

**SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL DEREGISTRO DE PRODUCTOS Y
SUMINISTRO DE INFORMACIÓN PARA COMPRADORES EN ALMACENES DE
CADENA**

**DIANA MARCELA BOLAÑOS BOLAÑOS
JULIAN FELIPE MORA ARANGO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
GRUPO DE PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTS PSI
SANTIAGO DE CALI
2013**

**SISTEMA ELECTRÓNICO PORTÁTIL DEREGISTRO DE PRODUCTOS Y
SUMINISTRO DE INFORMACIÓN PARA COMPRADORES EN ALMACENES DE
CADENA**

**DIANA MARCELA BOLAÑOS BOLAÑOS
JULIAN FELIPE MORA ARANGO**

**Trabajo de grado
Director: Ing. Humberto Loaiza Correa Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
GRUPO DE PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTS PSI
SANTIAGO DE CALI
2013**

Trabajo de grado presentado
como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Aprobación director del proyecto:

Ing. Humberto Loaiza Correa Ph.D.

Aprobación director Programa de Ingeniería Electrónica:

Ing. Hernando Vásquez Palacio, M.Sc

Santiago de Cali, 11 de Septiembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque nos brindó la sabiduría necesaria para realizar este trabajo de grado.

A nuestras familias por apoyarnos siempre y porque nos tuvieron mucha paciencia durante esta importante etapa de nuestras vidas.

A nuestro director, el profesor Humberto Loaiza gracias por brindarnos su orientación, apoyo y porque fue parte fundamental en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros grupo de amigos y amigas más cercanos que en todo momento nos brindaron su amistad incondicional y que con sus conocimientos nos aportaron al desarrollo de este trabajo.

Al profesor Oscar Polanco y al Ingeniero Andrés Restrepo por brindarnos información útil que permitió realizar mejoras en la aplicación desarrollada.

A la Universidad del Valle, a la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y a sus profesores quienes con sus enseñanzas contribuyeron a que nuestra formación no fuera sólo académica sino también personal.

A todos muchas gracias.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
1.1	OBJETIVO GENERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3	PROBLEMÁTICA	15
1.4	Contenido del Documento	16
2.	MARCO TEÓRICO	17
2.1	INTRODUCCIÓN	17
2.2	ANTECEDENTES DE PROYECTOS SIMILARES O AFINES	17
2.2.1	Antecedentes Internacionales	17
2.2.2	Antecedentes Nacionales	19
2.3	APLICACIONES MÓVILES	20
2.3.1	Plataforma de desarrollo seleccionada	23
2.3.2	Plataforma de desarrollo Android	25
2.3.2.1	Arquitectura de la plataforma	25
2.4	REGISTRO DE PRODUCTOS MEDIANTE CÓDIGOS QR	26
2.4.1	Elementos que permiten la identificación de productos	26
2.4.1.1	Códigos de barras	26
2.4.1.2	Códigos QR	27
2.4.1.3	Etiquetas inteligentes: RFID	28
2.4.2	Método de registro seleccionado	30
2.5	SISTEMAS DE UBICACIÓN EN INTERIORES (LPS)	30
2.5.1	Tecnologías de localización	31
2.5.1.1	802.11: Wi-fi	31
2.5.1.2	Infrarrojo	33
2.5.1.3	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles	33
2.5.1.4	Ultrasonido	33
2.5.2	Técnicas de medida	34
2.5.2.1	Tiempo de llegada (TOA)	34
2.5.2.2	Angulo de llegada (AOA)	34
2.5.2.3	Intensidad de la Señal Recibida (RSS)	35
2.5.3	Algoritmos para el análisis de patrones	36
2.5.3.1	Método del vecino más próximo	36
2.5.3.2	Redes Neuronales	36
2.5.3.3	Algoritmo de K-means	37
2.5.3.4	Estimación dinámica de la posición	37
2.5.4	Método de ubicación seleccionado	38
2.6	PAGO DE PRODUCTOS MEDIANTE LA CONEXIÓN DE ANDROID CON PHP Y MYSQL	39
2.6.1	Servidores web	39
2.6.1	MySQL	40
2.6.2	PhpMyAdmin	40

2.6.3	PHP	41
2.6.4	Bases de datos	41
2.7	CUADRO COMPARATIVO.....	42
2.8	CONCLUSIONES.	43
3.	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	44
3.1	INTRODUCCIÓN	44
3.2	BLOQUE 1. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE UBICACIÓN.....	45
3.3	BLOQUE 2. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE REGISTRO	49
3.4	BLOQUE 3. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE PAGO.....	49
3.5	CONCLUSIONES.	50
4.	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN.....	51
4.1	INTRODUCCIÓN	51
4.2	BLOQUE 1: IDENTIFICACIÓN DE USUARIO	52
4.3	BLOQUE 2: SELECCIÓN DE ACTIVIDAD	55
4.4	BLOQUE 3: ACTIVIDAD 1. UBICACIÓN.	55
4.5	BLOQUE 4: ACTIVIDAD 2. REGISTRO DE PRODUCTOS.....	59
4.6	BLOQUE 5: ACTIVIDAD 3. PAGO DE PRODUCTOS.....	60
4.7	CONCLUSIONES	61
4.8	OBSERVACIONES.....	62
5.	PRUEBAS Y RESULTADOS	63
5.1	INTRODUCCIÓN	63
5.2	PRUEBA 1. validación del subsistema de registro e identificación de clientes.....	63
5.2.1	Descripción.....	63
5.2.2	Resultados y Análisis	64
5.3	PRUEBA 2. validación del subsistema de ubicación.....	69
5.3.1	Descripción.....	69
5.3.1.1	Primera fase: entrenamiento y/o calibración del subsistema de ubicación	69
5.3.1.2	Segunda fase: Determinación del alcance, limitaciones y mejor configuración del subsistema de ubicación	70
5.3.1.3	Tercera fase: Análisis de la RSS en un ambiente con menor interferencia.....	70
5.3.2	Resultados y Análisis	71
5.3.2.1	Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 4 puntos de acceso.....	71
5.3.2.2	Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 5 puntos de acceso.....	73
5.3.2.3	Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 3 puntos de acceso.....	75
5.3.2.4	Validación de la configuración escogida para el subsistema de ubicación	77
5.3.2.5	Análisis de la RSS en un ambiente con menor interferencia.....	78

5.4 PRUEBA 3. validación del subsistema de registro de productos..... 81

5.4.1 Descripción..... 81

5.4.2 Resultados y Análisis 82

5.5 PRUEBA 4. validación del SUBsistema de pago de productos..... 84

5.5.1 Descripción..... 84

5.5.2 Resultados y Análisis 85

5.6 ANÁLISIS COMPARATIVO O GENERAL DEL SISTEMA 87

5.7 CONCLUSIONES. 90

6. CONCLUSIONES GENERALES 91

7. PERSPECTIVAS FUTURAS DE TRABAJO..... 93

7.1 posibles mejoras al desarrollo efectuado..... 93

7.2 posibles proyectos de continuación similares o afines 93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94

