasta el aumento de la transparencia en los flujos documentales y los servicios para los ciudadanos. Lo cierto es que la aplicación de RFID en este ámbito es una manera de hacer cosas antiguas de un modo diferente, no una revolución. Los procesos del sector público se beneficiarían de la tecnología RFID aumentando su fiabilidad, transparencia, eficiencia y velocidad. Algunos ejemplos serían los siguientes:

- Optimización de los flujos de trabajo.
- Aumento en la velocidad de los procesos realizados por los funcionarios públicos.
- Recogida de información estadística para el aumento de la transparencia en los procesos administrativos.
- Seguimiento de artículos robados por parte de la policía y las autoridades aduaneras.
- Monitorización y control de procesos administrativos.
- Mejora en la gestión documental (si bien el papel no pasaría a ser obsoleto, seguiría siendo necesario utilizarlo y almacenarlo aunque en menor medida).
- Localización de personas en los organismos públicos, ayudando así tanto a encontrar personas desaparecidas como a mejorar la orientación de las personas a la hora de realizar papeleo (dónde se encuentra la ventanilla a la que la persona debe ir para realizar un determinado papeleo, qué se debe hacer después para completar una determinada gestión,...).
- Tickets turísticos integrados, lo cual lógicamente requeriría de la colaboración de las muchas partes implicadas.
- Gestión de equipajes asociada a pasaportes electrónicos.

Sin embargo, hasta ahora RFID no ha tenido una gran proliferación en estos campos de aplicación. Al igual que ocurre con la aplicación de estándares ya existentes en aplicaciones nuevas, en muchos casos los estándares previos pueden ser adoptados tras adecuarlos a las necesidades y pueden servir de ejemplos que otros sectores u otros países podrían a su vez adoptar. El hecho de que existiera esta centralización podría conducir a una estrategia o planificación centralizada para RFID, que, a su vez, podría hacer que la tecnología se aplicara más allá de proyectos aislados.

También podría ser un problema el hecho de que algunos gobiernos comienzan a pensar en RFID como en una tecnología que podría mejorar la posición competitiva de un país frente a los demás. Por ejemplo, el gobierno australiano anunció el año pasado una inversión de 1.1 billones de dólares en un plan de tarjetas inteligentes basadas en RFID que sustituiría 17 aplicaciones existentes. La UE o los estados miembros podrían llevar a cabo planes similares, apoyando las nuevas aplicaciones y permitiendo así que el conocimiento científico se extendiera. Un valor añadido sería estimular investigaciones que se refieran a los aspectos considerados como limitadores de la proliferación de RFID.

Otro aspecto especialmente importante que tiene que ver con la implementación de RFID en el sector público es el hecho de que es posible asociar identificadores RFID con individuos. El problema es más marcado en el sector público debido a la visión del estado como “Gran Controlador” que en muchos ámbitos es fácil de extender. Por tanto, a pesar de no ser RFID la única tecnología en la que este problema está presente en el ámbito del sector público, el hecho es que hay que abordarlo. La mejor manera para hacerlo es la privacidad por diseño, que debe cubrir los campos de recogida, almacenaje y gestión de datos. Algunos expertos opinan que los ciudadanos deberían, como mínimo, saber qué datos se almacenan en las etiquetas RFID que tengan en un momento dado. Otros, incluso, afirman que los ciudadanos deberían poder acceder a dichos datos en cualquier momento, para hacer así todo el proceso más transparente, de modo que la posibilidad, por desconocimiento, de que piensen que se recaba sobre ellos más información de la que se da a conocer se minimice, evitando así la pérdida de confianza en el sistema, lo cual conllevaría que se dejara de utilizar.

2.3.4. Oportunidades a explotar en el uso de RFID en la industria sanitaria.

Las predicciones de mercado sugieren que el despliegue de RFID [1] en el sector sanitario crecerá de los 90 millones de dólares invertidos en 2006 a los 2.1 billones en 2016.

Como en los demás ámbitos de utilización descritos, la utilización de RFID conlleva aspectos relativos a la privacidad. Sin embargo, en este campo en concreto, dada la naturaleza especialmente sensible de los datos que tienen relación con la salud de las personas, conviene considerar algunas salvaguardas que en otros casos no serían necesarias en principio. Dentro del diseño de los sistemas RFID para este sector deberían estar consideradas la notificación clara y evidente del uso de RFID en los productos, el hecho de que las personas que usen objetos etiquetados con RFID estén de acuerdo en hacerlo (mucho más en caso de estar la etiqueta asignada a una persona en lugar de un objeto), y la puesta a disposición del usuario de la opción de apagar temporalmente el dispositivo y garantizar el seguro almacenado y transferencias de los datos.

Las aplicaciones dentro del ámbito sanitario que pueden contribuir a la proliferación de RFID en este sector son:

- Seguimiento e identificación de pacientes.
- Control del cumplimiento por parte de los pacientes de las prescripciones facultativas en lo referente a medicación.
- Ayuda a los deficientes visuales.
- Seguimiento de medicamentos para evitar su falsificación.
- Seguimiento de bolsas de sangre.
- Mejora de los flujos de trabajo en los hospitales y centros de salud.

2.3.5. Cómo combinar RFID con las nuevas aplicaciones en telefonía móvil e Internet.

RFID [1] es más una familia de tecnologías que una única tecnología que permite la identificación única de objetos o mercancías. El uso de RFID en relación con los móviles (como puede ser el asociar pagos a teléfonos móviles) es algo habitual en Japón. Las aplicaciones basadas en el seguimiento de recursos móviles y personas (por ejemplo transferir automáticamente las llamadas que se reciben en el teléfono móvil al teléfono de la oficina o habitación en la que la persona se encuentra, monitorización de visitantes,...) no son en absoluto ciencia ficción. RFID podría incluso usarse para obtener detalles de un producto etiquetado o de anuncios en la calle, de modo muy similar al que podemos ver en alguna conocida película que se sitúa en el futuro. La combinación de RFID, la telefonía móvil y las tecnologías de localización hacen factibles aplicaciones realmente innovadoras.

Todas estas aplicaciones requieren del usuario que active en el dispositivo la orden de poner en funcionamiento la aplicación del tipo que sea. Esto implica el acto deliberado por parte de los usuarios a la hora de activar el lector. El hecho de saber que se está usando la tecnología y se elija de un modo activo que se quiere activar, hace que esta aplicación de RFID permita un nivel de seguridad y protección de la privacidad relativamente altos. Sin embargo, en muchas de estas aplicaciones se necesita la identificación individual del usuario, lo cual como se ha comentado en múltiples ocasiones, lleva a las consideraciones de privacidad.

Las medidas que se lleven a cabo para impulsar este tipo de aplicaciones deberían ser independientes de la tecnología y valorar las consecuencias y aspectos de cada aplicación de modo individual. Especialmente en lo que se refiere a etiquetas RFID llevadas por los individuos, (incluyendo las que están en objetos que el consumidor adquiera), es importante determinar que información se almacena en la etiqueta y cómo el proceso de recolección y procesamiento de la misma puede enriquecer los datos almacenados mediante la correlación. Aquí hay que referirse de nuevo a las recomendaciones de la OECD, que pueden servir de guía a la hora de diseñar aplicaciones de este tipo. Incluyen principios de diseño adecuados para aplicaciones basadas en la localización, que pueden poner al descubierto la identidad. Es importante ser transparente y usar un nivel de agregación que no comprometa a los individuos. Los

usuarios deberían siempre estar informados de las implicaciones a nivel de seguridad que el uso del RFID supone.

La legislación existente en materia de privacidad parece que pone a nuestra disposición una estructura adecuada para que en ella quede incluida RFID. Sin embargo, hay que añadir unas guías sobre el modo en que hay que notificar a los usuarios de la existencia de una etiqueta RFID y el de conseguir el consentimiento informado para recabar datos. El desarrollo de dicha guía podría beneficiarse claramente de la inclusión de los interesados en la tecnología, considerando a los fabricantes, proveedores de servicio, vendedores, organizaciones de consumidores y gobiernos. Posteriormente, será necesario un apoyo conjunto, transparente y robusto para conseguir que se cumpla.

2.3.6. Otras aplicaciones

La tecnología RFID continúa expandiéndose con el desarrollo continuo de otras aplicaciones. A continuación se enumeran algunas de las aplicaciones más interesantes que se están explorando en la actualidad o bien que ya se encuentran en uso:

2.3.6.1. Industria del automóvil

A principios de los 90 aparecieron sistemas RFID [9] con transponders destinados a la inmovilización de automóviles como un adelanto importante en la seguridad de los vehículos ante posibles robos. Los transponders de estos sistemas eran muy pequeños (cabían en la llave), no necesitaban baterías y eran de solo lectura. Cada uno de estos transponders disponía de un único y fijo código de seguridad. Su funcionamiento era sencillo, cuando el propietario giraba la llave producía unas señales electromagnéticas que eran las que verificaban la llave y permitían el arranque del motor.

En el sector de la seguridad en el automóvil también se diseñó un sistema que inmovilizase el vehículo, de modo que cuando el usuario cerraba la puerta con su mando generaba un código que recibía el coche, y que éste volvía a enviar al transponder del mando a modo de confirmación. Podemos ver el funcionamiento en la Figura 2:

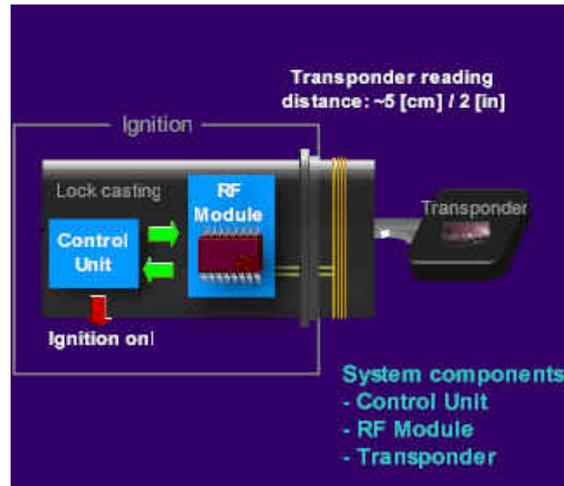


Figura 2: Esquema de funcionamiento del sistema de seguridad de un automóvil

Las etiquetas RFID de microondas se utilizan como llave inteligente con funciones antirrobo, apertura e ignición en vehículos de gama alta. Por ejemplo, el modelo Prius de 2004 de Toyota está disponible con una llave inteligente como accesorio opcional, así como en algunos modelos de Lexus. Esta llave inteligente emplea un circuito RFID activo que permite que el automóvil reconozca la presencia de la llave a un metro del coche. Y, en consecuencia, el conductor puede abrir las puertas y arrancar sin necesidad de sacar la llave del bolsillo, ni introducirla en la ranura de desbloqueo y puesta en marcha.

Podemos ver otro ejemplo en Nissan:



Figura 3: Sistema de seguridad de vehículos (Nissan)

Otra aplicación en los automóviles que cada vez incorporan más, es la tarjeta identificadora que permite que el vehículo se abra sin necesidad de introducir ninguna llave. Sólo necesita que el propietario se acerque lo suficiente al vehículo con su tarjeta para que detecte un transponder, lo confirme y proceda a desbloquear las puertas. Es un sistema más útil que el tradicional “mando a distancia”, en el que había que presionar un botón para abrir el vehículo.

2.3.6.2. *Telepeaje y evolución*

Una primera aplicación de cara al consumidor fueron los peajes automatizados (telepeajes), introducidos en la década de los 80, pero que tuvieron su auge en los 90. Su funcionamiento es un ejemplo sencillo: un transponder activo que sólo utiliza la energía procedente de una batería cuando recibe una señal de activación emitida por un lector, y que típicamente va colocado en el parabrisas del vehículo, recibe al llegar a la barrera de peaje, una señal proveniente del reader, que es reflejada incluyendo una identificación única proveniente del coche que lo lleva. Gracias a que se utilizan etiquetas activas, no se requiere una estrecha proximidad para efectuar el seguimiento, siendo posible la lectura de tarjetas a distancias de hasta 60 metros aproximadamente. El número de identificación está asociado a una cuenta del propietario del vehículo. El resultado es evidente ya que se pierde mucho menos tiempo, no se tiene que esperar al cambio, y por tanto no se forman colas para realizar el pago del peaje.



Figura 4: Una etiqueta RFID empleada para la recaudación en un peaje electrónico

Este mismo tipo de lectores se está utilizando actualmente en pruebas destinadas a medir los tiempos de conducción. En este caso, los lectores están instalados en diferentes puntos de la carretera y se recogen datos para supervisar el tiempo de conducción durante un viaje.

En los inicios de la década de los 90, ExxonMobil (que posteriormente pasó a llamarse Mobil) introdujo en el mercado Speedpass, un sistema RFID que permite a los conductores que ya poseen una cuenta asociada con sus tags de telepeaje, el pago automatizado de gasolina en los surtidores. Al adquirir este servicio, se entrega a cada conductor un tag pasivo a 13.56MHz dentro de una capsula que puede ir colgada en un llavero. El método de pago es simplemente pasar cerca del surtidor la cápsula cuando nos sea solicitado, y el reader integrado en cada surtidor hace el resto. Es una evolución muy interesante ya que los transportistas y otros trabajadores de la carretera pueden perder mucho menos tiempo así. Este sistema es pionero en Estados Unidos, y cuenta ya con 7 millones de usuarios. Además, en periodos de máxima afluencia en las gasolineras, dado que el tiempo de completar la operación es mínimo, ha permitido incrementar el número de coches surtidos, lo cual ha incrementado el beneficio de éstas.

En base a esto, MasterCard y Visa están experimentando con RFID para dar a sus consumidores la posibilidad de pagar con tarjetas inteligentes pequeñas compras, además de adherirse precisamente al campo de las gasolineras. NCR, Verifone y otras compañías fabricantes de lectores de tarjetas de crédito han desarrollado lectores de banda magnética que también tengan funcionalidades RFID para pagos seguros. A pesar de existir un estándar internacional para pagos seguros por RFID, al no haber una red única de pagos no sería posible realizar nuestras compras con este tipo de tecnología en cualquier parte. Por tanto, parece claro que todavía falta tiempo para que toda la infraestructura funcione perfectamente.

2.3.6.3. Tráfico

Una aplicación propuesta es el uso de RFID [10] para señales de tráfico inteligentes en la carretera. Se basa en el uso de transpondedores RFID enterrados bajo el pavimento (radiobalizas) que son leídos por una unidad que lleva el vehículo (OBU, de *OnBoard Unit*). Ésta filtra las diversas señales de tráfico y las traduce a mensajes de voz o da una proyección virtual usando un HUD (*Heads-Up Display*). Su principal ventaja comparada con los sistemas basados en satélite es que las radiobalizas no necesitan de mapeado digital ya que proporcionan el símbolo de la señal de tráfico y la información de su posición por sí mismas.

Otro ejemplo es el caso de aplicación de Edimburgo para ayudar a la descongestión del tráfico favoreciendo la prioridad del transporte público. En las cercanías de cada semáforo bajo el suelo se ha instalado una antena de radiofrecuencia que detecta cuando se aproxima un autobús o un vehículo prioritario (ambulancias, coches de policía y bomberos). Los semáforos facilitan el paso a estos vehículos, favoreciendo el uso del transporte público y el descongestionamiento del tráfico.

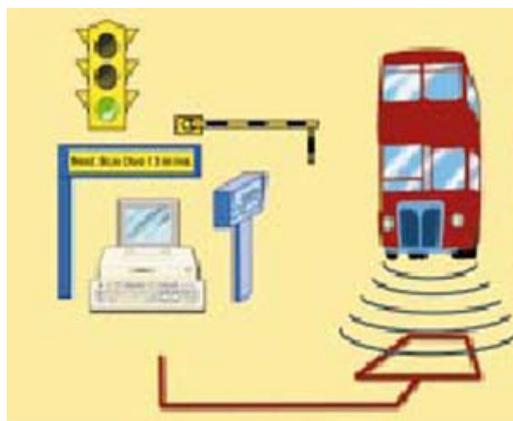


Figura 5: Sistema de optimización del tráfico (Edimburgo)

2.3.6.4. Información en estaciones de autobuses

Se trata de una experiencia piloto puesta en marcha en Brasil. Se utilizan displays para informar a los pasajeros en la estación. Cada plataforma dispone de una antena y cada autobús de una tarjeta RFID. La información de salidas y llegadas se produce en tiempo real y de forma totalmente automática. Se consigue mayor versatilidad y capacidad de reacción a cambios sin que los usuarios se vean afectados.

2.3.6.5. Identificación de equipajes en el transporte aéreo

Es un claro ejemplo de una aplicación que puede reducir costes y tiempo a las compañías aéreas y a los aeropuertos. Se puede sustituir personal si el equipaje es direccionado por toda la cadena mediante sensores que detectan el transponder con la información del avión en el cual tiene que ser cargado. Aparte de esta ventaja, también es más cómodo a la hora de identificación del equipaje sobre posibles pérdidas. Además no supone un gasto excesivo para la rentabilidad que el sistema puede ofrecer. No ocurre ningún problema al ponerlo sobre las etiquetas ya usadas en los aeropuertos ni importa que los equipajes estén orientados de cualquier forma o apilados de cualquier manera.

Un sistema RFID [9] es mucho más eficaz en esta aplicación que los usados códigos de barras. Las principales ventajas por las que las compañías del sector están incorporando estos sistemas son:

- La posibilidad de convivir con los sistemas de códigos de barras ya existentes y sus scanners. Así como encajar perfectamente en los sistemas de control de aeropuertos y sus sistemas de seguridad especialmente.
- Incorporar más información en el dispositivo sin aumentar el tamaño.
- La información va incorporada en la propia etiqueta, por lo que se ahorra la comunicación continua con una base de datos.

2.3.6.6. *Facturación de equipajes*

Otra aplicación emergente de RFID que se está consolidando es la facturación de equipajes en vuelos. La compañía British Airways lleva desde 1999 identificando el equipaje de las líneas regulares de Manchester y Munich a Londres con tecnología RFID. Los *tags* proporcionan un código de identificación único para cada maleta y se utiliza para dirigir el equipaje de manera más rápida y con menos lugar a error, eliminando gran parte del riesgo en acarrear pérdidas. Además, la posibilidad de actualización automática de la información de las etiquetas permite una mejor gestión ante cambios de última hora en los vuelos o en las conexiones.



Figura 6: Sistema de distribución de correo postal (Italia)

2.3.6.7. *Implantes humanos*

La empresa *Applied Digital Solutions* propone su chip "*unique under-the-skin format*" (formato bajo-la-piel único) [10] como solución a la usurpación de la identidad, al acceso seguro a un edificio, al acceso a un ordenador, al almacenamiento de expedientes médicos, a iniciativas de anti-secuestro y a otra variedad de aplicaciones.

El *Baja Beach Club* en Barcelona utiliza un Verichip implantable para identificar a sus clientes VIP, que lo utilizan para pagar las bebidas y para acceder a la discoteca.

El departamento de policía de Ciudad de México ha implantado el Verichip a unos 170 de sus oficiales de policía, para permitir el acceso a las bases de datos de la policía y para poder seguirlos en caso de ser secuestrados.

2.3.6.8. Identificación de animales

Numerosos propietarios de mascotas han empezado a implantar en sus animales etiquetas pasivas de RFID [12]. Son etiquetas minúsculas en cápsulas de cristal que se introducen bajo la piel. Éstas poseen un número de identificación exclusivo que puede detectarse mediante un lector si se lleva al animal a un veterinario o sociedad protectora de animales. Una vez obtenido el número de identificación, es posible efectuar una búsqueda en una base de datos para localizar la correspondiente información personal del propietario (nombre, dirección, número de teléfono,...) en caso de que sea necesario contactar con él.

2.3.6.9. Seguridad y control de accesos

Las aplicaciones en este campo son uno de los puntos fuertes de los sistemas RFID, además de una de las preocupaciones tradicionales en cualquier empresa u organización. La tecnología RFID puede, sino remplazar los sistemas actuales, si complementarlos. No son unos sistemas nuevos, ya que llevan varios años usándose en empresas, recintos o parkings para controlar el acceso a sus instalaciones.

Estas tarjetas son cada vez más funcionales, y normalmente obligan a introducir además un código secreto para evitar que la tarjeta sea usada por una persona incorrecta, pudiendo permitir no sólo el acceso a distintas zonas, sino también a máquinas expendedoras o por ejemplo para pagos pequeños en una cafetería de la empresa.

Los beneficios son, aparte de una reducción de costes en algunos casos, la versatilidad de las tarjetas para añadir o disminuir permisos de acceso o para adaptarse a situaciones poco habituales, como visitas o accesos puntuales.

2.3.6.10. Comercio a distancia

Los sistemas RFID [9] son lo suficientemente seguros como para permitir pagos con ellos, el cliente paga con su teléfono móvil o con una llave especial. Además proporciona información a las empresas sobre los gustos del cliente, pudiendo ofrecerle un servicio con más calidad.

El transponder posee una información única programada que al pasar cerca del lector es identificada, se verifica la autenticidad del transporte, y se pide permiso para la transacción.

Por lo que hace al sistema de pago en gasolineras muy cómodo tanto para el cliente como para la estación de servicio. Aumenta el número de coches que pueden repostar por hora, así como ofrece al usuario un tiempo menor de espera. Existen dos métodos:

- Método Token: Es muy similar al pago en dispensadores de bebida, cada transponder tiene un único código ya programado, que además está relacionado con una tarjeta de crédito. Se inicia la comunicación con el lector situado en el surtidor, nunca se envía el número de la tarjeta de crédito que no está ni siquiera almacenado en el transponder. Se pide autorización a través de la estación de servicio, y se le permite repostar.
- Método “Manos Libres”: Es un sistema que difiere del anterior en que el transponder va adherido al cristal trasero del coche. Se realizan las mismas operaciones que en el caso anterior pero con más velocidad, con lo que la comunicación se realiza incluso antes que el cliente baje del coche.

2.3.7. Casos prácticos.

2.3.7.1. *Shopping Navis Wagon*

Proyecto desarrollado en Japón por las empresas *Fujitsu*, *Jusco*, *Dai Nipon* y el gobierno japonés a principios del 2006. Se empezó a probar en supermercados de EE.UU. y Japón durante este mismo año. El proyecto consiste en un carrito de la compra inteligente equipado con una pantalla LCD y un lector RFID [11] manual que detecta los productos con tarjetas RFID incorporadas a ellos. Los productos son mostrados en la pantalla LCD junto con una serie de características, como son el precio, la fecha de caducidad, posibles ofertas, etc.



Figura 7: Imagen del Shopping Navis Wagon

2.3.7.2. *Shopping Buddy*

Proyecto desarrollado en el 2004 por la empresa *IBM* en EE.UU. y que fue probado por primera vez en un supermercado de la cadena *Stop & Shop* en el estado de Massachussets. Este proyecto se le conoce como “*A Kiosk on Wheels*” o kiosco con ruedas, es que una especie de ayudante de compra, es decir, una pequeña computadora instalada en el carrito que mediante un scanner o lector manual detecta todos los productos que incorporen una tarjeta de RFID [11]. Esta computadora ofrece información instantánea tanto del producto como del precio total de la compra que lleva el carrito. Además se tiene la posibilidad de personalizar dicha computadora mediante la

introducción de unas tarjetas personales configuradas previamente según el perfil del cliente, que permitirían al carrito ofrecer información sobre los productos que normalmente se consumen, como por ejemplo, el pasillo en el cuál se encuentran los productos, las ofertas que surjan o información de éstos según nuestros hábitos alimentarios. En la actualidad el Shopping Buddy está en funcionamiento en gran parte de los supermercados de esta cadena estadounidense.



Figura 8: Imágenes del Shopping Buddy

2.3.7.3. Sistema de trazabilidad de personal sanitario

El proyecto consiste en diseñar un sistema de localización en tiempo real para personal de un hospital psiquiátrico dentro de unas zonas delimitadas.

En concreto, se han definido 11 zonas de localización. Dentro de cualquiera de estas zonas el usuario del sistema podrá pulsar el tag que lo identificará de forma individual.

La identificación se realiza a través de un tag de pulsera RFID [14] que la persona lleva en todo momento, el cual transmite los datos que contiene cuando detecta que está siendo interrogado por un lector RFID. El tag se codifica con un identificador único (ID), lo que permite que las lecturas de los diferentes tags RFID vayan asociadas a la identificación individual.

Los lectores identifican al tag en el momento en que un usuario pulsa el botón de aviso. Esta señal de alarma es llevada al software de control que muestra en pantalla la información asignada al tag (nombre de usuario y otros datos que se consideren relevantes), así como la localización del mismo.

Además, el sistema dispone de un sistema avanzado de seguridad que identifica al usuario que se ha quitado la pulsera y lo localiza dentro del recinto de control.

La alarma se emite mediante una señal sonora y visual y se recibe en un puesto de control (tantos como sea necesario). En el puesto de control existe un ordenador que recibe las alertas. En el programa de gestión la alarma se visualiza de tres formas distintas: en un panel de control, en histórico y/o en un sinóptico. Es posible plasmar en pantalla dos vistas a la vez en modo ventana partida.

En la vista sinóptica, la exactitud de la identificación depende de la zona de localización donde se encuentre el sujeto, dentro de la zona, la situación del mismo, el número de lectores que se hayan instalado, etc.

En la vista panel se muestra de forma inequívoca la zona donde se ha lanzado la alarma.

Hay una tercera vista donde, a modo de histórico, se listan todas las alarmas que han producido, indicando el usuario que la lanzó, la hora y fecha y la zona de localización.

Las alarmas deberán ser “aceptadas” en el software indicándose de forma automática, la fecha y hora de la aceptación, así como el usuario que ha realizado la acción. Toda esta información queda registrada para poder procesarla conjuntamente cuando se desee.

Es importante, por tanto, que todos los usuarios se registren de forma individual al acceder a la aplicación.

La comunicación de las alarmas desde los lectores RFID hasta los equipos de procesamiento (ordenadores) se realizará en Wi-Fi. Para ello, se dotará a cada lector de un conversor Ethernet/Wi-Fi y se deberá cubrir el edificio de forma conveniente para que la señal de alarma llegue sin problemas hasta el servidor.

Cualquier terminal conectado al sistema recibe la misma información en el mismo instante de tiempo.

Se puede aceptar la alarma desde cualquiera de los terminales, eliminándose de la vista actual y pasando al histórico. Se registra el usuario que ha aceptado la alarma, así como la hora y fecha en que lo ha hecho.

El sistema es totalmente fiable, eficaz y escalable en todos sus aspectos: usuarios, zonas de localización, registros de alertas, etc. Esto hace de él un sistema altamente seguro y flexible, ya que permite combinar otros sistemas de control de acceso y control de presencia al centro.

2.3.7.4. Control de errantes y localización RFID en residencias y geriátricos

El Geriátrico de Ferreries (Menorca) ha instalado en el centro una solución de localización, monitorización e identificación en tiempo de real de residentes y personal.

La solución está basada en tecnología RFID [19] y ha sido implantada por una compañía especializada en esta tecnología. El centro cuenta con 19 plazas de residencia geriátrica y 10 plazas de centro de día.

La solución instalada en el centro geriátrico de la ciudad menorquina tiene como principal objetivo la optimización de los procesos de trabajo que permiten elevar los niveles de servicio y, por tanto, la atención a los residentes, así como facilitar la toma de decisiones a la gerencia del centro. El conocimiento de la ubicación en tiempo real de cada residente y trabajador permite, por ejemplo, terminar con uno de los principales problemas de este tipo de centros como es el control de los residentes, residentes que en algunos casos sufren enfermedades mentales que pueden aumentar más el riesgo de que se pierdan por la residencia o fuera de ella. De este modo, las personas residentes en el centro están localizadas en todo momento, pudiéndose visualizar su ubicación en cualquier consola de control.

La solución también permite que el residente pueda solicitar ayuda desde cualquier lugar del centro en el que se encuentre con sólo pulsar el botón de su transmisor. Hasta el momento, únicamente se podía solicitar ayuda a través de una alarma, siempre y cuando el residente se encontrara en la habitación.

La integración del sistema ha sido de una forma muy sencilla, pues los residentes sólo tienen que llevar una pulsera con un tag activo y el personal otra en la solapa de su uniforme de trabajo.

La solución implantada en el Geriátrico de Ferreries lo convierte en uno de los centros más seguros y eficaces en su gestión, y en una de las residencias más punteras, tecnológicamente hablando.

3. ANÁLISIS

Cuando se va a desarrollar un sistema completo (hardware y software), en el que se tengan en cuenta todas las necesidades que tiene que cubrir, hay que entender bien cuál es el dominio de la aplicación y su funcionalidad. En consecuencia, sin un análisis previo del problema a resolver no se puede realizar un buen diseño de la aplicación que solucione dicho problema.

En este apartado en primer lugar se presenta la especificación de los requisitos.

Posteriormente se procede a partir del lenguaje de modelado unificado UML [2], a especificar la funcionalidad del sistema por medio de los diagramas de caso de uso.

3.1. Requisitos

En este apartado se detallan uno a uno los requisitos que componen la aplicación. Se van a dividir en requisitos funcionales y no funcionales.

3.1.1. Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales serán agrupados en varios tipos: generales, gestión de la base de datos y requisitos de interfaz.

Generales

- El sistema de localización será en interiores de edificios y que no límite cómo tienen que ser los escenarios. Hay tecnologías como los ultrasonidos que son muy dependientes de que haya por ejemplo obstáculos. En nuestro caso esto también sucede pero se puede compensar añadiendo más tags.

Estudio de la tecnología RFID y desarrollo de una aplicación para la localización de usuarios

- El sistema será escalable, se pueden añadir cada vez más escenarios porque se trata toda la información en la base de datos.
- Se tiene que tratar de una tecnología barata y de fácil despliegue, para que se pueda montar el sistema fácilmente, sin tener que hacer modificaciones o cosas complicadas.
- También ha de ser de una baja complejidad y que ofrezca buena precisión en los cálculos.
- El lector RFID tiene que tener un alcance de varios metros, ya que al ser utilizado para un sistema de localización de personas sería crítico que el alcance fuese inferior.

Gestión de la base de datos

Requisitos sobre las acciones que se pueden llevar a cabo con la información contenida en la base de datos.

- El usuario se conectará a la base de datos porque se quieren recuperar los escenarios del sistema.
- La aplicación podrá crear, eliminar o modificar tanto escenarios como puntos de la base de datos.

Requisitos de interfaz

- Debe ser posible el acceso desde cualquier parte de la aplicación a cualquier otra parte de la aplicación.
- Debe ser posible la selección de datos dentro de los componentes que lo permitan (cuadros de texto, desplegables,...).
- Los usuarios podrán cerrar la aplicación cuando deseen.

Estudio de la tecnología RFID y desarrollo de una aplicación para la localización de usuarios

- La máquina donde sea ejecutada la aplicación tiene que tener instalada todo el software y protocolos necesarios para una correcta conexión a Internet y la base de datos.

3.1.2. Requisitos no funcionales

Los requisitos no funcionales serán agrupados en requisitos de rendimiento, requisitos de mantenimiento, requisitos de portabilidad y requisitos de documentación. A continuación se explica cada uno de ellos:

Requisitos de rendimiento

Requisitos para la obtención de resultados satisfactorios de las tareas realizadas en el proyecto.

- La complejidad de la aplicación deberá ser baja para poder ser incorporado en dispositivos ligeros como PDAs o teléfonos móviles.
- El tiempo de respuesta de la base de datos tendrá que ser eficiente.
- Todos los componentes de la aplicación tienen que estar sincronizados. Se debe permitir la actualización dinámica de la posición del usuario.

Requisitos de mantenimiento

Requisitos para la buena adaptación del sistema a futuros cambios.

- El sistema deberá ser susceptible de ampliación, por lo que deberá ser diseñado de una manera sencilla.

Requisitos de portabilidad

Requisitos para el traslado de la aplicación a otros entornos.

- El sistema deberá poder utilizarse por todos los sistemas operativos.

Requisitos de documentación

Requisitos referentes a la buena realización de la documentación del proyecto.

- La documentación del proyecto constara de toda la información base para la comprensión general del proyecto.

3.2. Análisis de Casos de Uso

A través del lenguaje UML [2] y concretamente del diagrama de Casos de Uso se va a plasmar la funcionalidad requerida para el sistema.

Como se observa en la figura siguiente, existen dos posibles actores: el *Administrador*, que es el que se encarga de gestionar todo lo relacionado con los escenarios, y el *Usuario final* que es el que quiere ser localizado.

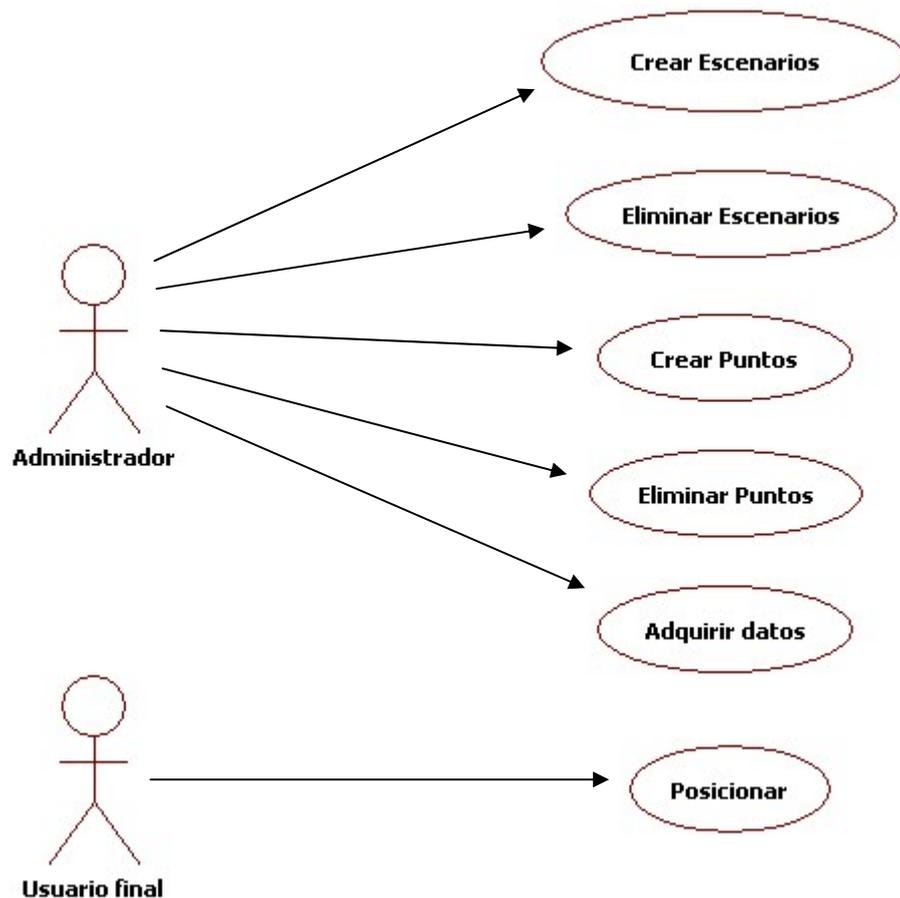


Figura 9: Diagrama de casos de uso

A continuación, se procede a la descripción de cada uno de los casos de uso.

Tabla 1: Crear escenarios.

NOMBRE	Crear escenarios
ACTORES	Administrador
DESCRIPCION	Se asigna el nombre y la descripción del escenario y al pulsar el botón "Crear" éste se almacena en la base de datos.
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú "Adquisición de datos". Estar conectado a la base de datos.
POSTCONDICIONES	El usuario puede interactuar con este escenario actualmente creado.

Tabla 2: Eliminar escenarios.

NOMBRE	Eliminar escenarios
ACTORES	Administrador
DESCRIPCION	Se selecciona el escenario y al pulsar el botón "Eliminar" éste se elimina de la base de datos.
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú "Adquisición de datos". Estar conectado a la base de datos. El escenario tiene que existir
POSTCONDICIONES	Escenario eliminado

Tabla 3: Crear puntos.