ANEXOS..... 99

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.	Antecedentes internacionales de carros de compra inteligentes.	17
Tabla 2.2.	Antecedentes internacionales relacionados con los LPS.	18
Tabla 2.3.	Antecedentes nacionales de carros de compra inteligentes.	19
Tabla 2.4.	Dispositivos móviles vendidos en el mundo según el Sistema Operativo.	22
Tabla 2.5.	Comparación de plataformas para el desarrollo de aplicaciones móviles.	24
Tabla 2.6.	Cuadro comparativo de los trabajos mostrados en los antecedentes.	42
Tabla 2.7.	Cuadro comparativo de los diferentes trabajos desarrollados de LPS.	42
Tabla 3.1.	Descripción de los Puntos de acceso usados.	45
Tabla 3.2.	Resultados de las caracterizaciones realizadas a los puntos de acceso utilizados en el subsistema de ubicación.	48
Tabla 5.1.	Resultados obtenidos después de realizar la primera prueba con 10 usuarios nuevos.	67
Tabla 5.2.	Resultados obtenidos después de realizar la segunda y tercera prueba con 6 usuarios registrados previamente.	68
Tabla 5.3.	Resultados obtenidos con 4 puntos de acceso y el método de RNA.	72
Tabla 5.4.	Resultados obtenidos con 4 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.	73
Tabla 5.5.	Resultados obtenidos con 5 puntos de acceso y el método de RNA.	74
Tabla 5.6.	Resultados obtenidos con 5 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.	75
Tabla 5.7.	Resultados obtenidos con 3 puntos de acceso y el método de RNA.	76
Tabla 5.8.	Resultados obtenidos con 3 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.	76
Tabla 5.9.	Resultados obtenidos para la validación en la configuración con 3 puntos de acceso.	77
Tabla 5.10.	Resultados obtenidos después de realizar 7 pruebas con el subsistema de registro.	84
Tabla 5.11.	Características resumidas del funcionamiento de la aplicación desarrollada	88
Tabla 5.12.	Comparación de los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones con el método de Con RNA – Kalman	89
Tabla 5.13.	Comparación de los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones con el método de K-Vecinos más próximos	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Arquitectura de <i>Android</i> . Figura tomada de [MEIER 09].	25
Figura 2.2.	Forma de almacenamiento en un código de barras lineal. Figura tomada de [HERNANDEZ 04].	27
Figura 2.3.	Ejemplo de un código QR. Figura tomada de [HUIDOBRO 09].	28
Figura 2.4.	Funcionamiento de la tecnología RFID. Figura tomada de [ROBERTS 06].	29
Figura 2.5.	Componentes de una red de área local inalámbrica.	31
Figura 2.6.	Ejemplo de distribución de canales en la banda de 2,4 GHz para Estados Unidos. Figura tomada de [GARCIA 07].	32
Figura 2.7.	Cálculo de posición con el método de trilateración. Figura tomada de [ZIGBE 13].	34
Figura 2.8.	Arquitectura de una Red Neuronal Artificial.	37
Figura 2.9.	Descripción de un sistema lineal por sus variables de estado. Figura tomada de [INELMATIC 13].	38
Figura 2.10.	Interfaz gráfica de la herramienta phpMyAdmin.	40
Figura 2.11.	Ejemplo de bases de datos relacionales.	41
Figura 3.1.	Diagrama de bloques general del sistema desarrollado.	44
Figura 3.2.	Curva característica del Punto de Acceso AP1.	45
Figura 3.3.	Curva característica de uno de los puntos de acceso probados considerado como no apto para la aplicación.	46
Figura 3.4.	Punto de acceso marca Zyxel modelo NWA 3160.	46
Figura 3.5.	Punto de acceso marca Linksys modelo WRVS4400 N.	47
Figura 3.6.	Punto de acceso marca Cisco modelo DPC 2425.	47
Figura 3.7.	Puntos de acceso marca D-Link modelo Dir-300.	48
Figura 3.8.	Hardware utilizado en el subsistema de localización.	49
Figura 3.9.	Hardware utilizado en el subsistema de registro.	49
Figura 3.10.	Hardware utilizado en el subsistema de pago.	50
Figura 4.1.	Diagrama de bloques de la aplicación desarrollada en la interfaz del Usuario.	51
Figura 4.2.	Diagrama de flujo para el registro e identificación de usuarios.	52
Figura 4.3.	Desglose de las actividades que se realizan durante el condicional A.1.	53
Figura 4.4.	Procedimientos de la aplicación <i>Android</i> para acceder a una base de datos alojada en un servidor.	54
Figura 4.5.	Desglose de las actividades que se realizan durante el condicional A.1.	55
Figura 4.6.	Algoritmo correspondiente a la aplicación del administrador.	56
Figura 4.7.	Algoritmo correspondiente a la aplicación del usuario.	59
Figura 4.8.	Diagrama de flujo para realizar el registro de productos.	60
Figura 4.9.	Diagrama de flujo de las actividades realizadas en el punto de pago.	61
Figura 5.1.	Listado de personas que se encuentran registrados previamente en la tabla usuarios.	63
Figura 5.2.	Interfaz de inicio de la aplicación desarrollada.	64
Figura 5.3.	Resultados que se obtienen una vez se presiona si (a) o no (b) en la interfaz de inicio.	64
Figura 5.4.	Interfaz para validación de los usuarios (a) Datos incorrectos. (b) Datos correctos.	65

Figura 5.5.	Notificación al usuario de datos incompletos.	65
Figura 5.6.	Acción realizada cuando el usuario ya se encuentra registrado.	66
Figura 5.7.	Notificación al usuario de creación de cuenta como cliente.	66
Figura 5.8.	Ingreso satisfactorio a la tabla usuarios de la base de datos almacén.	67
Figura 5.9.	Esta es la apariencia de la tabla usuarios después de ingresar los 10 nuevos usuarios.	68
Figura 5.10.	Primera configuración, prueba realizada con cuatro puntos de acceso.	70
Figura 5.11.	Segunda configuración, prueba realizada con cinco puntos de acceso.	70
Figura 5.12.	Tercera configuración, prueba realizada con tres puntos de acceso.	70
Figura 5.13.	Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.	72
Figura 5.14.	Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.	74
Figura 5.15.	Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.	76
Figura 5.16.	Visualización del producto respecto a la ubicación del usuario en la aplicación desarrollada.	78
Figura 5.17.	Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso más cercano.	79
Figura 5.18.	Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso número 2.	79
Figura 5.19.	Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso 3.	80
Figura 5.20.	RSSI del punto de acceso 1.	80
Figura 5.21.	RSS del punto de acceso 2.	81
Figura 5.22.	La tabla productos de la base de datos almacén cuenta con 7 registros que corresponden a los 7 productos con los que se realizan las pruebas a este subsistema.	81
Figura 5.23.	Interfaz inicial del subsistema de registro de productos.	82
Figura 5.24.	Interfaz que aparece una vez se identifica el código QR.	82
Figura 5.25.	Interfaz después de aceptar el producto anteriormente registrado.	83
Figura 5.26.	Cuenta no afectada después de rechazar el producto.	83
Figura 5.27.	Los códigos QR de productos que no existen en la base de datos no afectan la cuenta y son identificados como código inválido.	83
Figura 5.28.	Tabla en la que se ingresan los usuarios que van a realizar el pago.	84
Figura 5.29.	En la interfaz de pago se muestra el nombre y la cuenta del usuario.	85
Figura 5.30.	El usuario después de dar aceptar en la interfaz de pago es agregado a la tabla usppagar.	85
Figura 5.31.	Si el usuario rechaza la opción de finalizar su cuenta es enviado a la interfaz de registrar productos.	86
Figura 5.32.	Interfaz en el punto de pago.	86
Figura 5.33.	Alerta mostrada cuando el usuario no está en la tabla usppagar.	86
Figura 5.34.	(a) Información del usuario. (b) Cambio que recibe el usuario. (c) Transacción finalizada.	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Contenido del CD Anexo 99

Anexo 2. Caracterización de los Puntos de Acceso..... 100

Anexo 3. Modelo de las bases de datos almacén y UserPpsManager 106

Anexo 4. Diagramas de clases de la aplicación desarrollada..... 109

Anexo 5. Resultados complementarios de las pruebas realizadas en la validación
del subsistema de ubicación 114

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo de una aplicación informática para el registro de productos y suministro de información para compradores en almacenes de cadena orientada a dispositivos móviles, que permite el registro e identificación de usuario, y la ubicación, registro y pago de productos en línea.

En la primera parte se realiza una documentación de las bases teóricas que permitieron identificar las principales tecnologías existentes que pueden utilizarse en este tipo de aplicaciones, posteriormente se describen las características de los dispositivos que componen el sistema así como los algoritmos necesarios para su funcionamiento. Finalmente se exponen los resultados obtenidos y su análisis en las diferentes pruebas con cada subsistema, los cuales permiten evidenciar la potencialidad de uso de las aplicaciones móviles en los procesos de compra de grandes superficies.