NOMBRE	Crear puntos
ACTORES	Administrador
DESCRIPCION	Se asignan las coordenadas X e Y, la info y el escenario del punto y al pulsar el botón "Crear" éste se almacena en la base de datos.
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú "Adquisición de datos". Estar conectado a la base de datos.
POSTCONDICIONES	El usuario puede interactuar con este punto actualmente creado.

Tabla 4: Eliminar puntos.

NOMBRE	Eliminar puntos
ACTORES	Administrador
DESCRIPCION	Se selecciona el escenario y el punto y al pulsar el botón "Eliminar" éste se elimina de la base de datos.
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú "Adquisición de datos". Estar conectado a la base de datos. El punto tiene que existir y pertenecer al escenario marcado.
POSTCONDICIONES	Punto eliminado

Tabla 5: Adquirir datos.

NOMBRE	Adquirir datos
ACTORES	Administrador
DESCRIPCION	Se selecciona el escenario y el punto y al pulsar el botón "Adquirir" se obtienen el identificador y la potencia (RSSI) del tag que se recibe. Esto se almacena en la base de datos
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú Adquisición de datos. Estar conectado a la base de datos. El escenario y el punto tienen que existir.
POSTCONDICIONES	El usuario puede adquirir datos todas las veces que quiera.

Tabla 6: Posicionar.

NOMBRE	Posicionar
ACTORES	Usuario final
DESCRIPCION	Se selecciona el escenario y al pulsar el botón "Iniciar" éste se visualiza mostrando en cada momento la posición donde se encuentra la persona.
PRECONDICIONES	Haber seleccionado la opción del menú "Posicionamiento". Estar conectado a la base de datos. Todo el sistema tiene que funcionar correctamente.
POSTCONDICIONES	El posicionamiento se ha llevado a cabo correctamente.

4. DISEÑO

En este apartado se describe el diseño del sistema desarrollado en este trabajo. Éste parte de de los requisitos recogidos en el apartado de análisis.

El sistema desarrollado se estructura en las siguientes partes: una interfaz gráfica, el motor de modelado, el motor de localización, la base de datos, el lector y los tags RFID.

El sistema se ha diseñado para estar montado en un dispositivo móvil (portátil, PDA,...) y consiste en un conjunto de herramientas orientadas tanto al modelado de escenarios como a la localización de usuarios en ellos. A todas estas funciones se accede a través de una interfaz gráfica. El sistema funcionará exclusivamente en escenarios equipados con tarjetas RFID activas y su comportamiento dependerá de la distribución de dichas tarjetas y de la cantidad de las mismas.

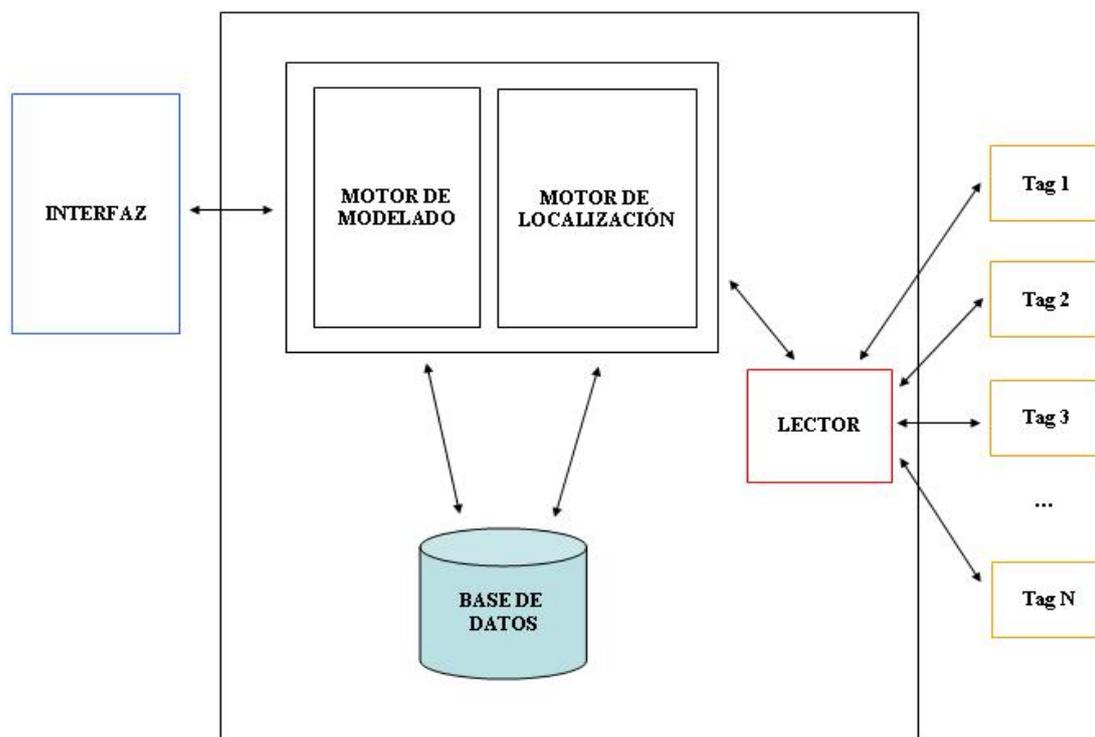


Figura 10: Arquitectura del sistema.

Cada una de estas partes será descrita en mayor profundidad a lo largo del presente apartado.

4.1. Diseño de la interfaz gráfica de usuario

En este punto se va a proceder a describir el diseño de la interfaz de la aplicación. Seguidamente se muestra el boceto de diseño de las interfaces.

A través de la aplicación se podrá acceder a todas las funciones requeridas, tanto por los usuarios administradores encargados de modelar los escenarios, como por los usuarios finales que requieran visualizar su posición sobre una representación gráfica del escenario en el que se encuentran.

Las ventanas por las que pueden navegar los usuarios son las siguientes: la inicial, el menú, la de creación de escenarios, la de eliminación de escenarios, la de creación de puntos, la de eliminación de puntos, la de adquirir datos y finalmente la de posicionamiento.

En cuanto al flujo de información de las ventanas decir que siempre aparecerá primero la ventana de inicio y después la del menú. A continuación si se selecciona la Adquisición de datos, se puede tratar cualquiera de las cinco partes que la componen, eso sí, si se quieren eliminar tanto escenarios como puntos o si se quieren adquirir datos, siempre tienen que haberse creado con anterioridad esos escenarios y puntos, porque sino lógicamente esas acciones no pueden llevarse a cabo. Si se selecciona Posicionamiento, tiene que anteriormente haberse creado el escenario y los puntos asociados a él, y también haberse realizado la adquisición de datos de manera satisfactoria.

La primera ventana es la de inicio, donde lo único que hay sería la pestaña Archivo que es la que va a contener un pequeño menú despegable.



Figura 11: Ventana inicial.

La siguiente presenta el menú propiamente dicho que consta de tres elementos: Adquisición de datos, Posicionamiento y Salir. La opción de Salir lo único que haría es cerrar el menú, no la aplicación por completo.



Figura 12: Menú.

4.1.1. Adquisición de datos

La Adquisición de datos permite recoger los nuevos escenarios por los que podrán moverse los usuarios, así como representar sus puntos y recoger las medidas de señal recibidas en dichos puntos de las distintas tarjetas detectadas en el escenario. Toda esta información conforma los modelos que serán aplicados en la localización de usuarios.

Va a constar de cinco ventanas. La primera corresponde a la creación de escenarios, en la que se pedirán dos datos, el nombre que se le quiere dar al escenario y una breve descripción. La opción de Crear, si todo está correctamente, actuará sobre la base de datos.

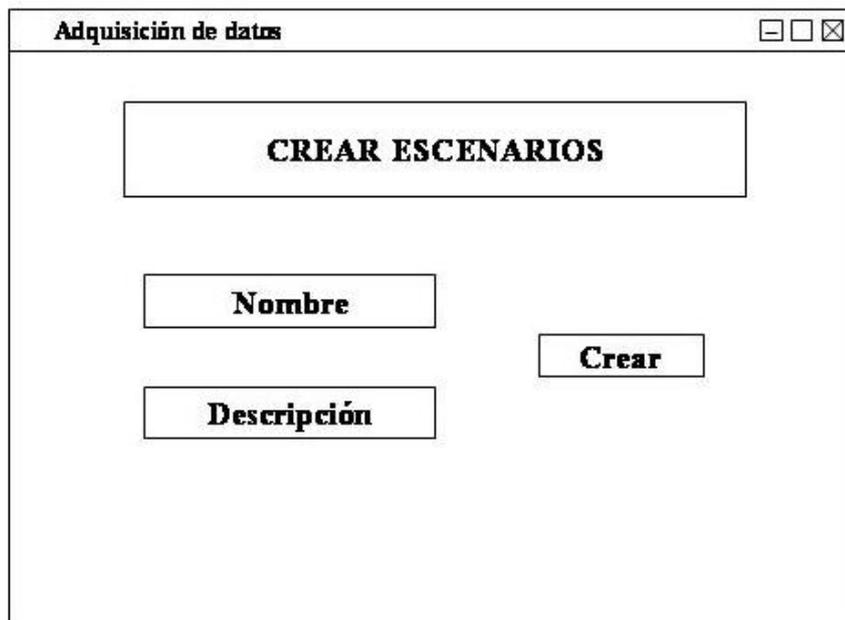


Figura 13: Módulo de creación de escenarios.

La segunda ventana corresponde a la eliminación de escenarios, en la que se selecciona el escenario en cuestión que se quiere borrar. La opción de Eliminar, si todo está correctamente, actuará sobre la base de datos.

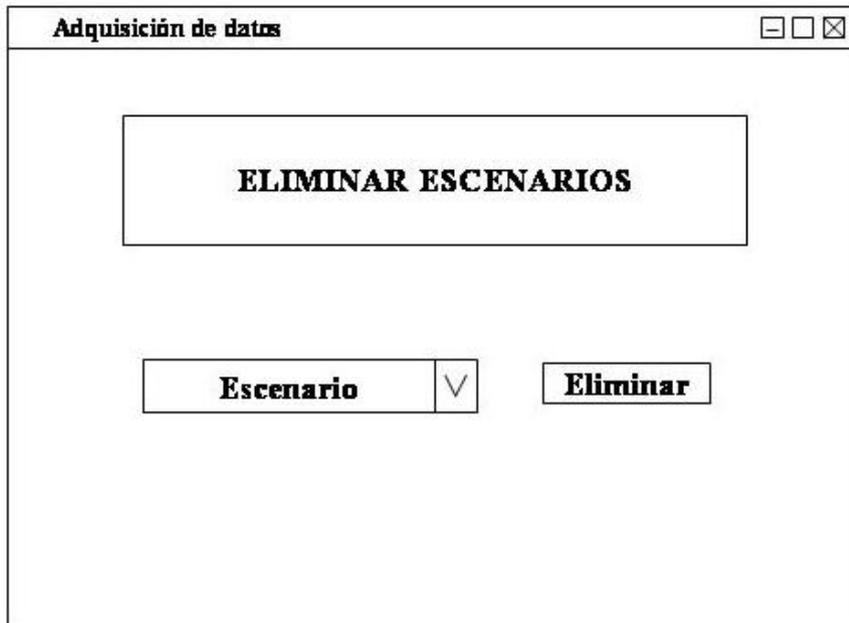


Figura 14: Módulo de eliminación de escenarios.

La tercera corresponde a la creación de puntos, en la que se pedirán cuatro datos, las coordenadas "x" e "y" donde va a estar situado dicho punto, una información que nos indica si ese punto está libre o si corresponde a una mesa, silla, puerta, etc., y el escenario del que va a formar parte. La opción de Crear, si todo está correctamente, actuará sobre la base de datos.

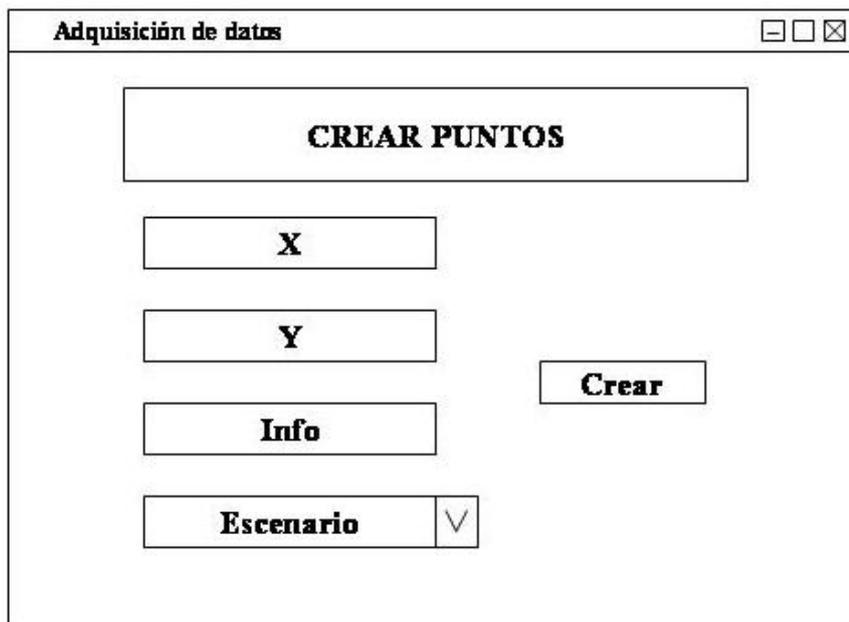


Figura 15: Módulo de creación de puntos.

La cuarta ventana corresponde a la eliminación de puntos, en la que se seleccionan el punto a borrar y el escenario donde se encuentra dicho punto. La opción de Eliminar, si todo está correctamente, actuará sobre la base de datos.

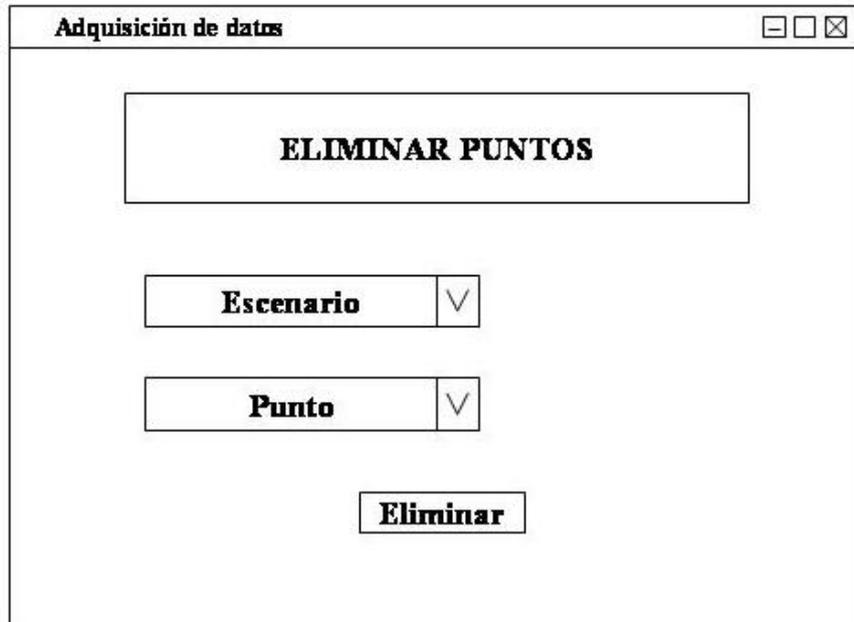


Figura 16: Módulo de eliminación de puntos.

La última ventana corresponde a la parte de la toma de datos. Se elegirán el escenario y el punto dentro de ese escenario donde se quiera realizar la operación. Aquí es donde se recoge qué tags se están localizando y las medidas de potencia de cada uno de ellos. En la opción de Adquirir, el sistema requerirá de unos pocos segundos para tomar las medidas, pero si todo está correctamente actuará sobre la base de datos.

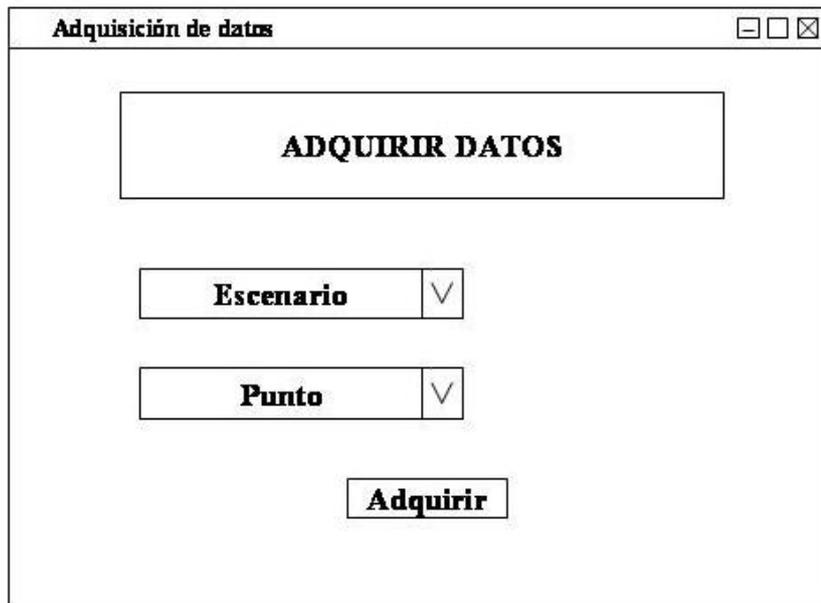


Figura 17: Módulo de adquisición de datos.

4.1.2. Posicionamiento

Por último nos encontramos con la ventana de Posicionamiento que corresponde con la segunda opción del menú. Aquí se selecciona el escenario donde se posicionará el usuario y la opción de Iniciar es la que se encargará de mostrar el gráfico que corresponde con el escenario elegido. Los puntos se van a pintar de color rojo y el usuario se representa mediante un muñeco.



Figura 18: Módulo de posicionamiento.

4.2. Diseño de los motores de modelado y localización

En este punto se va a describir cómo funcionan el motor de modelado y el motor de localización.

4.2.1. Motor de modelado

El motor de modelado permite recoger información de los escenarios para crear los modelos que se almacenan en la base de datos y que permitirán la localización posterior.

Lo primero de todo que hay que hacer es crear el escenario. Para ello hay que asignarle un nombre que sea representativo de lo que se va a tratar y también una breve descripción.

Después hay que hacer lo propio con los puntos que se consideren que van a formar parte de ese escenario. Por cada punto hay que determinar su posición dentro del plano mediante su coordenada “x” y su coordenada “y”, además de aportar algo de información sobre si se trata de un punto que se encuentra libre, o si por ejemplo se encuentra ocupado por una mesa, silla, puerta, etc.

El siguiente paso consiste en ir eligiendo cada punto del escenario para intentar localizar algún tag, y así poder identificarlo junto con la potencia de la señal que se recibe (RSSI). De cada punto se recogen varias muestras para reducir el error provocado por factores diversos como la orientación del usuario, su altura, sombras circunstanciales (presencia de otras personas en el escenario), etc.

4.2.2. Motor de localización

El motor de localización recopila las medidas de potencia recibidas de las distintas tarjetas RFID disponibles y comprueba con cuál de los puntos que componen el modelo del escenario guarda una distancia menor.

El algoritmo que se ha utilizado para calcular qué punto se encuentra a la distancia mínima es el algoritmo de la distancia euclídea. La definición de este algoritmo es la siguiente: “La distancia euclídea es la distancia "ordinaria" entre dos puntos de un espacio euclídeo que se deduce a partir del teorema de Pitágoras.” En un espacio bidimensional como el nuestro la fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$d(X, Y) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

En nuestro caso, supuestas dos tarjetas RFID en el escenario, x_2 e y_2 corresponden a los valores de RSSI recientemente obtenidos, mientras que x_1 e y_1 corresponden a los valores de RSSI que ya se tomaron con anterioridad y que se encuentran almacenados en la base de datos.

El sistema por tanto localizará al usuario en el punto que menor distancia euclídea presente entre todas las posibles medidas.

4.3. Diseño de la base de datos

Un buen diseño es la clave para iniciar con buen pie el desarrollo de una aplicación basada en una base de datos o la implementación de un sistema.

Este punto se va a dividir en dos partes, una parte de modelado conceptual a través del modelo entidad-relación y otra parte de modelado lógico a través del modelo relacional.

4.3.1. Modelo Entidad-Relación

Los objetos permitidos en esta estructura son los siguientes: entidades, atributos e interrelaciones.

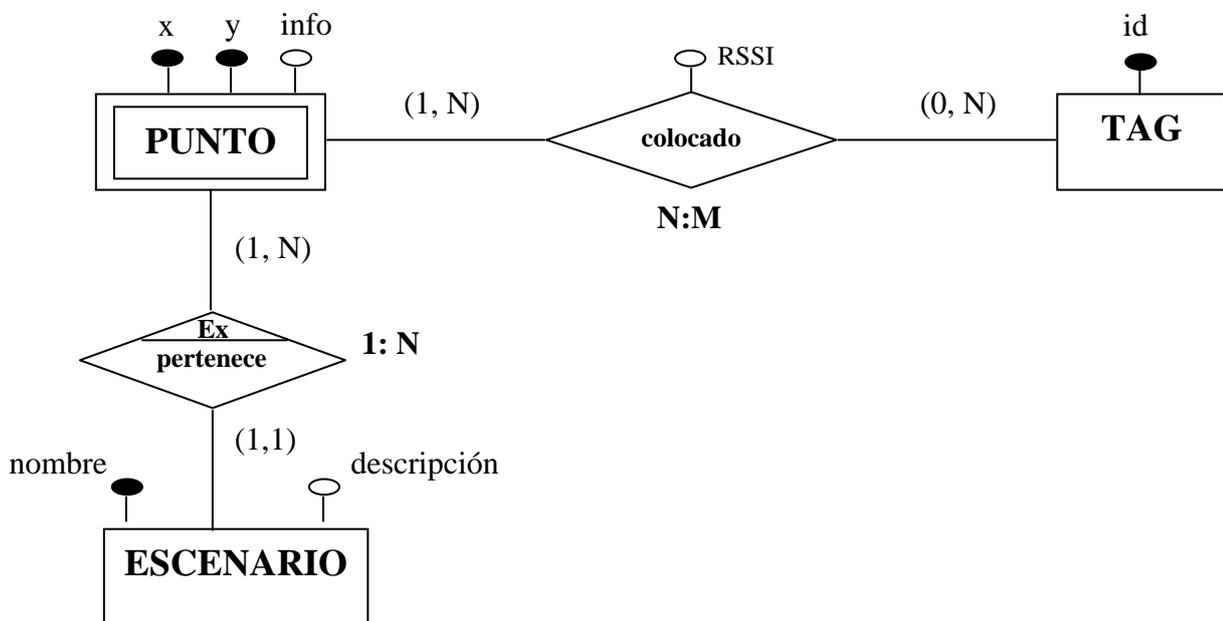
Como entidades en nuestro sistema tenemos Escenario, Punto y Tag. Se representan mediante rectángulos.

Los atributos son las propiedades o características de las entidades o interrelaciones pero en estas últimas no tienen existencia propia. Se representan mediante círculos. Como atributos de Escenario tenemos el nombre y la descripción, de Punto tenemos la coordenada “x” y la coordenada “y” referentes a su posición en el plano y la info, y de Tag tenemos su identificador (id).

La clave primaria de Escenario es el nombre, de Punto las coordenadas “x” e “y”, y de Tag el id.

Las interrelaciones son las asociaciones o vinculaciones entre las entidades. Se representan mediante rombos. Un punto sólo puede pertenecer a un escenario y en un escenario nos podemos encontrar varios puntos. En un punto puede haber colocados varios tags o ninguno y un tag puede estar en varios puntos.

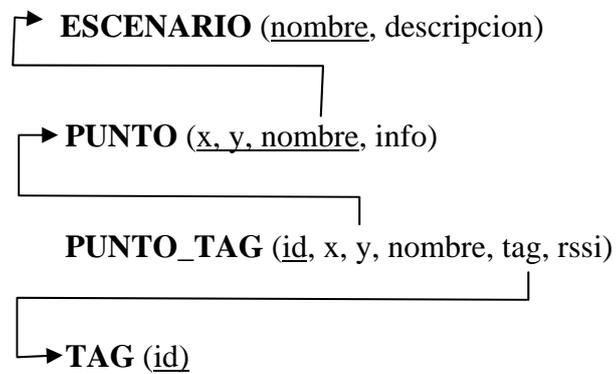
La entidad Punto depende en existencia de la entidad Escenario, por tanto es una entidad débil. Se observa por ejemplo, que en dos escenarios distintos no podría haber dos puntos con las mismas coordenadas.



4.3.2. Modelo Relacional

El paso de un esquema en el modelo E/R al relacional se basa en los principios siguientes:

- Todo tipo de entidad se convierte en una relación.
- Todo tipo de interrelación N: M se transforma en una relación.
- Todo tipo de interrelación 1: N da lugar o al fenómeno de propagación de clave o a una nueva relación.



4.4. Elección de los dispositivos RFID

Al principio se tenía la intención de realizar el proyecto sobre un dispositivo móvil PDA, y a partir de ahí buscar la tecnología más adecuada para llevar a cabo el sistema de localización. Al elegir el sistema RFID había que investigar como conseguir emitir una señal desde la PDA con sistema operativo Windows Mobile hacia los RFID y recibir respuesta.

A continuación se buscó información sobre lectores RFID, para comprar aquel que más se ajustase a nuestros requisitos. Se llegó a la conclusión de que el lector tenía que ser activo, ya que los pasivos no tienen fuente de alimentación propia y sólo consiguen alcanzar rangos de lectura de unos pocos centímetros, insuficiente para lo que nosotros necesitamos.

Se optó por conseguir toda la información a través de Internet, y aunque existe una gran variedad de lectores activos, los que se han analizado han sido los tres siguientes:

- Lector SYRD245-1N:



Figura 19: Lector SYRD245-1N

Descripción

Lector de tags RFID [14] [15] Activo, permite la lectura de datos de tags desde larga distancia transmitiendo en frecuencias de microondas. Su conectividad Ethernet permite crear fácilmente una red de lectores integrado con la red de área local.

Características radio

- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz
- Rango de frecuencia: 2,40 ~ 2,48 GHz
- Canal: 255
- Dirección: 65536 direcciones
- RSSI (Receive Signal Strength Indication): 0-255 (permite determinar cuál es el lector más cercano al tag en el caso de que las áreas de lectura de varios dispositivos se crucen).
- LQI: 0-255
- Rango de lectura: hasta 13 metros con la antena incluida
- Programación: configurable a partir de comandos
- Led: lector de acción o estado de lectura/escritura

Interfaz

- RS-232: RX, TX
- Protocolo Wiegand: permite la transmisión de información a través de un par de cobre que se acompaña de la alimentación para el dispositivo de lectura sin afectar por ello a los datos.
- RS-485: +,-
- Ethernet: 10BASE-T/100BASE-TX puerto, 10/100Mbps auto-sensor
- Protocolos: ICMP, ARP, IP, TCP (Servidor / Cliente), UDP, DHCP, HTTP
- Tasa de baudios: 2.400 bps ~ 115.200 bps

Alimentación

- Alimentación de entrada: 7,5 VDC ~ 28 VDC
- Consumo de corriente: Máximo 500 mA @ 9 VDC

Entorno

- Temperatura de funcionamiento: -20 °C a 65 °C
- Temperatura de almacenaje: -30 °C a 85 °C
- Humedad relativa de funcionamiento y almacenaje: del 5% al 95%

Dimensiones

- Dimensiones: 107 x 138 x 30 milímetros

Precio aproximado: 800 euros

- Lector SYRD245-CF-1:



Figura 20: Lector SYRD245-CF-1

Descripción

Lector de tags RFID [14] [15] Activo con conectividad Compact Flash. Permite la lectura de datos de tags desde larga distancia transmitiendo en frecuencias de microondas. Acoplable a PDAs, ordenadores y lectores portátiles.

Características radio

- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz
- Rango de frecuencia: 2,40 ~ 2,48 GHz
- Canal: 255
- Dirección: 65536 direcciones
- RSSI (Receive Signal Strength Indication): 0-255 (permite determinar cuál es el lector más cercano al tag en el caso de que las áreas de lectura de varios dispositivos se crucen).
- LQI: 0-255
- Rango de lectura: hasta 10 metros
- Programación: configurable a partir de comandos
- Led: lector de acción o estado de lectura/escritura
- Interfaz: CF tipo 1
- Sistema operativo: PDA Pocket PC 2003

Alimentación

- Consumo de corriente: Máximo 50 mA @ 3,3 VDC

Entorno

- Temperatura de funcionamiento: -20 °C a 65 °C
- Temperatura de almacenaje: -30 °C a 85 °C
- Humedad relativa de funcionamiento y almacenaje: del 5% al 95%

Dimensiones

- Dimensiones: 42,7 x 55,3 x 6,24 milímetros

Precio aproximado: 800 euros

- Lector SYRD245-2:



Figura 21: Lector SYRD245-2

Descripción

Lector de tags RFID [14] [15] [16] Activo, permite la lectura de datos de tags desde larga distancia transmitiendo en frecuencias de microondas. Conectividad RS-232, USB o RS-485 (modelos diferentes).

Características radio

- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz
- Rango de frecuencia: 2,40 ~ 2,48 GHz
- Canal: 255
- Dirección: 65536 direcciones
- RSSI (Receive Signal Strength Indication): 0-255 (permite determinar cuál es el lector más cercano al tag en el caso de que las áreas de lectura de varios dispositivos se crucen)
- LQI: 0-255
- Programación: configurable a partir de comandos
- Led: lector de acción o estado de lectura/escritura
- Rango de lectura: hasta 5 metros

Interfaz

- RS-232: RS, TX (SYRD245-2S)
- RS-485: +,- (SYRD245-2R)
- USB: v1.1 completamente compatible con especificación USB v2.0 (SYRD245-2U)
- Tasa de baudios: 2.400 bps ~ 115.200 bps

Alimentación

- Alimentación de entrada: 3,3 VDC ~ 12 VDC (RS-232); 7 VDC ~ 18 VDC (RS-485), 5 VDC (USB)
- Consumo de corriente: 100 mA @ 5 VDC

Entorno

- Temperatura de funcionamiento: -20 °C a 65 °C
- Temperatura de almacenaje: -30 °C a 85 °C
- Humedad relativa de funcionamiento y almacenaje: del 5% al 95%

Dimensiones

- Dimensiones: 92 x 66 x 20 milímetros

Precio aproximado: 600 euros

4.4.1. Dispositivo elegido

Tras lo expuesto anteriormente finalmente decidimos quedarnos con el lector SYRD245-2 (modelo 2S) por las siguientes razones:

1. por el coste, ya que es el más barato de los tres
2. porque el primer lector al tener conexión Ethernet está más indicado para redes de área local
3. porque del segundo lector no teníamos conocimiento alguno de la forma en que se trabaja con la conectividad Compact Flash.

Se pensó que con este modelo el envío y recepción de datos se realizaría a través del puerto USB ya que el dibujo era igual que el modelo 2U, pero cogimos el modelo equivocado ya que el 2S sólo utiliza el puerto USB como fuente de alimentación, el intercambio de datos lo realiza por el puerto serie (RS-232).

Como no presenta puerto serie, finalmente tuvimos que descartar la opción de la PDA y desarrollar nuestra aplicación sobre un ordenador portátil.

En cuanto a los posibles tags a seleccionar sólo había dos modelos por los que decantarse, y éstos además compartían las mismas características por lo que directamente se optó por elegir el siguiente:

- SYTAG245-2K:



Figura 22: Tag SYTAG245-2K

Descripción

Tag RFID [14] [15] [16] de lectura desde larga distancia transmitiendo en frecuencias de microondas. Los tags serán identificados, localizados y trazados de manera cómoda, segura y fiable en cualquier sitio de su instalación.

Características radio

- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz
- Rango de frecuencia: 2,40 ~ 2,48 GHz
- Canal: 255
- Dirección: 65536 direcciones
- Wake on radio: ON / OFF
- Rango de transmisión: hasta 70 metros
- RSSI: 0-255
- ID: 64 bits
- Programación: configurable a partir de comandos
- Led: tag de acción o estado de lectura/escritura
- Conmutación: configurada como tag activo o tag ON / OFF
- Memoria: 4 kbytes ~ 32 kbytes (opcional)

Alimentación

- Batería: 3 VDC CR2032
- Duración de la batería: de 1 a 2 años
- Consumo en reposo: 3 uA @ 3 VDC
- Consumo en funcionamiento: 24 mA @ 3 VDC

Entorno

- Temperatura de funcionamiento: -10 °C a 55 °C
- Temperatura de almacenaje: -20 °C a 65 °C
- Humedad relativa de funcionamiento y almacenaje: del 5% al 95%

Dimensiones

- Dimensiones: 42 x 30 x 10 milímetros

Precio aproximado: 30 euros

5. IMPLEMENTACIÓN

En este apartado se desarrollará todo lo descrito en la fase de análisis y diseño. Se implementarán las estructuras necesarias para englobar todos los requisitos expuestos anteriormente.

Este apartado consta a su vez de dos partes claramente diferenciadas. La primera describe el entorno de trabajo en el que se apoya el proyecto, y la segunda trata en sí la implementación de la aplicación.

En la parte del entorno de trabajo se describirán los lenguajes de programación y las aplicaciones utilizados para la realización del proyecto.

En la parte de implementación se analizarán las estructuras y su funcionamiento a partir del diagrama de clases, ya que con él se estudiará la estructura que conforma la aplicación así como todos sus componentes.

5.1. Entorno de trabajo

Durante este apartado se analizarán y se explicarán de forma detallada los lenguajes de programación y las aplicaciones necesarios para la implementación del proyecto. Nuestro sistema aunque inicialmente estaba pensado para trabajar sobre una PDA, se va a montar sobre un portátil con Windows XP.

5.1.1. Lenguajes de programación utilizados:

Estos lenguajes son un punto importante en el proyecto ya que se requiere una adaptación anterior para su posterior utilización.

Los lenguajes utilizados han sido el lenguaje de programación orientado a objetos JAVA y el lenguaje de consulta estructurado SQL, y se describen a continuación:

JAVA

Java [3] es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90.

Su sintaxis fue diseñada para ser familiar a aquellos que usaban frecuentemente los lenguajes que descienden más directamente de C, pero tiene los principios de la orientación a objetos más asumidos que C++. Tiene un modelo de objetos los cuales son fuertemente tipados y un sistema más justo e inflexible de excepciones que requiere que cada método que se llama trate cualquier tipo de excepción, o especifique que puede lanzarlas. Elimina herramientas de bajo nivel como los punteros.

Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un *bytecode*, aunque la compilación en código máquina nativo también es posible. En el tiempo de ejecución, el *bytecode* es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del *bytecode* por un procesador Java también es posible.

La implementación original y de referencia del compilador, la máquina virtual y las librerías de clases de Java fueron desarrolladas por *Sun Microsystems* en 1995. Desde entonces, Sun ha controlado las especificaciones, el desarrollo y evolución del lenguaje a través del Java Community Process, si bien otros han desarrollado también implementaciones alternativas de estas tecnologías de Sun, algunas incluso bajo licencias de software libre.

Entre noviembre de 2006 y mayo de 2007, *Sun Microsystems* liberó la mayor parte de sus tecnologías Java bajo la licencia GNU GPL, de acuerdo con las especificaciones del Java Community Process, de tal forma que prácticamente todo el Java de Sun es ahora software libre (aunque la biblioteca de clases de Sun que se requiere para ejecutar los programas Java todavía no es software libre).