Palabras Claves

Android, LPS, Códigos QR, Wi-fi, RSSI, almacenes de cadena, aplicación informática, dispositivos móviles.

ABSTRACT

This paper presents the development of a software application for the registration of products and provision of information to buyers' chain stores through mobile devices, allowing the user registration and identification, and location, product registration and online payment.

In the first part, theoretical framework documentation is realized to identify the main existing technologies that can be used in these applications, and then describes the features of the devices in the system and the algorithms needed for its operation. Finally, the results and their analysis in the different tests for each subsystem are exposed, which allows to demonstrate the potential use of mobile applications in the purchasing processes in large areas warehouses.

Keywords

Android, LPS, QR Code, Wi-Fi, RSSI, large areas warehouse, software application, mobile devices.

1. INTRODUCCIÓN

El primer grupo de aplicaciones móviles desarrollado fueron las agendas telefónicas, los juegos de poca dificultad y los editores de timbre de llamadas telefónicas, entre otras. Estas aplicaciones cumplían funciones muy elementales y su diseño era bastante simple. En las décadas recientes el desarrollo de aplicaciones móviles ha evolucionado notablemente debido al fortalecimiento de la infraestructura de las telecomunicaciones, la innovación del protocolo de aplicaciones inalámbricas, la tecnología de transmisión de datos y al desarrollo de teléfonos innovadores con capacidad de procesamiento cada vez más potente.

Inicialmente esta evolución de teléfonos inteligentes estaba dirigida principalmente a las empresas y no a clientes comunes, sin embargo en el año 2007 cuando Steve Jobs presentó al mundo el iPhone [13] revolucionó el mercado al ofrecer una tecnología innovadora al público en general; tecnología que incluyó teclado digital en pantalla, sensor de movimiento y gestos, y un buscador gráfico móvil. Posteriormente llegaron muchas más propuestas no sólo de teléfonos inteligentes (*Smart phones*) sino también de dispositivos móviles en general que utilizaron el sistema operativo Android; competencia más grande del sistema operativo del iOS.

El incremento de las aplicaciones móviles ha sido posible gracias a que empresas como Apple o Google facilitaron el acceso a los Kits de Desarrollo de Software SDK, permitiendo que miles de nuevas empresas y microempresas ofertaran sus productos y servicios mediante aplicaciones móviles. Igualmente, se generó una nueva revolución que permitió la innovación y proliferación en juegos, sistemas de información, aplicaciones para diseño, arte, fotografía y hasta medicina; es esta versatilidad la que permite que una de las mejores herramientas con las que se cuenta actualmente para dar solución a una gran variedad de problemas sea el diseño de aplicaciones móviles.

En base a estos avances y motivados por el auge que viene teniendo a nivel nacional el desarrollo de este tipo de software, surge la idea de trabajar en el diseño de una aplicación para un dispositivo móvil con el fin de desarrollar un sistema que permita a los usuarios de almacenes de cadena, mejorar los tiempos empleados en los procesos de búsqueda, registro y pago de productos.

Al inicio de este capítulo se detallan el objetivo principal y los objetivos específicos del proyecto, los cuales definen las actividades realizadas durante el trabajo de grado. Posteriormente se explica el por qué surge la idea y cuál es la problemática que se debe afrontar; finalmente se menciona la forma en la que se le dio solución al problema y como se desarrolla en cada uno de los capítulos que conforman el documento.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema electrónico que genere información sobre ubicación y costos de productos que permita agilizar el proceso de adquisición y pago dentro de un almacén de cadena.

1. INTRODUCCIÓN

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las principales tecnologías existentes y seleccionar la más apropiada para agilizar el proceso de compra en almacenes de cadena de nuestra región.
- Implementar un sistema de identificación de productos que permita realizar el registro de estos por parte del cliente.
- Diseñar una aplicación que permita al usuario visualizar la ubicación del producto en un mapa.
- Implementar un sistema de comunicación entre el dispositivo y las cajas de pago, que permita enviar el valor total de la compra por parte de los clientes una vez se finalice el registro de los productos.
- Integrar y evaluar el sistema electrónico para determinar sus alcances y limitaciones.

1.3 PROBLEMÁTICA

En los almacenes de cadena de grandes superficies se presentan innumerables problemas de atención al cliente, de los cuales se puede destacar el tiempo utilizado por un usuario entre la recolección y el pago de todos los elementos de su compra. Gran parte de este, se debe a los múltiples recorridos por el almacén buscando algún producto en particular y a la congestión en las cajas causada por la lentitud en la lectura de precios que adquiere mayor importancia cuando cada persona compra en grandes cantidades. Estas situaciones reducen la eficiencia en los procesos de venta y generan inconformidad en los clientes que podría inducirlos a abstenerse de realizar más compras o a cambiar de almacén, lo que a su vez ocasionaría que este pierda usuarios e ingresos significativos.

La utilización de equipos electrónicos implementados en los carros de compra con posibilidad de ubicar los productos, identificarlos, visualizar su información básica y registrar el monto parcial instantáneamente pueden contribuir significativamente a disminuir el tiempo invertido por un cliente y aumentar la eficiencia del servicio ofrecido por los almacenes de grandes superficies.

El desarrollo de sistemas electrónicos de guía al comprador precisa de etapas que van desde la identificación de productos, tipos de empaques y modalidad de pesaje, pasando por la definición de sensores a utilizar, el tipo de comunicación entre el carro y la caja registradora, la tele-localización de los productos, hasta los protocolos y mecanismos de seguridad, preferencias del comprador y la interfaz con el usuario.

En base a lo anterior, se plantea el problema del trabajo de grado propuesto en la siguiente pregunta: ¿Cómo implementar un sistema electrónico de compras que permita mejorar y acelerar los procesos de registro de los precios de los productos en las cadenas de supermercados y suministre al comprador información sobre los productos y su localización en línea?

1. INTRODUCCIÓN

1.4 CONTENIDO DEL DOCUMENTO

A lo largo de los siete capítulos que contiene este documento se muestra cómo a partir de la revisión bibliográfica se realizó la selección de los elementos adecuados para el diseño, desarrollo y posterior validación del sistema que dio solución al problema planteado anteriormente.

El segundo capítulo describe la revisión bibliográfica realizada sobre los antecedentes nacionales, internacionales y los aspectos teóricos de las principales tecnologías existentes, específicamente de los sistemas operativos que funcionan sobre dispositivos móviles, las plataformas para el desarrollo de aplicaciones, los elementos utilizados para la identificación de productos, las herramientas necesarias para desarrollar un sistema de ubicación en interiores y el software que permite la comunicación del dispositivo móvil con un centro de pago. Además se realiza una comparación entre los antecedentes mostrados y el trabajo realizado, por último se presentan las conclusiones del capítulo.

El tercer capítulo describe los elementos que componen el hardware del sistema desarrollado, sus especificaciones técnicas y los requerimientos mínimos que debe tener para una adecuada interacción con la aplicación diseñada. Por último se presentan las conclusiones del capítulo.

En el cuarto capítulo se explica el diagrama funcional de la aplicación desarrollada, el cual inicia con una descripción general del diagrama de bloques que define el sistema, para posteriormente explicar detalladamente el funcionamiento de cada uno de los componentes de la aplicación que permitieron dar solución al problema planteado.

El quinto capítulo explica las diferentes pruebas realizadas y los resultados obtenidos en cada una de ellas mediante los cuales fue posible evaluar el alcance y las limitaciones de la aplicación diseñada e implementada.

En el sexto capítulo se muestran las conclusiones generales obtenidas después de diseñar e implementar el grupo de sub-sistemas que hacen parte de la aplicación final desarrollada, con ellas se visualiza la forma en que fueron cumplidos los objetivos de este trabajo de grado.

En el séptimo capítulo se hace el planteamiento de las mejoras que se podrían realizar a la aplicación desarrollada con este trabajo de grado y se proponen nuevos proyectos que permitan ampliar el alcance logrado con este trabajo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo muestra los resultados de la revisión bibliográfica realizada que permitió identificar los antecedentes de proyectos similares a nivel internacional, nacional y regional, así como obtener una visión general de las tecnologías existentes y necesarias para el diseño de la aplicación, enfocándose posteriormente en ellas para conocer de forma más detallada los requerimientos en el desarrollo de la misma.

En la primera parte se muestra la diversidad de aplicaciones que se han realizado a nivel internacional y que son afines a la desarrollada en este trabajo de grado. Adicionalmente se resalta la escasez de trabajos realizados con estas tecnologías a nivel nacional. En la segunda parte se realiza la descripción completa de las tecnologías, elementos y conceptos usados a lo largo del documento, facilitando la comprensión global de todo el trabajo realizado.

2.2 ANTECEDENTES DE PROYECTOS SIMILARES O AFINES

Para establecer el nivel de desarrollo y conocer los trabajos similares o afines a este trabajo de grado se presenta en los apartados siguientes un resumen a nivel internacional, nacional y regional de cada uno de ellos. Inicialmente se referencian trabajos enfocados a la automatización de los subsistemas de ubicación, registro y pago de los productos del proceso de compra. A nivel nacional e internacional se encontraron desarrollos que permiten mejorar los tres subprocesos simultáneamente. De igual forma, los avances individuales en cada subsistema constituyen un aporte significativo a este trabajo.

2.2.1 Antecedentes Internacionales

Los sistemas electrónicos de asistencia para las compras en almacenes se encuentran principalmente en países desarrollados como Japón, China y Estados Unidos. En orden de mayor uso se encuentran los siguientes sistemas: **Shopping Navis Wagon, Magellan, y Media Cart.**

En la Tabla 2.1 se listan los países y las principales características de los sistemas puestos a disposición en almacenes de cadena que han optado por implementar nuevas tecnologías para brindarles a sus clientes mayor comodidad al momento de realizar sus compras, agilizando y optimizando procesos como la ubicación, el registro y pago de productos.

Tabla 2.1. Antecedentes internacionales de carros de compra inteligentes.

Referencia	PAÍS	NOMBRE DEL PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS
[@XATACA 06]	Japón	Shopping Navis Wagon	Este carrito de supermercado cuenta con una pantalla LCD y un lector RFID. Permite identificar y ubicar los productos dentro del almacén.

2. MARCO TEÓRICO

[@SANTOTOME 11]	China	---	Cada carrito tiene una Tablet, que se sincroniza con la aplicación instalada en el Smartphone. Permite tener acceso a la ubicación y a la información de los productos. Maneja RFID.
[@CLARIN 03]	Estados Unidos	Magellan	Este tipo de carrito cuenta con una mini-computadora que permite identificar al cliente, le ofrece la ubicación de los productos que requiera y a medida que camina por los pasillos le muestra las promociones que el almacén ofrece.
[@EMOL 08]	Estados Unidos	Media Cart	Es una consola instalada en el carro, permite a los compradores encontrar los productos dentro de la tienda, obtener información detallada de estos y llevar una lista de compra virtual en la que se controla que se ha o no comprado. Además esta consola les ofrece información a los usuarios acerca de las promociones existentes en el almacén que le permitan ahorrar dinero en sus compras.

En la Tabla 2.2 se presentan diferentes trabajos realizados a nivel internacional relacionados con los sistemas de posicionamiento en interiores usando tecnología *WiFi*, en ésta se observan las principales características de estos sistemas como lo son: el número de Puntos de Acceso, algoritmo del cálculo de la posición, exactitud y precisión.

Tabla 2.2. Antecedentes internacionales relacionados con los LPS.

Referencia	Puntos	Distancia entre puntos [m]	AP	Algoritmo	Exactitud [m]	Precisión
[RADAR 00]	70	--	3	Vecindad más próxima	2,75	50%
[MOUSTAFA 03]	110	1,52	4	Método probabilístico	2,15	90%

2. MARCO TEÓRICO

[BRUNATO 04]	257	--	6	SVM	5,12	90%
				WKNN	5,16	
				Bayesiano	5,61	
				MLP	5,4	
[OUTEMZABET 08]	555	1	6	KNN	3,81	75%
				MLP	4,99	
				GRNN	3,62	
[ROOS 02]	155	2	10	Vecindad más próxima	7,23	90%
				Bayesiano	4,6	90%
[LADD 02]	11	3	5	Bayesiano	1,5	77%
[GWON 04]	207	1,42	4	TIX (Triangular interpolación y extrapolación)	5,4	--
[PRASI 02]	60	1,5 - 3	2-7	Vecindad más próxima	6	75%

2.2.2 Antecedentes Nacionales

De acuerdo con la bibliografía consultada, en Colombia no existen actualmente dispositivos electrónicos de registro de productos con las características que poseen aquellos mencionados en la Tabla 2.1. La falencia de desarrollos en esta vía puede ayudar a generar oportunidades de comercialización de soluciones tecnológicas para grandes cadenas de almacenes.

En la búsqueda de trabajos relacionados a nivel nacional se encontró que en Bogotá hay un supermercado inteligente llamado SMARKET; en él se maneja un prototipo de carro inteligente similar al mencionado en [@EMOL 08]; sin embargo está implementado solo con fines de investigación. En la Tabla 2.3 puede observarse las características del dispositivo utilizado en [@RFIDPOINT 07].

Tabla 2.3. Antecedentes nacionales de carros de compra inteligentes.

AUTOR	CIUDAD	NOMBRE DEL PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS
[@RFIDPOINT 07]	Bogotá	---	Este carrito de compras permite identificar al cliente, ubicar y brindar información de los productos, una vez éste finalice puede enviar la información correspondiente de su compra para que se realice la factura, de esta manera cuando se acerque a la caja ésta ya estará impresa y lista para ser cancelada. Maneja RFID.

2. MARCO TEÓRICO

2.3 APLICACIONES MÓVILES

Una aplicación móvil es un paquete de código pequeño, diseñado y desarrollado para correr sobre dispositivos móviles, tales como *tablets*, teléfonos inteligentes (*Smartphones*) y Asistentes Digitales Personales (PDAs). Debido a su corta extensión, estas unidades de software tienen funciones limitadas, sin embargo permiten a los usuarios contar con servicios similares a los que podrían acceder desde un computador personal.

Los desarrolladores de este tipo de aplicaciones tienen preferencia por soluciones multi-tarea. Sin embargo, su especificidad es ahora parte de su atractivo ya que permiten a los consumidores seleccionar manualmente lo que sus dispositivos son capaces de hacer [TECHOPEDIA 10].

Las aplicaciones móviles comúnmente denominadas “apps” tienen como finalidad mejorar las características de un dispositivo móvil, mediante la adición de funcionalidades y utilidades que aumentan las funciones utilitarias y de entretenimiento del dispositivo móvil[ZEROZERO 06]. Los tipos de aplicaciones varían, pero las formas más comunes incluyen juegos, interfaces, calculadoras o buscadores web.

La distribución de aplicaciones móviles es manejada típicamente por los propietarios del sistema operativo móvil, dentro de los distribuidores más importantes están: *Apple App Store*, *Google Play*, *Windows Phone Store* y *BlackBerry App World*. Algunas de las aplicaciones que allí se encuentran están de forma gratuita mientras que otras tienen un precio por descarga.

Entre las plataformas más populares para el desarrollo de aplicaciones móviles se encuentran: *Apple's iOS*, *Google's Android*, *Microsoft's Windows Mobile*, *Nokia's Symbian OS* y *RIM's BlackBerry*. Es decisión de cada desarrollador escoger una de las plataformas existentes. Sin embargo éste no deberá considerar solo sus necesidades como desarrollador, es decir, no solo tener en cuenta los conocimientos y la comodidad que tiene con determinado lenguaje de programación, sino que también deberá considerar el público al cual quiere llegar y/o la necesidad que se desea suplir.