El lenguaje Java [2] presenta las siguientes características favorables:

- **Independiente de la plataforma:** Un programa basado en la tecnología Java se puede ejecutar sobre varias combinaciones de CPUs y sistemas operativos diferentes. Esto es sumamente importante debido a la gran variedad de plataformas disponibles actualmente.
- **Simple:** Se trata de un lenguaje relativamente fácil de utilizar respecto a otros, debido a que se han eliminado ciertos conceptos que con otros lenguajes pueden producir una implementación demasiado compleja y obligan a tener un gran conocimiento y alto nivel de experiencia en su utilización.
- **Orientación a objetos:** Con esta metodología de programación se consigue una mejor y mayor abstracción de lo que se quiere representar del mundo real en la aplicación. La orientación a objetos tiene su enfoque en el comportamiento de los objetos y su interacción entre ellos.
- **Distribuido:** Ofrece soporte para tecnologías de redes distribuidas, algo primordial en la actualidad dado que las empresas raramente trabajan con arquitecturas centralizadas.
- **Seguridad:** Java ofrece junto al entorno donde se ejecuta la aplicación una gran variedad de medidas de seguridad para proteger los programas de ataques externos. Además muchas de esas medidas las lleva a cabo el propio lenguaje de forma transparente para el programador. De esta forma se soluciona parte del problema de la seguridad.
- **Multihilo:** Permite que se puedan realizar varias tareas al mismo tiempo, tales como consultar una base de datos y desplegar una interfaz de usuario. Además lleva a cabo una eficiente gestión de los recursos del sistema y esto ante la gran carga de datos que se puede dar tiene mucha utilidad.

- **Facilidad de accesos a datos:** Con las APIs más actuales para este lenguaje el acceso a sistemas gestores de bases de datos es sumamente sencillo. Actualmente mantener, guardar y recuperar información es el día a día de cualquier organización y facilitar este aspecto es fundamental.
- **Aplicaciones Web:** La tecnología JEE ofrece un amplio soporte para la realización de aplicaciones Web, además de permitir una implementación relativamente sencilla.

SQL (Structured Query Language)

El lenguaje de consulta estructurado es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones sobre las mismas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo lanzar consultas con el fin de recuperar de una forma sencilla información de interés de una base de datos, así como también hacer cambios sobre la misma.

El SQL [7] es un lenguaje de acceso a bases de datos que explota la flexibilidad y potencia de los sistemas relacionales permitiendo gran variedad de operaciones sobre los mismos.

Es un lenguaje declarativo de alto nivel o de no procedimiento, que gracias a su fuerte base teórica y su orientación al manejo de conjuntos de registros, y no a registros individuales, permite una alta productividad en codificación y la orientación a objetos. De esta forma una sola sentencia puede equivaler a uno o más programas que utilizas en un lenguaje de bajo nivel orientado a registro.

Como se ha mencionado anteriormente el SQL [7] es un lenguaje declarativo, o sea, que especifica qué es lo que se quiere y no cómo conseguirlo, por lo que una sentencia no establece explícitamente una orden de ejecución.

El orden de ejecución interno de una sentencia puede afectar gravemente a la eficiencia del SGBD, por lo que se hace necesario que éste lleve a cabo una optimización antes de la ejecución de la misma. Muchas veces, el uso de índices acelera una instrucción de consulta, pero ralentiza la actualización de los datos. Dependiendo del uso de la aplicación, se priorizará el acceso indexado o una rápida actualización de la información. La optimización difiere sensiblemente en cada motor de base de datos y depende de muchos factores.

5.1.2. Aplicaciones:

Las aplicaciones utilizadas han sido: NetBeans, el sistema de gestión de bases de datos MySQL y el analizador de puerto Portmon.

NetBeans

NetBeans [2] se refiere a una plataforma para el desarrollo de aplicaciones de escritorio usando Java y a un entorno de desarrollo integrado (IDE) desarrollado usando la Plataforma NetBeans.

La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

NetBeans [7] es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el mundo. Sun Microsystems fundó el proyecto de código abierto NetBeans en junio del 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos.

La Plataforma NetBeans es una base modular y extensible usada como una estructura de integración para crear aplicaciones de escritorio grandes. Empresas independientes asociadas, especializadas en desarrollo de software, proporcionan extensiones adicionales que se integran fácilmente en la plataforma y que pueden también utilizarse para desarrollar sus propias herramientas y soluciones.

La plataforma ofrece servicios comunes a las aplicaciones de escritorio, permitiéndole al desarrollador enfocarse en la lógica específica de su aplicación. Entre las características de la plataforma están:

- Administración de las interfaces de usuario (por ejemplo los menús y barras de herramientas).
- Administración de las configuraciones del usuario.
- Administración del almacenamiento (guardando y cargando cualquier tipo de dato).
- Administración de ventanas.
- Framework basado en asistentes (diálogos paso a paso).

El IDE NetBeans [2] [7] es una herramienta para programadores pensada para escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. Está escrito en Java pero puede servir para cualquier otro lenguaje de programación. Existe además un número importante de módulos para extenderlo.

El IDE NetBeans [2] [7] es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso. Entre sus características se encuentra un sistema de proyectos basado en Ant, control de versiones y refactoring.

Para este proyecto de todas las versiones se ha utilizado la versión NetBeans IDE 6.5 [8].

MySQL

MySQL [3] es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones. MySQL AB, desde enero de 2008 una subsidiaria de Sun Microsystems, desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licenciamiento dual.

Por un lado se ofrece bajo la GNU GPL para cualquier uso compatible con esta licencia, pero para aquellas empresas que quieran incorporarlo en productos privados deben comprar a la empresa una licencia específica que les permita este uso. Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C.

MySQL es propietario y está patrocinado por una empresa privada que posee el copyright de la mayor parte del código.

Esto es lo que posibilita el esquema de licenciamiento anteriormente mencionado. Además de la venta de licencias privadas, la compañía ofrece soporte y servicios. Para sus operaciones se contratan trabajadores alrededor del mundo que colaboran vía Internet.

La extensiva reutilización del código dentro del software y una aproximación minimalista para producir características funcionalmente ricas, ha dado lugar a un sistema de administración de la base de datos incomparable en velocidad, compactación, estabilidad y facilidad de despliegue. Su ingeniosa arquitectura lo hace extremadamente rápido y fácil de personalizar.

MySQL es un sistema de administración de bases de datos relacionales. Una base de datos relacional almacena los datos en tablas separadas en vez de colocar todos los datos en un solo lugar. Esto agrega velocidad y flexibilidad. Las tablas son enlazadas al definir relaciones que hacen posible combinar datos de varias tablas cuando se necesitan consultar datos.

MySQL es software de código abierto. Esto significa que es posible para cualquier persona usarlo y modificarlo. Cualquiera se puede descargar el software de MySQL y usarlo sin pagar por ello. Inclusive, cualquiera que lo necesite puede estudiar el código fuente y cambiarlo de acuerdo a sus necesidades.

El servidor MySQL fue desarrollado originalmente para manejar grandes bases de datos mucho más rápido que las soluciones existentes y ha estado siendo usado exitosamente en ambientes de producción sumamente exigentes por varios años. Aunque se encuentra en desarrollo constante, el servidor MySQL ofrece hoy un conjunto rico y útil de funciones. Su conectividad, velocidad, y seguridad hacen de MySQL un servidor bastante apropiado para acceder a bases de datos en Internet.

Analizador de puerto (Portmon v3.02)

Portmon [17] es una utilidad que supervisa y muestra la actividad de todos los puertos serie y paralelos de un sistema. Cuenta con capacidades avanzadas de filtrado y búsqueda que la convierten en una herramienta eficaz para explorar el modo en que funciona Windows, viendo cómo las aplicaciones usan los puertos o localizando los problemas de las configuraciones del sistema o las aplicaciones.

Esta versión de Portmon marca la introducción de varias características eficaces:

- Supervisión remota: captura el resultado del depurador en Win32 o modo núcleo de cualquier equipo accesible mediante TCP/IP, incluso por Internet y puede supervisar varios equipos remotos simultáneamente. Portmon instalará aún su software cliente si lo ejecuta en un sistema Windows NT/2K y está capturando de otro sistema Windows NT/2K en el mismo entorno de red.
- Listas de filtros más recientes: Portmon se ha ampliado con capacidades eficaces de filtrado y recuerda las selecciones de filtro más recientes, con una interfaz que hace sencillo seleccionarlos de nuevo.
- Copia en el Portapapeles: selecciona varias líneas en la ventana de resultados y copia su contenido en el Portapapeles.
- Resaltado: resalta el resultado del depurador que coincida con el filtro de resaltado e incluso personaliza los colores de resaltado.
- Registro en archivo: escribe el resultado del depurador en un archivo a la vez que se captura.

- Impresión: imprime todo o parte del resultado del depurador capturado en una impresora.
- Carga de un archivo: Portmon se implementa como un archivo.

Portmon entiende todos los comandos de control de E/S de los puertos serie y paralelos, y los mostrará junto con información interesante relativa a sus parámetros asociados. Para leer y escribir solicitudes, Portmon muestra las primeras docenas de bytes del búfer, usando '.' para representar los caracteres no imprimibles. La opción del menú Show Hex le permite alternar entre resultados ASCII y hexadecimales de los datos del búfer.

5.2. Diagrama de clases

A continuación se va a proceder a explicar las clases que han sido necesarias para la implementación de la aplicación. Para ello se ha dividido en partes toda la estructura de la aplicación. Primero se presenta el diagrama de clases general [20] y se explica cada una de las clases que han integrado la aplicación. Después se presenta la relación entre algunas de las clases que no ha quedado reflejado en el diagrama general. Esta forma de visualización se ha realizado para mostrar con más detalle la estructura en sí, y para ver de qué clases son instanciados los objetos creados para la implementación de la aplicación.

La aplicación la componen las 10 clases siguientes:

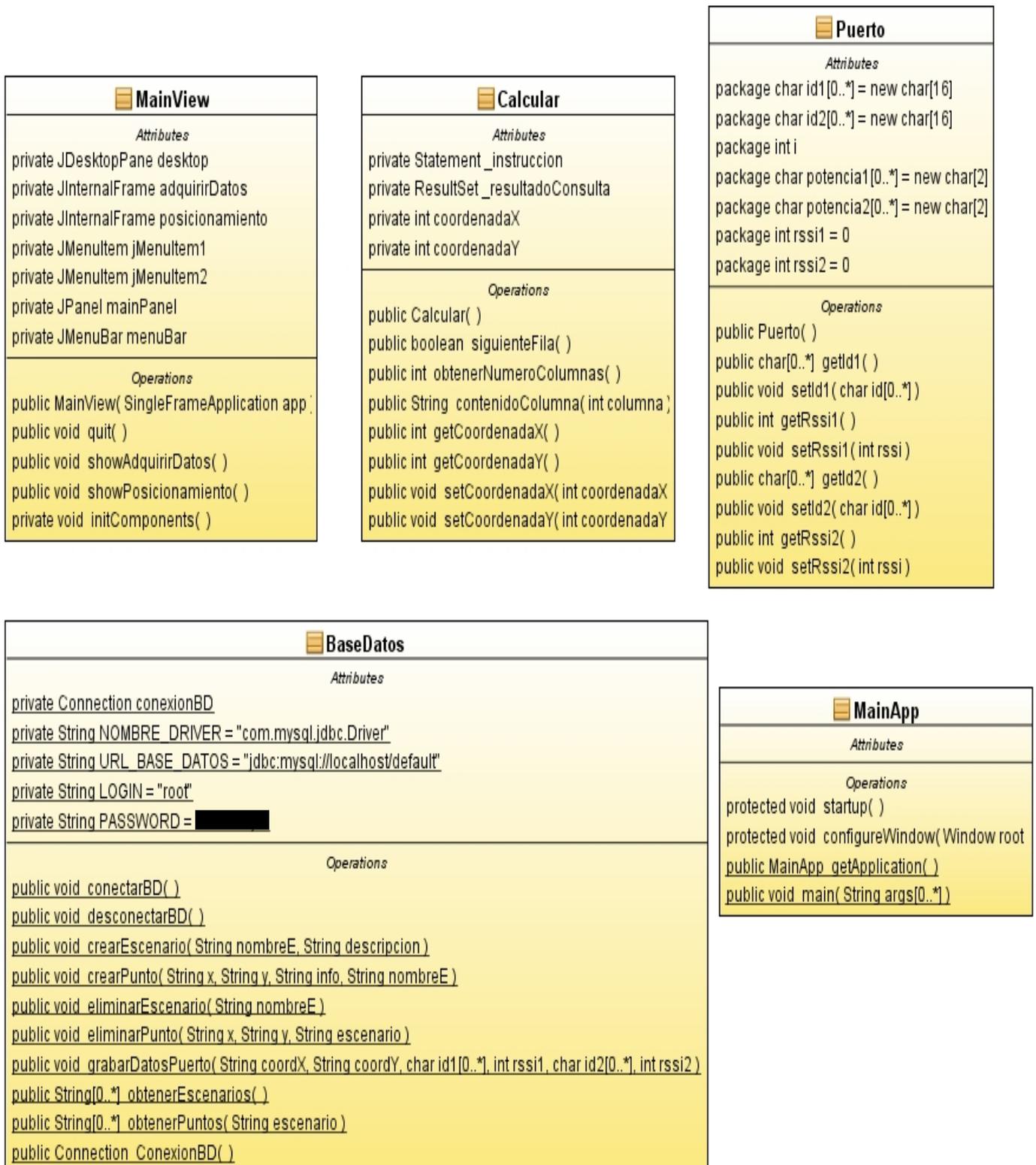


Figura 23: Diagrama de clases (Parte 1)

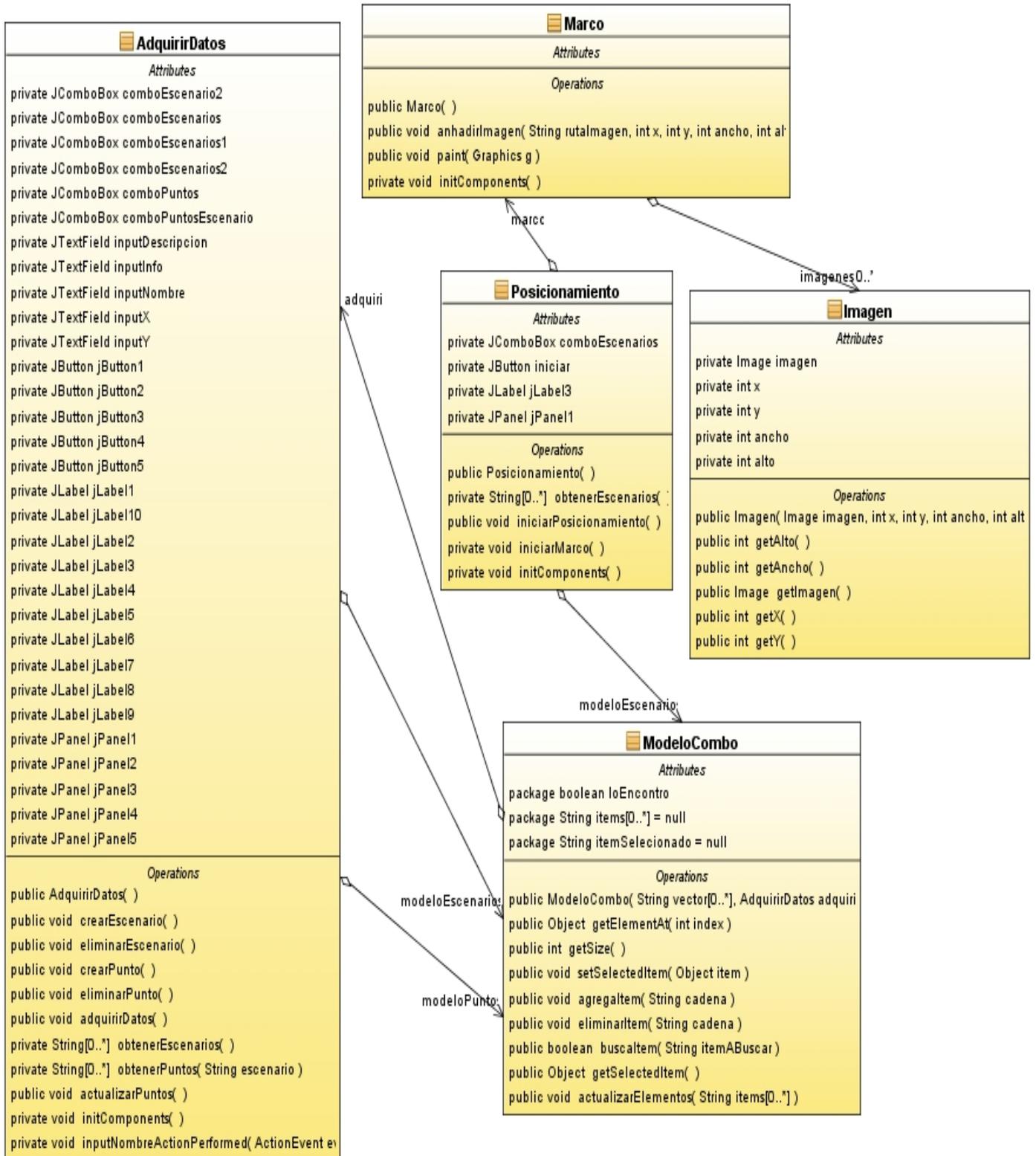


Figura 24: Diagrama de clases (Parte 2)

MainApp:

Es la clase principal de la aplicación. Como se puede observar en el diagrama de clases presenta cuatro métodos:

- *startup*: Crea el marco principal de la aplicación que corresponde a la clase MainView y lo muestra al inicio.
- *configureWindow*: Las ventanas de la aplicación se inicializan completamente a partir del constructor del GUI.
- *getApplication*: Obtiene la instancia de la aplicación y la devuelve.
- *main*: Método principal que lanza la aplicación.

MainView:

Es el marco inicial de la aplicación. El constructor se encarga de inicializar los componentes del marco, de asignar algunas propiedades y de conectar con la base de datos. Presenta tres métodos principales:

- *showAdquirirDatos*: Se conecta a la base de datos sólo si se ha pulsado anteriormente la opción Salir, y posteriormente comprueba si el marco interno AdquirirDatos es nulo o ha sido cerrado. Si es así lo abre nuevo y si está correctamente lo selecciona para trabajar con él.
- *showPosicionamiento*: Igual que el anterior solo que para el marco interno Posicionamiento.
- *quit*: Se desconecta de la base de datos y cierra el menú, no la aplicación.