En el caso de este trabajo, la necesidad es hacer más cómodo y ágil el proceso de compras en un almacén de cadena mediante una aplicación móvil y el público al que se quiere llegar son los usuarios del almacén, sin embargo también deben considerarse las necesidades del propietario ya que será él quien asuma los costos de implementación del sistema. Por tal razón el software a desarrollar debe estar implementado con un lenguaje robusto y dinámico, contar con una interfaz amigable al usuario y poder correr sobre dispositivos que para el propietario del almacén impliquen la menor inversión.

A continuación se muestra una comparación entre las diferentes plataformas en cuanto a requisitos del sistema, costos de los equipos, lenguaje de programación y penetración del sistema operativo móvil en el mercado, de esta manera se contará con elementos de juicio para tomar una decisión sobre la plataforma a elegir para el desarrollo del presente trabajo de grado.

2. MARCO TEÓRICO

- Requisitos mínimos del Sistema Operativo para desarrollo de apps: mientras que las plataformas *Google's Android* y *Nokia's Symbian OS* funcionan tanto en *Windows* como *Linux* y *MAC OS*, *Apple's iOS*, *Microsoft's Windows Mobile* y *RIM's BlackBerry* tienen restricciones en cuanto al sistema operativo sobre el que pueden ser desarrollados; *Apple's iOS* por ejemplo requiere computadores en los que se corra *MAC OS 10.6* y la plataforma *Microsoft's Windows Mobile* solo funciona en computadores que cuenten con *Windows 8*.
- Lenguaje de programación: el lenguaje de programación es aquel que permite describir el conjunto de acciones que el dispositivo va a ejecutar, dependerá de cada desarrollador elegir entre *Objective C*, *Java*, *Phyton*, *C* y *C++*. A continuación se da una noción de cada lenguaje mencionado:

Objective C es el lenguaje de programación principal que se utiliza al escribir software para *iOS*. En [@DEVEAP 13] se encuentra información para profundizar sobre este tema.

Java es un convencional y rápido lenguaje de desarrollo de prototipos. Por definición, *Java* es un lenguaje simple, orientado a objetos, distribuido, robusto, portable, de alto rendimiento, multi – hilo y dinámico. En[@JAVA 13]) se encuentra más información para profundizar sobre este tema.

Phyton es un lenguaje de propósito general, interactivo, orientado a objetos y de alto nivel. Lo que desea saber sobre este lenguaje de programación lo encuentra en [@PHYTON 13].

Lenguaje C es un lenguaje de programación de propósito general con económicas características de expresión, modernas expresiones de flujo de control, estructura de datos, y un rico conjunto de operadores. Si desea profundizar sobre este lenguaje de programación visitar [@CREF 12] y/o [@CPROG 11].

Lenguaje C++ es una extensión de *C*, ofrece una serie de características que de alguna manera mejoran el lenguaje *C*, lo más importante quizás es que provee la capacidad para la programación orientada a objetos (ver más información en [@CPPREF 12] y [@CPROG 11]).

Según [@TCLTK 13], **TCL** (*Tool Command Language*) es un lenguaje de programación dinámico muy poderoso pero fácil de aprender, apropiado para un amplio rango de usos, incluyendo aplicaciones web y de escritorio, redes y muchas más. Por otra parte **TK** es un conjunto de herramientas de interfaz gráfica de usuario, que permite llevar el desarrollo de aplicaciones de escritorio a un nivel más alto que el de los enfoques convencionales.

Visual Basic es un lenguaje de programación de alto nivel que puede ser usado para desarrollar aplicaciones de negocios u otras. Dentro de los lenguajes de programación tales como *C++*, *Java*, *JavaScript*, *Flash* y *HTML*, *VB* es relativamente fácil de aprender (consulte [@VISUALBASIC 13] para más información).

2. MARCO TEÓRICO

- Costos de hardware: los dispositivos requeridos deberán contar indispensablemente con cámara y la posibilidad de conexión a una red *Wi-fi* –esto para que la aplicación corra correctamente-, actualmente, estas características son propias de los dispositivos móviles de última generación. Los valores de estos equipos oscilan entre los USD \$ 155 y 680 equivalentes a un rango entre COL \$ 273.885y 1’201.560. Los precios mencionados anteriormente corresponden a equipos por los que no se debe pagar una mensualidad, ya que los *Smartphones* por ejemplo, se pueden adquirir en un plan pos pago para que los precios del equipo sean mucho más económicos, sin embargo para el dueño del almacén adquirir una deuda mensual en un intervalo de tiempo que debe ser mínimo de un año no es conveniente porque tardará mucho más en recuperar la inversión realizada.
- Penetración del sistema operativo móvil: este ítem debe considerarse porque puede darse el caso de usuarios que deseen tener la aplicación en su propio dispositivo móvil y de esta manera no depender de los equipos ofrecidos por el almacén, claro está que esto podrá realizarse siempre y cuando se cumpla con ciertas garantías para el almacén de manera tal que no se ponga en riesgo la seguridad del mismo. Para ello, se tuvo en cuenta un estudio realizado por Gartner Inc.¹ que muestra la penetración de los diferentes sistemas operativos desde el año 2010 hasta el 2012, e incluso se realiza una proyección al año 2015. Según esto durante el primer año del estudio, Symbian era el Sistema Operativo más utilizado seguido de *Android*, sin embargo desde el 2011 éste le arrebató ese primer lugar para quedarse con él hasta el 2015, el segundo lugar se disputa entre Symbian, iOS y Microsoft hasta el 2012 y entre los dos últimos para el 2015.

En la Tabla 2.4 se presentan los diferentes sistemas operativos como Symbian, *Android* y Microsoft y su comportamiento en cuanto a cantidad de usuarios en un lapso de 5 años. Se puede apreciar la dominación del sistema operativo *Android* desde el año 2011.

Tabla 2.4. Dispositivos móviles vendidos en el mundo según el Sistema Operativo².

Sistema Operativo (OS)	2010	2011	2012	2015
Symbian	111,577	89,930	32,666	661
Cuota en el mercado (%)	37.6	19.2	5.2	0.1
Android	67,225	179,873	310,088	539,318
Cuota en el mercado (%)	22.7	38.5	49.2	48.8
Research In Motion	47,452	62,600	79,335	122,864
Cuota en el mercado (%)	16.0	13.4	12.6	11.1
iOS	46,598	90,560	118,848	189,924
Cuota en el mercado (%)	15.7	19.4	18.9	17.2
Microsoft	12,378	26,346	68,156	215,998
Cuota en el mercado (%)	4.2	5.6	10.8	19.5

¹ Según [GARTNER 13], Gartner Inc. es una firma de consultoría e investigación tecnológica que cuenta con sedes en Stanford, Connecticut y Estados Unidos. El objetivo de esta empresa es realizar estudios y asesorar a sus clientes para que tomen la mejor decisión en cuanto a la tecnología que desean manejar.

²La tabla se encuentra en miles de unidades y la fuente es [GARTNER 13].

2. MARCO TEÓRICO

Other Operating Systems	11,417.4	18,392.3	21,383.7	36,133.9
Cuota en el mercado (%)	3.8	3.9	3.4	3.3
Mercado total	296,647	467,701	630,476	1,104,898

2.3.1 Plataforma de desarrollo seleccionada

La información sobre las características asociadas a cada plataforma de desarrollo consignada en los apartados anteriores se resume en la Tabla 2.5. En base a esta información y considerando que la aplicación debe desarrollarse en diferentes sistemas operativos, manejar lenguajes de programación robustos, tener acceso a la información de ayuda, y además debido a que los dispositivos de desarrollo son más económicos y los equipos con este sistema operativo móvil tienen un alto índice de penetración en la actualidad, se seleccionó *Google's Android* como la plataforma para el desarrollo de este trabajo de grado.

2. MARCO TEÓRICO

Tabla 2.5. Comparación de plataformas para el desarrollo de aplicaciones móviles³.

PLATAFORMAS DE DESARROLLO					
CARACTERÍSTICA	iOS	Android	Windows mobile	Nokia's Symbian OS	RIM's BlackBerry
Requisitos mínimos de Sistema Operativo para desarrollo.	Mac OS X 10.6	Windows XP	Windows 8 Pro or higher.	Windows	Windows
		Linux		Linux	Linux
		Mac OS X 10.5.8		Mac OS X	
Dispositivo de desarrollo	\$272 iPhone 3G	\$155 Samsung Galaxy Y	\$ 599,99 Windows Phone 8	\$ 250 Nokia N8	\$ 388 PlayBook (Wi-Fi®)
	\$250 iPod Touch	S5360			\$ 237 Blackberry Curve 9320
	\$722 iPhone 4	\$177 Samsung Galaxy Y Duos S6102	\$ 261 Windows Phone OS 7.1	\$ 680 Nokia 808 pureview	\$ 411 Blackberry 9790 Bold
	\$444 iPad				
GUI	Creation Xcode	XML	XAML	QML	HTML
Lenguaje de programación	C	Java	C++	C++	Java
	C++	C	Tcl-Tk	Phyton	C / C++
	Objective-C	C++ Visual Basic	Python		
Página web de Referencia	http://developer.apple.com/iphone	http://developer.android.com/	http://dev.windowsphone.com/en-us/develop	http://www.developer.nokia.com/Develop/	http://docs.blackberry.com/es-es/developers/?userType=21

³Precios dados en dólares americanos.

2. MARCO TEÓRICO

2.3.2 Plataforma de desarrollo *Android*

Android constituye una pila de software (que incluye el sistema operativo, *middleware* y algunas aplicaciones ya implementadas) pensada especialmente para dispositivos móviles, inicialmente fue desarrollado por *Google*, posteriormente se unieron a él un consorcio de 48 compañías de hardware, software y telecomunicaciones (*Open Handset Alliance*).

Comúnmente las aplicaciones se programan en lenguaje java, sin embargo para la interfaz gráfica de usuario se usa lenguaje XML. Una vez desarrolladas las aplicaciones, se ejecutan sobre la máquina virtual Dalvik⁴ la cual funciona de forma óptima sobre el *kernel* de Linux.

Además de ser código abierto, *Google* proporciona de forma gratuita el *Software Development Kit* (SDK) de *Android* que incluye librerías, herramientas necesarias para la construcción, prueba y emulación de las aplicaciones (Entorno de Desarrollo IDE).

2.3.2.1 Arquitectura de la plataforma

Como puede observarse en laFigura2.1, la arquitectura de *Android* está compuesta por diferentes capas, donde cada una cumple una función determinada dentro del sistema. Para conocer información al respecto consultar [MEIER 09].

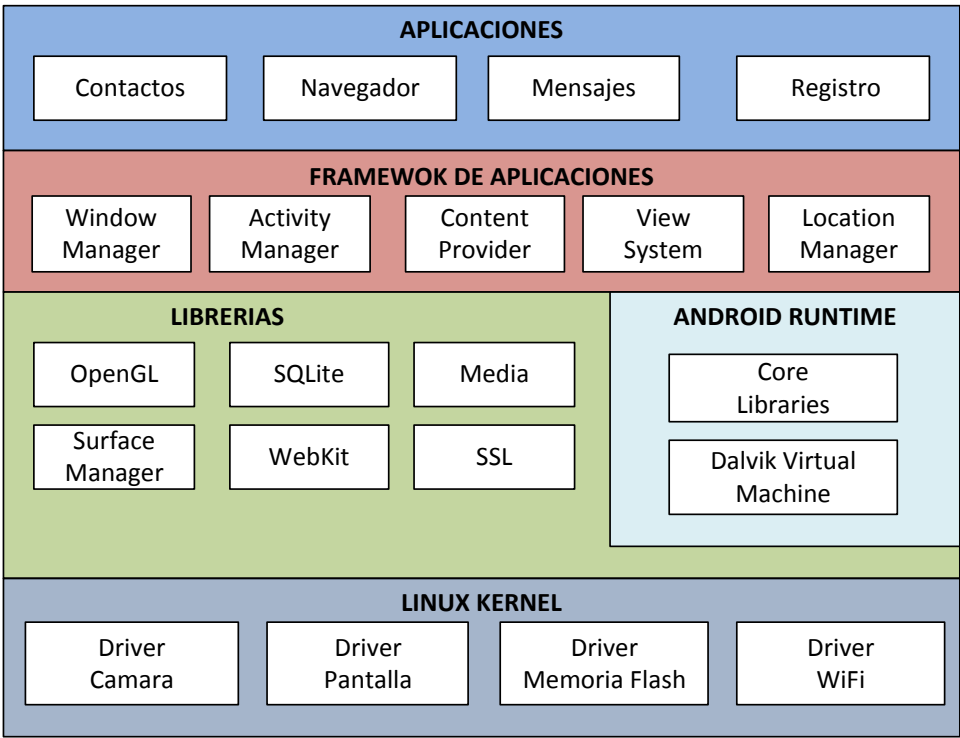


Figura2.1. Arquitectura de *Android*. Figura tomada de [MEIER 09].

⁴Máquina virtual optimizada para dispositivos móviles, requiere poca memoria y permite ejecutar varias instancias de máquina virtual simultáneamente.

2. MARCO TEÓRICO

2.4 REGISTRO DE PRODUCTOS MEDIANTE CÓDIGOS QR

Normalmente las personas realizan sus compras basándose en el precio indicado en el *stand* donde encuentran los productos. Sin embargo, es frecuente ver clientes que cuando llegan a la caja para cancelar encuentran que alguno de sus productos tiene un valor diferente al que ellos habían observado anteriormente.

Para lograr que el cliente pueda realizar el registro de los productos a medida que los va adquiriendo, conocer el precio correcto del producto y, llevar la cuenta de lo que tiene hasta el momento mediante una aplicación móvil, es necesario conocer cuál es el elemento de identificación del producto y cómo se almacenará la información involucrada en el proceso de registro.

En los siguientes numerales se analizan las diferentes opciones compatibles con *Android* y se elige la adecuada para cada caso.

2.4.1 Elementos que permiten la identificación de productos

Hoy en día los almacenes de cadena utilizan los códigos de barra para realizar la identificación de los productos que ofrecen, sin embargo estos muestran información limitada del producto al que están asignados. Consecuencia de esto es el surgimiento de nuevos métodos o elementos que permiten realizar de una mejor manera este proceso tales como los Códigos QR y las Etiquetas RFID.

A continuación se resaltan las características más importantes de cada método de registro y cuál de ellos se adecúa mejor a las necesidades que deben suplirse.

2.4.1.1 Códigos de barras

Los códigos de barras son un conjunto de líneas que se caracterizan por ser paralelas, verticales, de distinto grosor y espaciado, en su conjunto las barras y espacios del código representan pequeñas cadenas de caracteres. Estos códigos van impresos en los productos de consumo, se utilizan como sistema de control ya que facilitan la actividad comercial tanto del fabricante como del distribuidor, no ofrecen información al consumidor si no datos de operaciones que permiten identificar productos, llevar control de inventarios, carga y descarga de mercancías, disminuir tiempos de atención en ventas entre otras acciones.

Inicialmente el acceso a los datos que contienen los códigos de barras se realizaba con un lector óptico. Este tipo de lectores “leen” el contenido del código mediante un rayo láser, la “lectura” es transformada haciendo uso del software correspondiente y finalmente manipulada conforme a determinados requerimientos informáticos. El código leído es enviado a una base de datos y entrega como respuesta el nombre del artículo, su precio y otros datos [HERNANDEZ 04].

Como puede observarse en la Figura 2.2, los códigos de barras solo contienen datos en una dirección, esto es equivalente a tener una capacidad de aproximadamente 20 caracteres.

2. MARCO TEÓRICO



Figura 2.2. Forma de almacenamiento en un código de barras lineal. Figura tomada de [HERNANDEZ 04].

Más tarde los escáneres y el software de interpretación se pusieron a disposición del usuario en dispositivos como impresoras de escritorio y teléfonos inteligentes, permitiendo que la lectura de los códigos de barras se haga actualmente de una manera más fácil y económica.