AdquirirDatos:

Es uno de los dos marcos internos de la aplicación y se encarga de toda la recogida de datos que se necesitan en la aplicación a nivel externo, o sea en términos de la interfaz gráfica. El constructor se encarga de inicializar los componentes del marco y de asignarle propiedades. Los métodos principales son los siguientes:

- *crearEscenario*: Se introducen el nombre y la descripción del escenario y se llama a un procedimiento análogo de la clase BaseDatos para que los guarde. Después actualiza los valores de los escenarios.

- *eliminarEscenario*: Se llama a un procedimiento análogo de la clase BaseDatos para que elimine el escenario. Después se actualiza el despegable de los escenarios y en el caso de que dicho escenario tuviese puntos, éstos se eliminarían y se actualizarían igualmente.

- *crearPunto*: Se introducen la coordenada “x”, la coordenada “y” y la info correspondientes al punto y se selecciona el escenario al que va a pertenecer. Se llama a un procedimiento análogo de la clase BaseDatos para que guarde los datos y finalmente se actualizan los valores.

- *eliminarPunto*: Se llama a un procedimiento análogo de la clase BaseDatos para que elimine el punto. Después se actualiza el despegable de los puntos.

- *adquirirDatos*: Se selecciona el escenario y el punto perteneciente a dicho escenario donde se quieren recoger los datos de los tags. Se necesita usar la clase Puerto para recoger los parámetros necesarios y así poder llamar al procedimiento grabarDatosPuerto de la clase BaseDatos para que guarde los datos.

BasesDatos:

Es la clase que se encarga de interactuar directamente con la base de datos. Presenta los siguientes métodos:

- *conectarBD*: Se crea la conexión a la base de datos. Para ello se necesita el driver de conexión, la url, el login y el password.

- *desconectarBD*: Se cierra la conexión a la base de datos.

- *crearEscenario*: Se guardan el nombre y la descripción del escenario mediante una instrucción INSERT.

- *crearPunto*: Igual que el anterior sólo que aquí se guardan la coordenada “x”, la coordenada “y”, la info y el escenario al que va a pertenecer el punto.

- *eliminarEscenario*: Primero se eliminan los puntos pertenecientes al escenario y a continuación el escenario, todo ello mediante instrucciones DELETE.

- *eliminarPunto*: Igual que el anterior sólo que aquí sólo se elimina el punto.

- *grabarDatosPuerto*: Primero se guardan los identificadores de los tags en su tabla y después igualmente se guardan junto con los valores de potencia (RSSI) recibidos en la tabla punto_tag, todo ello mediante instrucciones INSERT.

- *obtenerEscenarios*: Como su propio nombre indica, devuelve todos los escenarios que existen en la aplicación a través de una instrucción SELECT y los guarda en un array.

- *obtenerPuntos*: Igual que el anterior pero para los puntos.

Puerto:

Es la clase que se encarga de todo el tratamiento e intercambio de datos entre el puerto serie y el lector RFID.

Primero hay que asignar el puerto con el que se va a trabajar (en nuestro caso el COM1) [18], y la tasa de baudios. Después se han de enviar dos tramas para poder recibir los identificadores de los tags y la potencia de la señal (RSSI) que está localizando el lector. Las tramas se han de enviar en hexadecimal y caracter a caracter ya que es la forma de comunicación para poder intercambiar la información.

La primera trama es simplemente para establecer el inicio de la conexión entre el puerto y el lector y finaliza cuando se recibe un retorno de carro.

La segunda trama es la que ya lleva a cabo el tratamiento de los datos. Los dos primeros caracteres que se reciben se desestiman, los 16 siguientes son los que nos dan el identificador del tag y los 2 siguientes el RSSI. También finaliza esta trama cuando se recibe un retorno de carro.

Tras obtener la información del primero de los tags, hay que seguir enviando la segunda trama para conseguir localizar el resto de tags si se diera el caso de que los hubiera. Para finalizar hay que cerrar la conexión con el puerto COM1.

Posicionamiento:

Es uno de los dos marcos internos de la aplicación y se encarga de mostrar al escenario con sus puntos y al usuario en aquel punto en el que se le localice. El constructor se encarga de inicializar los componentes del marco y de asignarle propiedades. Los métodos principales son los siguientes:

- *iniciarPosicionamiento*: Primero se abre un nuevo hilo de ejecución y a continuación se llama a la clase Calcular. Dependiendo del escenario que se seleccione se mostrará una imagen representativa de fondo. El usuario saldrá dibujado en las coordenadas “x” e “y” que devuelva la clase Calcular.

- *iniciarMarco*: Se llama a la clase Marco que es donde se engloba el gráfico del escenario para darle las propiedades que se consideren en cada caso.

Calcular:

Es la clase que se encarga de calcular el punto en el que se encuentra el usuario cuando este es localizado.

Primero hay que conectarse a la base de datos para recuperar mediante una instrucción SELECT las coordenadas “x” e “y” de los puntos, los identificadores de los tags y los RSSI recibidos del escenario indicado.

A continuación se guardan todos los datos en un array de strings, cada uno de ellos en otro array en la posición del primer array que le corresponde según el orden anterior.

Después se llama a la clase Puerto para obtener otros RSSI nuevos y así calcular la distancia euclídea para cada punto. Luego solo habrá que quedarse con aquel punto que tiene la distancia euclídea menor y finalmente desconectarse de la base de datos.

Imagen:

Esta clase sólo define los parámetros que se van a tener en cuenta a la hora de dibujar una imagen en el escenario. Los parámetros son: la ruta donde se encuentra guardada la imagen, las coordenadas “x” e “y” donde se va a colocar la imagen, y el alto y el ancho que va a tener dicha imagen.

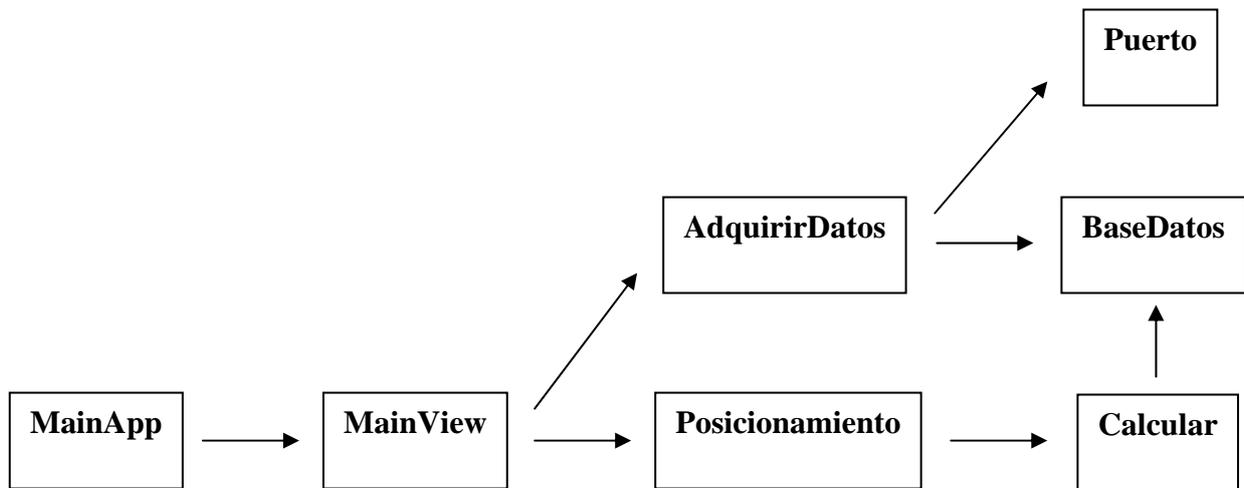
Marco:

Es una clase que consiste en un panel que contiene el gráfico del escenario. En un array guarda una lista con todas las imágenes disponibles para ese escenario y tiene un método en el que pinta el gráfico del escenario.

ModeloCombo:

Es la clase que representa el modelo de ComboBox que se ha utilizado para la aplicación con todas sus propiedades.

A continuación se presenta un diagrama aclaratorio de otras relaciones que se dan entre las clases que no han sido contempladas en el diagrama general.



6. PRUEBAS

Las pruebas son una parte muy significativa del proyecto, no sólo por su importancia en el logro de resultados correctos sino por el tiempo y recursos requeridos. Al terminar la fase de implementación es necesario realizar las pruebas oportunas para verificar si se han conseguido los objetivos o para poder depurar los procesos necesarios para estar más cerca de su consecución.

Se han realizado tres pruebas, para en cada una medir la tasa de acierto del sistema frente a una precisión de localización diferente, es decir la granularidad con la que el sistema es capaz de localizar al usuario:

- Prueba 1 sobre tres puntos (p1, p5, p9) con una precisión de 180 cm.
- Prueba 2 sobre cinco puntos (p1, p3, p5, p7, p9) con una precisión de 90 cm.
- Prueba 3 sobre nueve puntos (p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9) con una precisión de 45 cm.

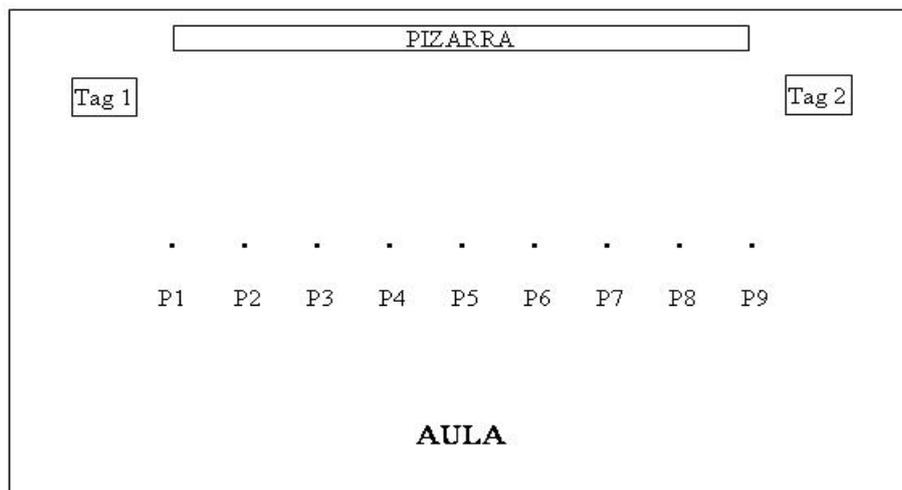


Figura 25: Representación del escenario

Para cada una de ellas se toman 10 medidas en cada uno de los puntos y se toma nota de si el sistema ha acertado o no. El acierto lo representaremos con un 1 y el fallo con un 0. Esto lo representaremos mediante tablas.

Además para cada una de las columnas que formen la tabla se calculará su promedio, que es la suma de todas las medidas del punto y dividido entre 10. Con esto se obtiene la probabilidad de acierto en cada punto por cada prueba.

También se calculará la probabilidad de acierto global, o sea el promedio de la probabilidad de acierto de todos sus puntos.

Prueba 1:

Tabla 7: Prueba1.

Medidas \ Puntos	P1	P5	P9
Medida 1	1	1	1
Medida 2	1	1	1
Medida 3	1	1	0
Medida 4	0	1	1
Medida 5	1	1	1
Medida 6	1	1	0
Medida 7	1	0	1
Medida 8	1	1	1
Medida 9	1	1	1
Medida 10	1	1	1
Promedio	0.9	0.9	0.7

Probabilidad de acierto global: $(0.9 + 0.9 + 0.7) / 3 = 2.5 / 3 = 0.83$

Prueba 2:

Tabla 8: Prueba2.

Medidas \ Puntos	P1	P3	P5	P7	P9
Medida 1	1	1	1	1	1
Medida 2	1	1	1	0	1
Medida 3	1	1	0	1	1
Medida 4	1	1	1	1	1
Medida 5	1	1	1	1	0
Medida 6	0	1	1	0	1
Medida 7	1	1	1	0	0
Medida 8	1	1	1	1	1
Medida 9	1	1	1	1	1
Medida 10	1	1	1	1	1
Promedio	0.9	1	0.9	0.7	0.8

Probabilidad de acierto global: $(0.9 + 1 + 0.9 + 0.7 + 0.8) / 5 = 4.3 / 5 = \mathbf{0.86}$

Prueba 3:

Tabla 9: Prueba3.

Medidas \ Puntos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Medida 1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Medida 2	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Medida 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Medida 4	1	1	1	0	1	1	0	1	1
Medida 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Medida 6	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Medida 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Medida 8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Medida 9	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Medida 10	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Promedio	1	0.9	1	0.6	1	0.8	0.9	1	0.9

Probabilidad de acierto global: $(1 + 0.9 + 1 + 0.6 + 1 + 0.8 + 0.9 + 1 + 0.9) / 9 =$

$$8.1 / 9 = \mathbf{0.9}$$

Si se representa gráficamente la evolución de la probabilidad de acierto en función de la precisión se puede ver cual es la que presenta la mejor relación.

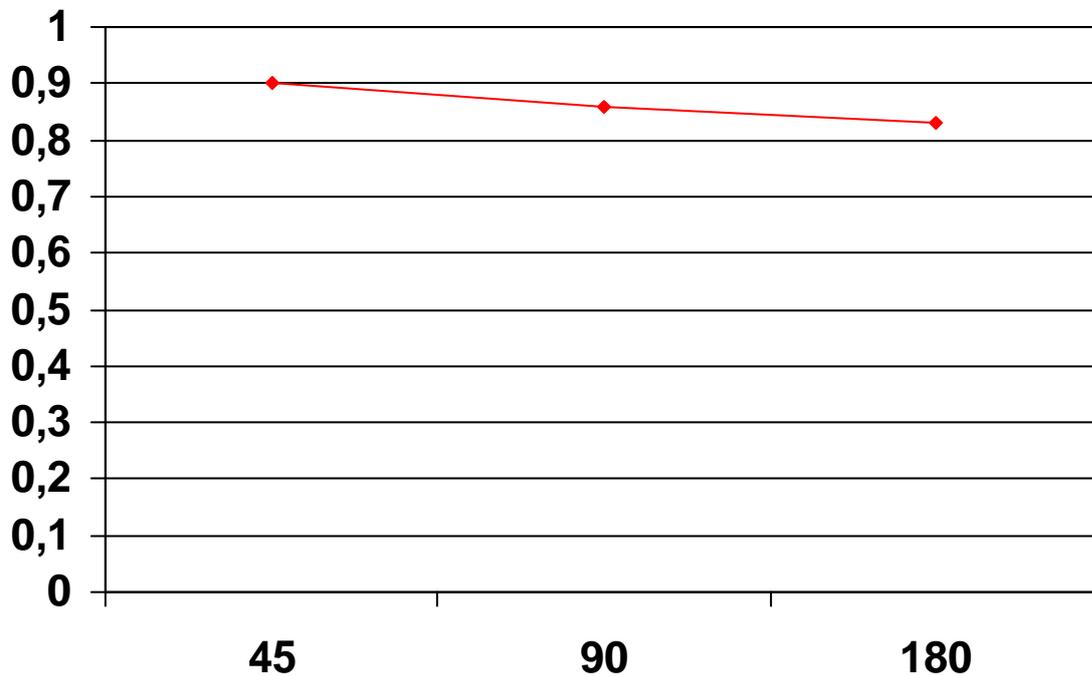


Figura 26: Probabilidad de acierto vs. Precisión.

Como se puede observar, en este caso se concluye que modelar los puntos cada 45 centímetros nos va a dar la mejor relación precisión / probabilidad de acierto, ya que cuanto más alejados se encuentran los puntos entre sí, se va poco a poco perdiendo la probabilidad de éxito.

Además si para la tercera prueba representamos para cada punto su probabilidad de acierto, también podemos obtener conclusiones sobre si hay dependencia con la distancia a los tags.

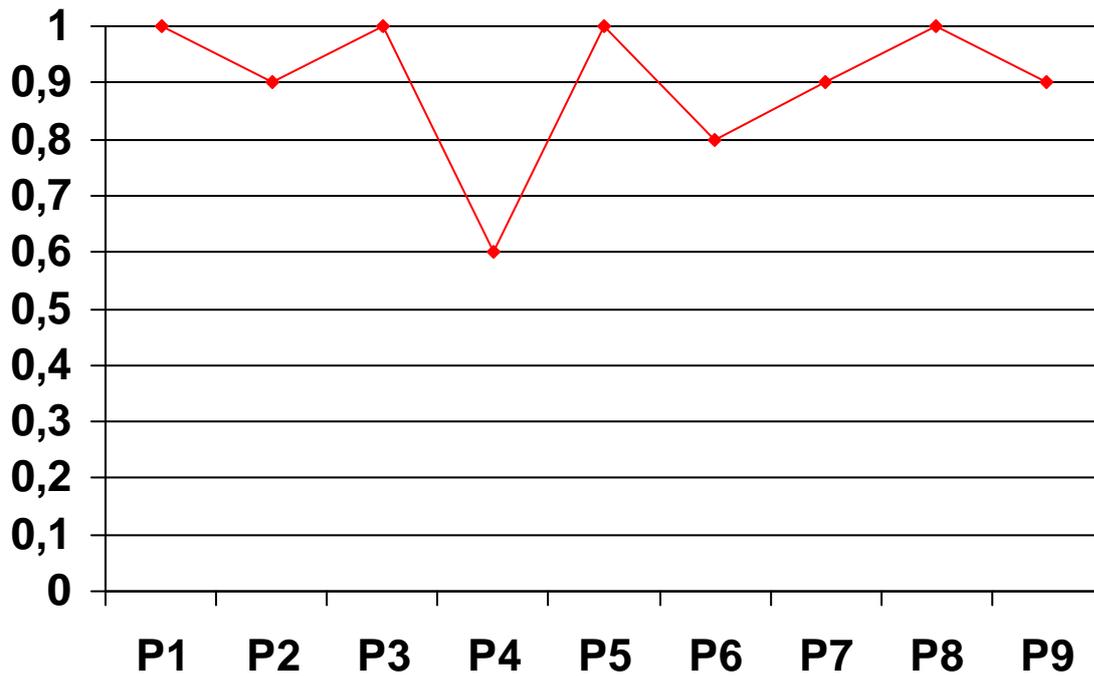


Figura 27: Probabilidad de acierto para cada punto.

En este caso hay bastante variación entre unos puntos y otros por lo que no se puede concluir si hay dependencia con la distancia a los tags.

Tras estas pruebas se puede concluir que el sistema funciona con una probabilidad de acierto de al menos el 90%, con la granularidad máxima, y que pueden encontrarse configuraciones aún mejores que quedarían como líneas futuras a estudiar.

En definitiva, las pruebas son suficientes y esperanzadoras en cuanto a las posibilidades de la tecnología RFID para localización.

7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos durante el transcurso de la realización del proyecto.

El apartado está dividido en dos partes, la primera consta de un resumen de las conclusiones obtenidas del trabajo realizado, ya sea en cuanto al cumplimiento de los objetivos que se marcaron al principio del proyecto como de las conclusiones personales obtenidas del mismo; y la segunda parte, se proponen unas mejoras que se pueden realizar en la metodología y en las herramientas en un futuro.

7.1. Conclusiones

Se puede afirmar que se han cumplido los requisitos especificados al principio del trabajo. Se han estudiado las tecnologías de posible aplicación a la localización de usuarios en interiores de edificios y se ha concluido que RFID se presenta como una tecnología adecuada a la resolución de este problema.

De esta forma, las conclusiones del proyecto que se han obtenido son las siguientes:

- El sistema desarrollado permite identificar la posición de un usuario en el interior de edificios en escenarios que hayan sido previamente modelados por un administrador del sistema. Todo esto se puede conseguir con un despliegue mínimo y a un coste reducido. Además con los tags es posible localizar a un usuario en “x” posiciones distintas dentro de una sala o habitación de dimensiones aproximadas de 10 metros de largo y 10 metros de ancho con una probabilidad de acierto de al menos el 90%, con la granularidad máxima.

- Al utilizar como repositorio de información una base de datos, el sistema puede trabajar con grandes cantidades de escenarios e independientemente del tamaño de cada uno de ellos. Además al representar los datos en una base de datos, que podrían almacenarse en servidores externos, también es posible que el sistema pueda ser utilizado en dispositivos limitados como PDAs y teléfonos móviles.
- La interfaz creada satisface las necesidades del usuario, ya que a través de ella se procede a la correcta visualización de toda la información demandada. El mensaje de la interfaz es intuitivo, lo que conlleva que pueda ser utilizada por cualquier usuario, aunque éste prácticamente no presente conocimientos sobre el estado de interacción. Esto es posible gracias a la sincronización y sencillez de todos los elementos, ya que estos son elementos comunes en los entornos gráficos (cuadros de texto, botones, desplegados, etc).

También se han sacado una serie de conclusiones personales con la realización de este proyecto:

- Se puede decir que la realización de este proyecto ha sido muy satisfactoria y enriquecedora. Me ha supuesto descubrir un campo que totalmente desconocía como es el RFID y las múltiples aplicaciones que hay desarrolladas con esta tecnología en diferentes campos como son: logística, transporte, sanidad, identificación y localización de personas, etc.
- El desarrollo de este proyecto también me ha introducido en el aprendizaje de otro campo que no había tocado durante el transcurso de la carrera, como es la implementación del trabajo con el lenguaje orientado a objetos Java. Este punto adquiere una importante relevancia, ya que sólo se había estudiado el paradigma del lenguaje orientado a objetos, pero nunca se había llevado a la práctica, lo que me ha supuesto introducirme en un lenguaje robusto y que está muy extendido, siendo el más utilizado por las personas que trabajan en este sector de la informática.

- Al principio del proyecto, se necesitó un largo periodo de adaptación a la programación orientada a objetos así como al aprendizaje del funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman las interfaces gráficas de usuario. En este último punto, se necesitó un tiempo extra para la correcta realización de la sincronización de los componentes.
- El proyecto también me ha aportado la experiencia que significa el haberlo realizado a largo plazo en varias fases, debido a que ha tenido que ser compatibilizado en gran parte del tiempo con una jornada laboral, con todo lo que ello conlleva. También, a darme cuenta de la importancia que adquieren las fases de su desarrollo, no sólo la de implementación.
- Por último, este proyecto ha sido una buena manera de finalizar mis estudios de primer ciclo aportándome experiencia y motivación para quien sabe si animarme a seguir estudiando de aquí en adelante.

7.2. Líneas futuras

Tras la finalización del proyecto y formalización de la solución que lo motivó, hay que decir que no se termina aquí el camino a recorrer. Este proyecto puede ser ampliado si es necesario para lograr una aplicación final mejor y más completa, con más funcionalidades que lo hagan más atractivo para los usuarios. Estas mejoras podrían ser las siguientes:

- Al equivocarnos en la elección del modelo de lector RFID hemos tenido que trabajar con la conexión por puerto serie. El escoger en el futuro un modelo que contase con conectividad USB supondría primero una mejora tecnológica al poder utilizarlo con dispositivos móviles modernos, y además un intercambio de datos más sencillo en relación con el puerto serial.
- Sería interesante poder trabajar con más de dos tags y así hacer que el sistema no sea dependiente únicamente de las dos con las que hemos contado. Es decir, que sea capaz de incorporar a los modelos cualquier tag disponible en el entorno haciendo el sistema más fácilmente configurable y adaptable a nuevos escenarios, sin tener que modificar el código.
- Otra posible línea futura sería la de estudiar la dependencia del lector y los tags en la toma de las medidas de potencia con factores que no hemos tratado en este proyecto como son: la altura, la orientación, los posibles obstáculos que se pudieran encontrar, etc., e incluir estos nuevos parámetros en los modelos para encontrar mejores configuraciones ganando así en precisión y reduciendo la tasa de error.
- Proporcionar al usuario la opción de personalizar la aplicación, de modo que el usuario pueda modificar los aspectos visuales de la interfaz para adaptarlo a sus necesidades.
- Cabría la posibilidad de incluir en los modelos mapas o planos que, superpuestos a la estimación de la posición del usuario, hagan más comprensible la representación de su posición.

- Ahora mismo siempre se muestra todo el escenario en la ventana, independientemente de que sea muy grande o muy pequeño. Sería útil poder cambiar la escala del plano, para que pueda elegirse entre representar con más detalle el entorno del usuario o visualizar la posición del usuario referida al escenario completo.
- Estudiar el comportamiento del sistema aplicando otros algoritmos para estimar la posición del usuario, como podrían ser redes bayesianas, árboles de decisión, algoritmos de clasificación, redes neuronales, etc., ya que ahora mismo sólo se aplica el método de la distancia euclídea.

Para el comienzo de la elaboración de estos trabajos será necesario establecer que objetivos se quieren alcanzar, así como la viabilidad de los mismos.

ACRÓNIMOS

A continuación, se definen los acrónimos utilizados a lo largo del presente documento, ordenados alfabéticamente:

- **BLN:** *Bluetooth Location Network* o Red de Localización Bluetooth
- **EPC:** *Electronic Product Code* o Código Electrónico de Producto
- **GLONASS:** *Global Orbiting Navigation Satellite System*
- **GPL:** *General Public License* o Licencia Pública General
- **GPS:** *Global Positioning System* o Sistema de Posicionamiento Global
- **HUD:** *Heads-Up Display*
- **IEEE:** *Institute of Electrical and Electronics Engineers* o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
- **ISO:** *International Organization for Standardization* u Organización Internacional para la Estandarización
- **LAN:** *Local Area Network* o Red de Área Local
- **NAVSTAR:** *Navigation Satellite Timing And Ranging*
- **OECD:** Organización Europea para el Control de Datos
- **PDA:** *Personal Digital Assistant* o Asistente Digital Personal
- **PFC:** Proyecto Fin de Carrera
- **RFID:** *Radio Frequency IDentification* o Identificación por Radio Frecuencia
- **SQL:** *Structured Query Language* o Lenguaje de Consulta Estructurado
- **UE:** Unión Europea
- **UHF:** *Ultra High Frequency* o Frecuencia Ultra Alta
- **UML:** *Unified Modeling Language* o Lenguaje Unificado de Modelado
- **USB:** *Universal Serial Bus* o Bus Universal en Serie
- **UWB:** *Ultra WideBand* o Banda Ultra Ancha
- **WAN:** *Wide Area Network* o Red de Área Amplia
- **Wi-Fi:** *Wireless Fidelity*

BIBLIOGRAFÍA

Los documentos consultados para la realización de este proyecto han sido los siguientes:

- [1] Antonio Francisco Fernández Ganso, **Estado del arte de la tecnología RFID en Europa**, PFC, 2007.
- [2] Rubén Silverio Saiz Sabater, **Aplicación gráfica para la gestión de trazas de un sistema de diálogo basado en el modelo de hilos**, PFC, 2008.
- [3] José Luis Núñez Mora, **Metodología para habilitar un proceso de configuración de viviendas centrado en el usuario**, PFC, 2008.

Finalmente cabe hacer referencia a distintas páginas Web que han sido de gran utilidad a lo largo del desarrollo del proyecto:

- [4] <http://www.ceditec.etsit.upm.es/index.php/Descargar-documento/25-Tecnologias-de-Localizacion.html>
- [5] <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit148/57-59.pdf>
- [6] http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/347/1/2005_AI_7.pdf
- [7] <http://es.wikipedia.org>
- [8] <http://www.netbeans.org>
- [9] <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3552/2/40883-2.pdf>
- [10] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3726/2/50814-2.pdf>
- [11] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3606/1/55913-1.pdf>

- [12] <http://www.redeweb.com/txt/636/86.pdf>
- [13] http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_r/sources/ramirez_r.pdf
- [14] <http://www.kimaldi.com>
- [15] http://www.iberhardware.es/sistemasrfidactivos-c-1709_1624_1625_1685.html
- [16] <http://xtive.com.tw>
- [17] <http://technet.microsoft.com/en-us/sysinternals/bb896644.aspx>
- [18] <http://www.giovynet.com/serialport.html>
- [19] http://www.accesor.com/esp/not_detail.php?id_not=175
- [20] <http://luauf.com/2008/03/31/ingenieria-inversa-con-netbeans>

ANEXO A. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

Planificación

A continuación se muestra el gráfico del resultado del diagrama de Gantt que se obtiene tras su realización con Microsoft Project 2003.

Cabe decir que solo se ha utilizado un recurso humano (el autor de este proyecto).

La duración total del proyecto es de 442 días laborables. El proyecto empezó el 15 de octubre de 2007 y finalizó el 22 de junio de 2009. Estos datos vienen reflejados en el diagrama Gantt.

Para la realización del diagrama se han agrupado las tareas en torno a las fases del ciclo de vida.

Las fases, con su duración entre paréntesis, son las siguientes: Planificación y Requisitos (87 días), Diseño (86 días), Implementación (84 días) e Integración y Pruebas (19 días).

Las tareas de creación de código, trabajar con el sistema y realizar las revisiones son las más costosas en tiempo del proyecto. También llama la atención la larga duración de la tarea “Implementar Documentación”, esto ocurre por la necesidad de recopilar y refinar la documentación final que se ha desarrollado en el proyecto.

Estudio de la tecnología RFID y desarrollo de una aplicación para la localización de usuarios

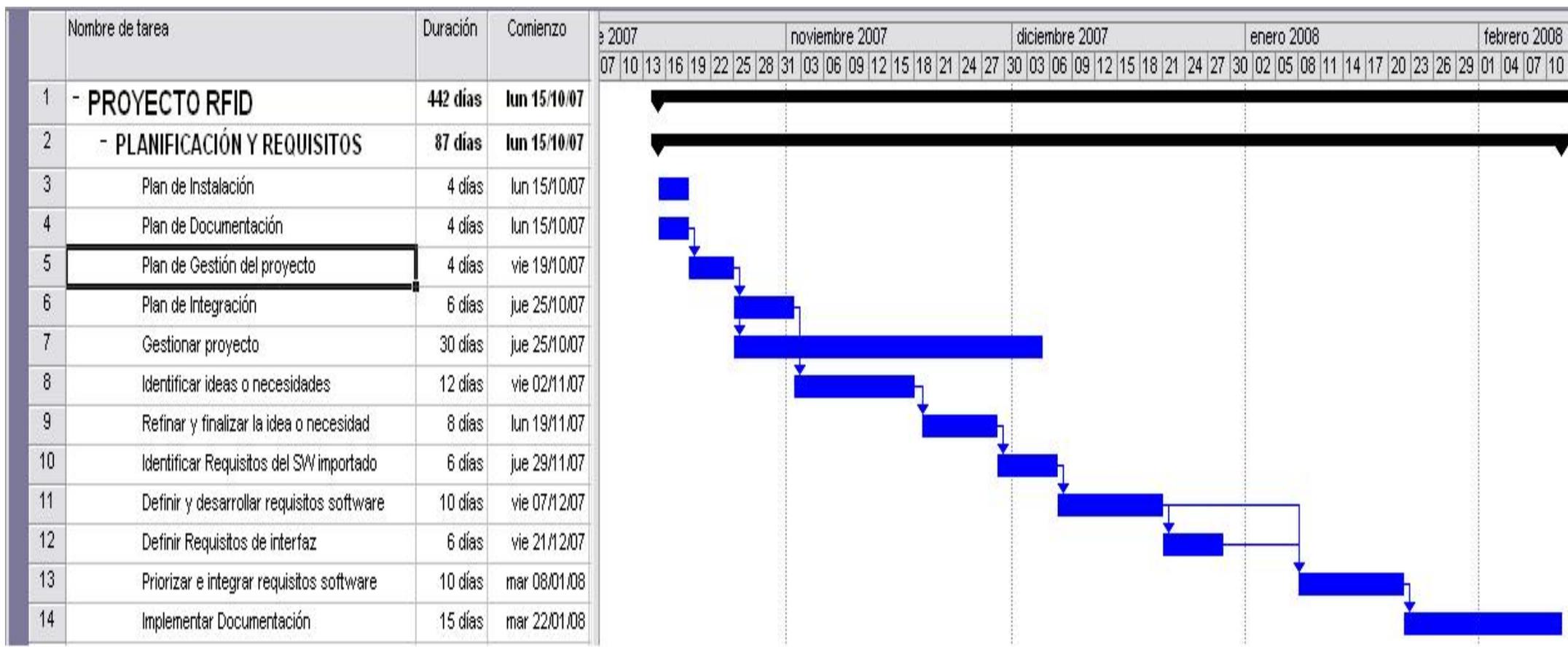


Figura 28: Diagrama Gantt (Parte 1)

Estudio de la tecnología RFID y desarrollo de una aplicación para la localización de usuarios

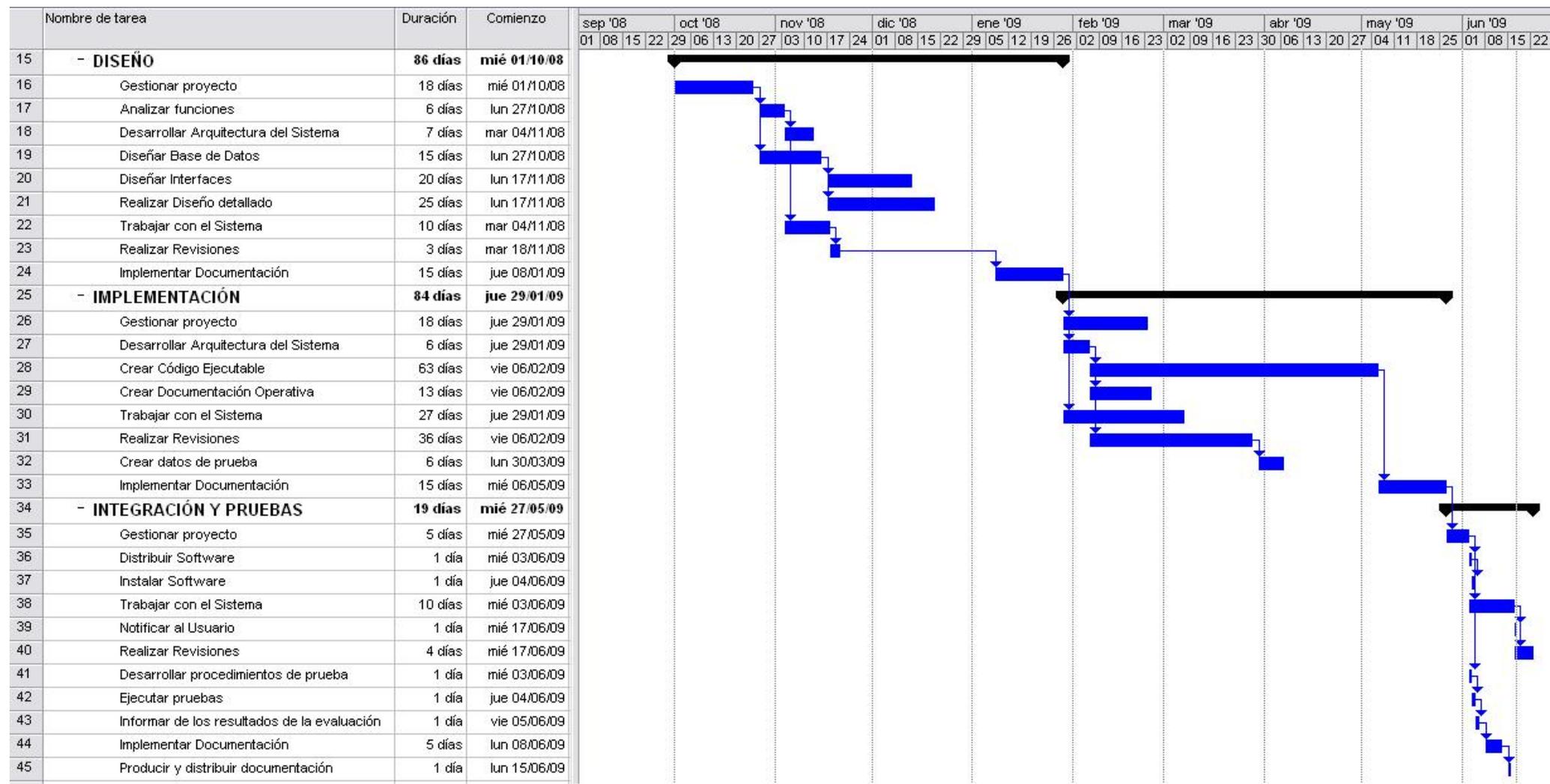


Figura 29: Diagrama Gantt (Parte 2)

Presupuesto

Para establecer el presupuesto de este PFC, primero hay que tener en cuenta una serie de cuestiones previas que son necesarias para entender mejor las decisiones que se tomen, costes de personal y costes de material.