Algunas ventajas de utilizar códigos de barras son:

- Agilidad en el proceso de etiquetado de los precios de los productos ya que no es necesario hacerlo de una manera especial sobre el artículo.
- Permite conocer en cada venta las referencias vendidas, de tal manera que se puedan realizar estadísticas comerciales.
- Genera un ticket de compra con la relación de los artículos que lleva, permitiendo su comprobación y/o una eventual reclamación.
- La impresión de códigos de bajo costo.
- Captura rápida de los datos y con porcentajes muy bajos de error.
- Los equipos para la lectura e impresión de códigos de barras son flexibles y fáciles de conectar e instalar.
- Permite automatizar el registro y seguimiento de los productos.

Por otra parte dentro de las desventajas que se le atribuyen se encuentran:

- Imposibilidad de recordar el precio del producto una vez apartado del estante.
- Tienen poca capacidad de almacenamiento por ende, ofrecen información limitada del producto que identifican.

2.4.1.2 Códigos QR

En [HUIDOBRO 09] se define un código QR (*Quick Response Code*) como un sistema que permite almacenar información en una matriz de puntos o como un código de barras bidimensional, se puede presentar en forma impresa o en una pantalla y son interpretables por cualquier dispositivo que pueda captar imágenes y cuente con el *software* adecuado.

Los códigos QR normalmente son cuadrados y poseen un patrón de cuadros oscuros y claros en tres de las esquinas como puede observarse en la Figura 2.3, la función de éstos es permitir la detección de la posición del código al dispositivo de lectura.

2. MARCO TEÓRICO



Figura2.3. Ejemplo de un código QR. Figura tomada de [HUIDOBRO 09].

Aunque los códigos de barras aún se encuentran vigentes éstos pueden quedar obsoletos pronto y ser reemplazados por los QR, una de las principales razones es la capacidad de almacenamiento pues estos últimos pueden contener información en dirección horizontal y vertical, almacenando alrededor de 7000 caracteres numéricos.

Ventajas de utilizar códigos QR:

- Los códigos QR cada día son más populares debido a su velocidad de lectura y precisión.
- En el mercado mundial se ha optado por utilizarlos códigos QR con mayor frecuencia, pues día a día se conoce más sobre éstos y se reconoce su conveniencia para aprovechar su capacidad de almacenamiento, la diversidad de caracteres manejados y la facilidad que tienen de ser impresos en un espacio más pequeño que los códigos de barras.
- Tiene la función de corregir errores y se pueden restaurar los datos si la parte del código está dañada o manchada. Como máximo, se puede restaurar hasta el 30%. Puede ser leído a alta velocidad desde todas las direcciones (en 360°).

Desventajas de usar códigos QR:

- Aunque los códigos QR están apareciendo por todas partes, hay una gran cantidad de personas que aún ignoran lo que éstos representan. La desventaja en este caso no es propiamente de los códigos, sino de lo que puede implicar para la persona que los implementa; pues si los usuarios no aprovechan esta nueva forma de obtener información se puede ver como innecesaria la inversión realizada.
- Se requiere instruir a los clientes para que conozcan lo que pueden ofrecerles los códigos QR y que de esta manera quienes cuentan con la tecnología para aprovecharlos, quieran descargar la aplicación y disfrutar de las ventajas mencionadas anteriormente.
- Los códigos QR requieren en muchas ocasiones una conexión a internet para poder acceder a toda la información que ofrecen; ésta es una limitación ya que no todos los usuarios con dispositivos móviles cuentan con este servicio.

2.4.1.3 Etiquetas inteligentes: RFID

La Identificación por Radio Frecuencia RFID es una tecnología de captura e identificación automática de información contenida en etiquetas electrónicas (*tags*).

2. MARCO TEÓRICO

Esta tecnología de comunicación que ha presentado un crecimiento acelerado en los últimos años, consta de etiquetas de radiofrecuencia (*tag*)⁵, uno o varios lectores, antenas y un sistema gestor de información. Un sistema RFID no está completo si carece de alguno de estos cuatro elementos [ONTSI 09].

El *tag* o etiqueta RFID se denomina transpondedor por su modo de operación básico, tiene la capacidad de recibir y transmitir señales ante la petición de un lector RFID. Un *tag* resulta de la integración de un chip o circuito integrado, con una antena de radiofrecuencia (RF) sobre un sustrato que se adapta a los requisitos de la aplicación que se quiera realizar.

Las etiquetas RFID se pueden clasificar según su fuente de energía como:

- Activas: Las cuales presentan una antena transmisora y una fuente de energía (Baterías, celda solar). Normalmente son etiquetas de lectura escritura, grandes, costosas y con un tiempo de vida limitado. (10 años aproximadamente).
- Pasivas: No tienen fuentes de energía ni transmisor, utilizan la petición del lector para obtener suficiente energía y de esta manera poder responder con la información necesaria. Éstas reflejan la energía proveniente del lector en ondas de radio, presentan un menor costo que las activas, el alcance va de unos cuantos centímetros hasta diez metros y el tiempo de vida es ilimitado.
- Semi – Pasivas: Poseen una fuente de energía menor que la de las activas ya que solo la utilizan para hacer funcionar la circuitería interna, la comunicación la realizan con energía del lector.

Las antenas en los tags permiten transmitir la información disponible a un lector, que convierte las ondas de radio reflejadas por la etiqueta en información digital para transmitirla al o los sistemas gestores de información que puedan procesarla. En la Figura2.4 se ilustra este proceso.

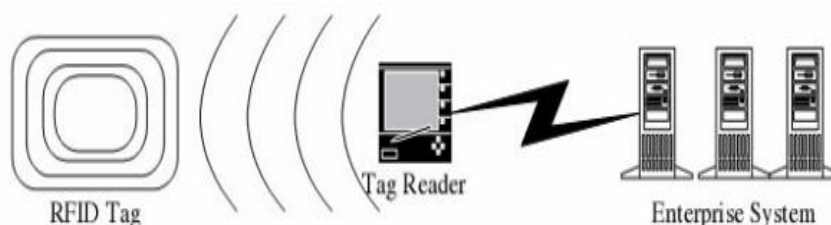


Figura2.4. Funcionamiento de la tecnología RFID. Figura tomada de [ROBERTS 06]

Como pudo observarse anteriormente, los lectores son estaciones de identificación. Para cumplir con su función estos dispositivos cuentan con un módulo RF, una lógica de control y una o varias antenas RF, estas últimas son las que transmiten o inducen una señal electrostática que activa las etiquetas ubicadas en su campo de lectura, provocando que éstas reflejen su información en el lector. La antena y el lector pueden estar separados o integrados en el mismo equipo y se comunican con el servidor que procesará los datos recibidos [HUIDOBRO 04].

Dentro de las ventajas de usar tecnología RFID se encuentra que:

⁵ [HUIDOBRO 04] Menciona que una etiqueta RFID es parecida a un código de barras, pero incluye un pequeño transceptor radioeléctrico y una memoria en la que es posible almacenar información.

2. MARCO TEÓRICO

- Permite realizar un registro de los productos de forma remota.
- Almacena mayor volumen de información en cada etiqueta.
- Presenta mayor rapidez de lectura lo que permite realizar registros de productos casi que de forma simultánea.
- Permite una lectura múltiple y simultánea, gracias a una nueva tecnología llamada anticolidión.
- Cada día las etiquetas son más pequeñas, con mayor capacidad de almacenamiento y un mayor rango de cobertura.
- No requiere línea directa de vista con el objeto que es leído o la etiqueta sobre el mismo.
- Resistencia al medio y facilidad de lectura aun en condiciones de temperatura o superficies no regulares.
- Exactitud en la identificación de la mercancía, esto permite una disminución de la pérdida desconocida por hurto externo o interno.