Cuestiones previas:

Antes de pasar directamente a los costes de personal y material, es necesario aclarar las siguientes cuestiones:

- Jornada laboral de 4 horas al día.
- Se contabilizarán las jornadas laborales que se hayan trabajado durante el período que se ha realizado el proyecto.
- El proyecto se ha realizado durante dos etapas: la primera comprende desde el 15 de octubre de 2007 hasta el 31 de enero de 2008; y la segunda etapa comienza el 1 de octubre de 2008 y finaliza el 20 de junio de 2009.
- El personal necesario para realizarlo es un analista-programador (ingeniero técnico en informática).
- El coste del analista-programador sería de 15 €/hora.

Costes de personal:

Para analizar los costes de personal, se ha dividido el proyecto en fases y se ha estimado el tiempo para cada una de ellas. En función de las horas empleadas se hallará el coste de personal. Todo esto se representa en la siguiente tabla:

Tabla 10: Costes de personal.

Fase	Descripción	Horas
Análisis	<i>Estudio de las cuestiones o aspectos que se quieren probar</i>	260
Diseño	<i>Diseño de la solución</i>	260
Implementación	<i>Desarrollo del software</i>	260
Pruebas	<i>Realización de las pruebas a la implementación</i>	40
Documentación	<i>Redacción de la memoria del PFC</i>	200
TOTAL		1020

Coste analista-programador = $1020 * 15 = 15300$

Coste Personal = Coste analista-programador = **15300**

Costes de material:

En cuanto a los costes materiales aunque no son excesivos, se representan en el siguiente cuadro:

Tabla 11: Costes de material.

Concepto	Cantidad
<i>Ordenador de sobremesa</i>	600
<i>Ordenador portátil</i>	400
<i>Lector RFID</i>	600
<i>2 Tags RFID (30 euros cada una)</i>	60
<i>Local (cuarto, 7 meses a 100€/mes)</i>	700
<i>Microsoft Office (licencia académica)</i>	180
<i>Gastos varios (luz, transporte, etc.)</i>	200
TOTAL	2740

Por tanto se podría resumir el total de gastos en la siguiente tabla:

Tabla 12: Presupuesto total.

Concepto	Importe
<i>Costes de personal</i>	15300
<i>Costes de material</i>	2740
<i>Base imponible</i>	18040
<i>I.V.A. (16%)</i>	2886,4
<i>TOTAL</i>	20926,4

El presupuesto total del proyecto es de 20926,4 €

ANEXO B. MANUAL DE USUARIO

Mediante este manual se procederá a la explicación de cómo utilizar la aplicación por parte del usuario.

Antes de ejecutar la aplicación se necesita tener instalado una serie de programas: el Java Development Kit (JDK) de Java, el MySQL Server (5.0 en nuestro caso) y el MySQL Tools que tiene que corresponder con la misma versión que el MySQL Server.

Los enlaces web para poder descargar dichos programas son los siguientes:

<http://java.sun.com/javase/downloads/index.jsp>

<http://dev.mysql.com/downloads/mysql/5.0.html>

<http://dev.mysql.com/downloads/gui-tools/5.0.html>

Para lanzar la aplicación hay que hacer doble clic sobre el fichero “ejecuta.bat”.



Figura 30: Ejecución de la aplicación

La aplicación comienza con una ventana de inicio, donde lo único que se observa es la pestaña Archivo.

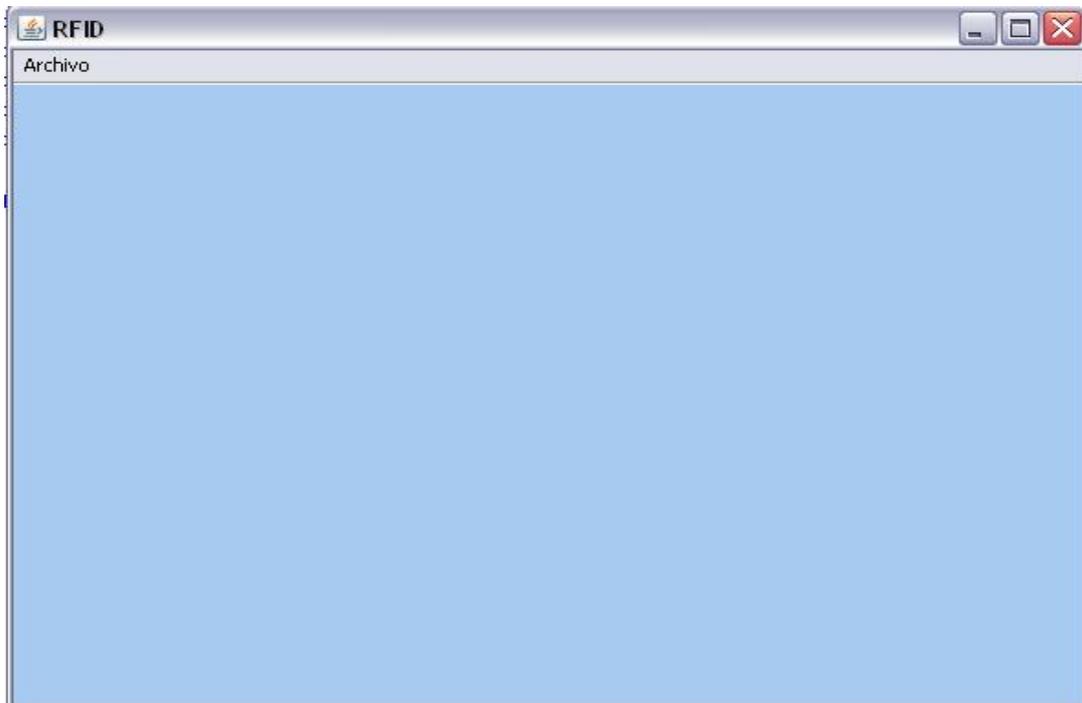


Figura 31: Ventana inicial de la aplicación

Al pulsar en Archivo se presenta un pequeño menú despegable con tres posibles opciones a elegir: Adquisición de datos, Posicionamiento y Salir. La opción de Salir lo único que hace es cerrar el menú, no la aplicación.

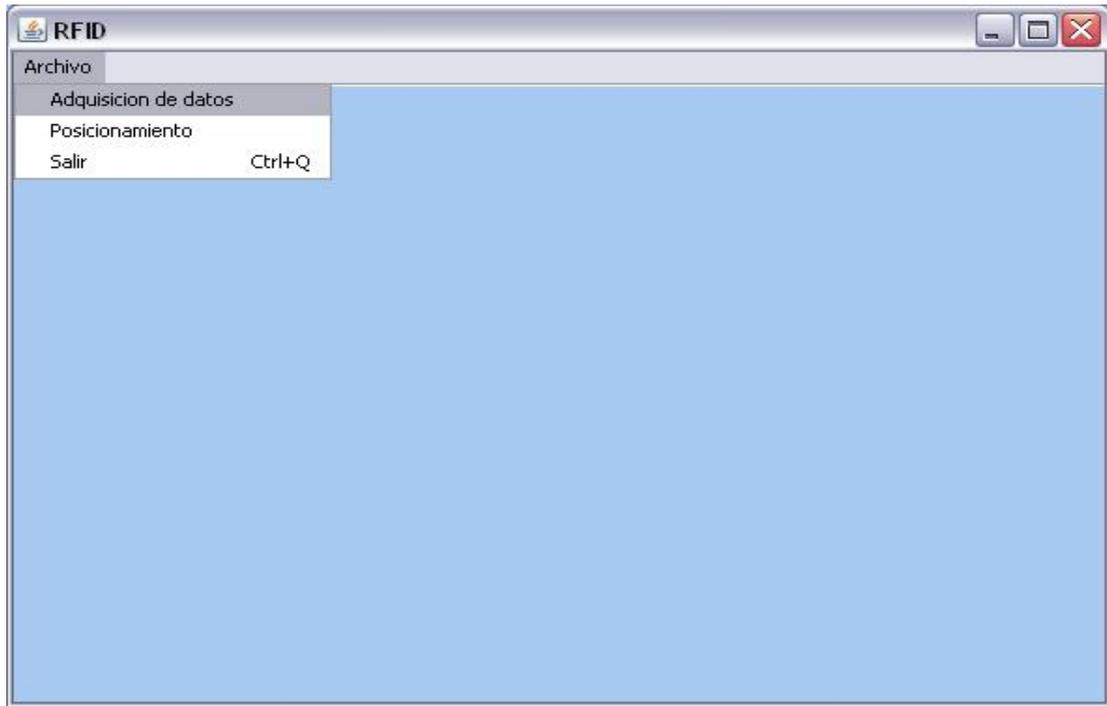


Figura 32: Opción de adquisición de datos

Adquisición de datos:

Al pulsar la opción Adquisición de datos aparece otra ventana con cinco módulos.

El primero corresponde a la creación de escenarios, en el que hay que introducir el nombre que se quiere dar al escenario y una breve descripción. Al pulsar el botón Crear, si todo está correctamente, se guardan los datos en la base de datos.

El segundo corresponde a la eliminación de escenarios, en la que se selecciona el escenario que se quiere borrar. Al pulsar el botón Eliminar, si todo está correctamente, se borrará el escenario de la base de datos. Cabe mencionar que si se elimina un escenario que contiene puntos, éstos quedan también borrados automáticamente.

El tercero corresponde a la creación de puntos, en la que hay que introducir las coordenadas “x” e “y” donde va a estar situado el punto y una información que nos indica si el punto está libre o si corresponde a una mesa, silla, puerta, etc. También se tiene que seleccionar el escenario del que va a formar parte. Al pulsar el botón Crear, si todo está correctamente, se guardan los datos en la base de datos.

El cuarto corresponde a la eliminación de puntos, en la que hay que seleccionar el punto a borrar y el escenario donde se encuentra dicho punto. Al pulsar el botón Eliminar, si todo está correctamente, se borrará el punto de la base de datos.

El último módulo corresponde a la parte de la toma de datos. Se elige el escenario y el punto del escenario donde se quiere realizar la operación. Aquí es donde se recoge qué tags se están localizando y las medidas de potencia de cada uno de ellos. El sistema requerirá de unos pocos segundos para tomar las medidas, pero si todo está correctamente guardará los datos en la base de datos.

The image shows a software window titled "Adquisición de datos". It contains several functional panels:

- Crear escenario:** Includes text input fields for "Nombre:" and "Descripción:", and a "Crear" button.
- Eliminar escenario:** Includes a dropdown menu with "labo" selected and an "Eliminar" button.
- Crear punto:** Includes text input fields for "X:", "Y:", and "Info:", a dropdown menu for "Escenario:" with "labo" selected, and a "Crear" button.
- Eliminar punto:** Includes dropdown menus for "Escenario:" (with "labo" selected) and "Punto:" (with "0 - 0" selected), and an "Eliminar" button.
- Adquirir datos:** Includes dropdown menus for "Escenario:" (with "labo" selected) and "Punto:" (with "0 - 0" selected), and an "Adquirir" button.

Figura 33: Ventana de adquisición de datos

Posicionamiento:

También se puede seleccionar en el menú la opción de Posicionamiento.

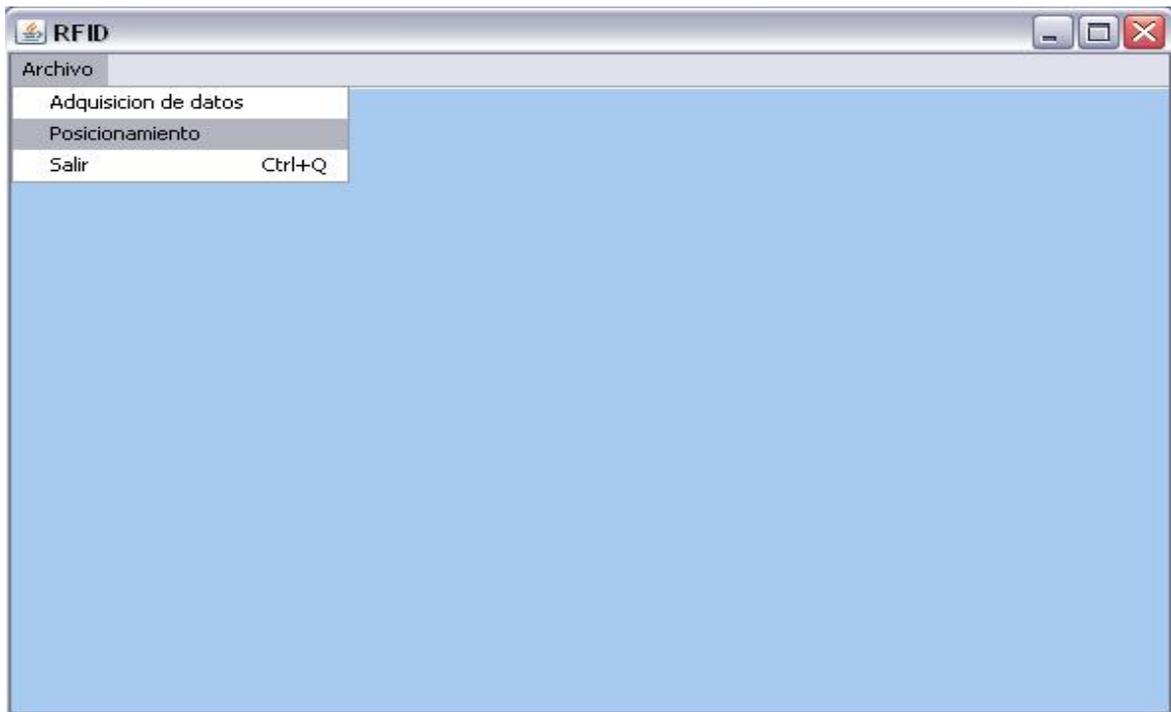


Figura 34: Opción de posicionamiento

Tras ello se abre otra nueva ventana. Aquí se selecciona el escenario donde se va a posicionar el usuario y el botón Iniciar es el que se encargará de mostrar el gráfico con el escenario elegido. Los puntos se pintan de color rojo y el usuario se representa mediante un muñeco.



Figura 35: Ventana de posicionamiento

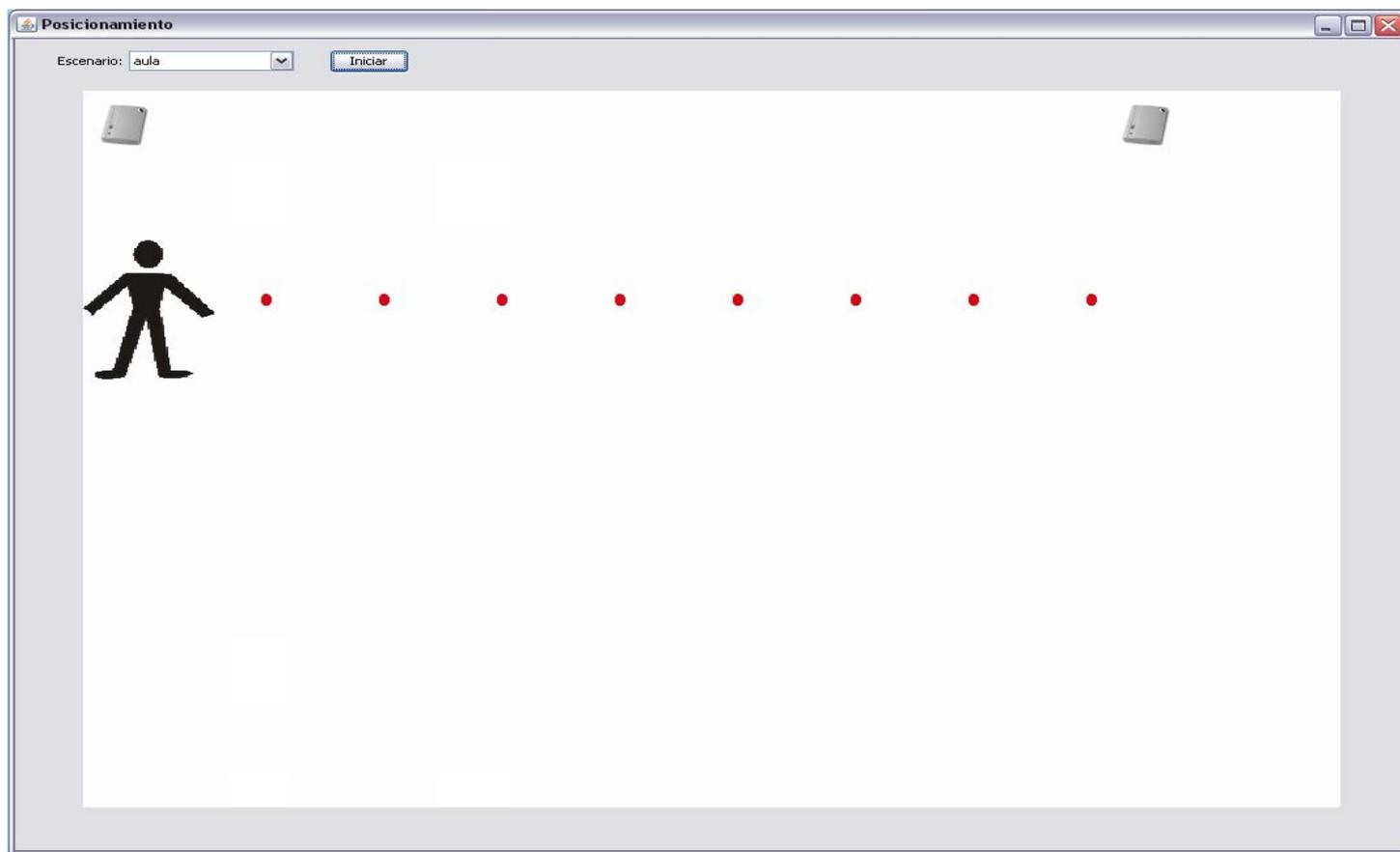


Figura 36: Gráfico de posicionamiento