Desventajas:

- Su principal desventaja es el costo de los lectores. En el mercado actual se encuentra que el lector más económico tiene un valor de \$ 220.000 y este tiene un alcance no superior a los 10 cm. Esto implica que para una aplicación a gran escala se deben usar un gran número de éstos (o lectores mucho más costosos) y así poder obtener resultados aceptables.
- Los sistemas RFID tienen falencias en cuestión de seguridad, se ven afectados por las interferencias electromagnéticas y la atenuación de las señales.
- Implementar un sistema de este tipo requiere una completa actualización de aplicaciones, servidores, software.

2.4.2 Método de registro seleccionado.

En los ítems anteriores se mostraron las principales características de elementos de identificación como los códigos de barra unidimensionales, códigos QR o 2D y las etiquetas RFID. Puede observarse que los códigos de barras 1D y los códigos QR presentan ventajas sobre los tags RFID en cuanto a costos se refiere, sin embargo necesitan tener línea de vista para realizar la identificación del producto .

Teniendo en cuenta la conveniencia de utilizar dispositivos móviles e implementar soluciones del menor costo posible, se opta por escoger los códigos QR. Estos ofrecen mayor capacidad de almacenamiento que los códigos de barra, no requieren lectores que tengan un alto precio, se pueden crear gratuitamente y su impresión no requiere materiales especiales que eleven su costo.

2.5 SISTEMAS DE UBICACIÓN EN INTERIORES (LPS)

Actualmente un sistema de posicionamiento global (GPS) común responde a todas las necesidades de ubicación en exteriores con una muy buena precisión y en tiempo real; sin embargo esta tecnología no es operativa en espacios cerrados donde los tramos son cortos y existe interferencia por las personas que circulan. Por ello los sistemas LPS han sido tema de estudio en los últimos años, apoyados en las tecnologías inalámbricas (RF) que han tenido un

2. MARCO TEÓRICO

gran auge y están presentes en muchos aspectos de la vida cotidiana ya que estos sistemas de ubicación en interiores (LPS) permiten determinar la posición de una persona dentro de un entorno cerrado.

A medida que avanza la tecnología se tienen sistemas LPS más exactos y robustos, esto los hace adecuados para potenciar diversas aplicaciones como mapas guiados por aeropuertos, hospitales o centros comerciales, sistemas de seguridad y vigilancia, robótica móvil, entre otros.

2.5.1 Tecnologías de localización

Las tecnologías de localización son aquellas que permiten conocer en dónde se encuentra el dispositivo que las está usando en un momento dado. Este tipo de tecnologías resultan de combinar hardware (antenas GPS o Puntos de Acceso por ejemplo) y software (algoritmos que realizan la triangulación en función de la señal recibida) por lo que cada una tiene ventajas y desventajas en términos de exactitud, precisión, velocidad de localización y consumo de batería, entre otros.

Los sistemas de localización en interiores pueden ser clasificados por la tecnología utilizada y por el método para el cálculo de la posición, las tecnologías más comunes para la localización en interiores son Wi-fi, Infrarrojo, GSM, Ultrasonido y RFID que está descrita en el numeral 2.4.1.3, en cuanto a los métodos para el cálculo de la posición se mencionan tres; tiempo de llegada, ángulo de llegada e intensidad de la señal. Estos factores determinan las principales características del sistema por lo tanto se realiza un análisis de las principales tecnologías de localización y su pertinencia respecto a los sistemas LPS.

2.5.1.1 802.11: Wi-fi

Una Red de Área Local Inalámbrica (*Wireless LAN* o *Wi-Fi*) une dos o más dispositivos inalámbricamente y permite a sus usuarios conectarse a internet. Esta tecnología consta principalmente de dos dispositivos: Los Puntos de Acceso y los adaptadores de Red; denominados también clientes. Los puntos de acceso son dispositivos que interconectan los diferentes elementos que componen una red inalámbrica a internet como puede observarse en la Figura2.5, además emiten periódicamente una señal que les permite a sus clientes saber cuántas redes inalámbricas están presentes.

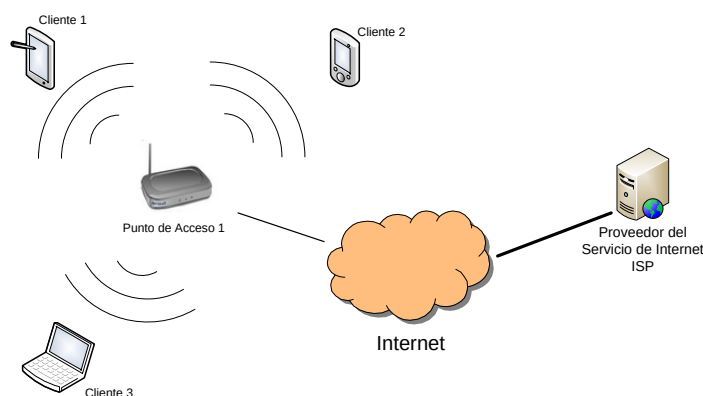


Figura2.5. Componentes de una red de área local inalámbrica.

2. MARCO TEÓRICO

El creciente predominio de redes de área local inalámbricas, ha permitido realizar un avance considerable relacionado con la medición de la intensidad de la señal en los puntos de acceso *Wi-Fi* para la localización.

La tecnología *Wi-Fi* se enmarca dentro de los estándares IEEE 802.11 y transmite en la banda *ISM* (*Industrial, Scientific, Medical*) debido a que esta banda se encuentra saturada por múltiples aplicaciones y tecnologías es necesario implementar técnicas de espectro ensanchado (*Spread Spectrum*) y controlar la potencia de transmisión para atenuar los efectos de interferencia con otros dispositivos. El estándar 802.11 opera en la frecuencia de 2,4GHz y 5 GHz. La banda de 2,4 GHz se divide en 11 canales para Estados Unidos y 13 canales para Europa, la frecuencia central de cada canal esta espaciada 5MHz de su canal adyacente y cada canal ocupa 20MHz de ancho de banda como se observa en la Figura 2.6. Para más información consultar [IEEE 11].

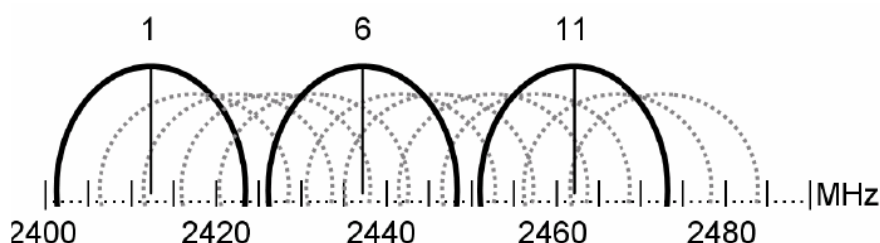


Figura 2.6. Ejemplo de distribución de canales en la banda de 2,4 GHz para Estados Unidos. Figura tomada de [GARCIA 07].

Para obtener la intensidad de la señal recibida (RSS) los puntos de acceso envían periódicamente tramas denominadas *beacon* que permiten informar a los dispositivos cuales redes inalámbricas están presentes, estas tramas son usadas por los dispositivos móviles para determinar la intensidad de la señal través del RSSI (Indicador de intensidad de señal recibida).

Para conectarse a una red WLAN como primera medida debe hacerse un proceso de escaneo el cual permite ver la cantidad de redes disponibles y cuál de todas es la más adecuada para la conexión. Según el estándar 802.11 [IEEE 11], existen dos tipos de escaneo; Activo y Pasivo.

En el escaneo Activo el dispositivo móvil emite una trama de petición (*proberquest*) por el canal deseado con destino a todos los puntos de acceso presentes (*Broadcast*), estos AP responderán con una trama de respuesta (*probe response*) de la cual se puede obtener la información necesaria como las direcciones físicas y la intensidad de la señal. El tiempo de escaneo será igual al tiempo de transmisión de las respectivas tramas, además del tiempo en el cambio de canal y el tiempo de espera si se encuentra el canal ocupado (Según el protocolo de acceso).

En el escaneo pasivo el dispositivo móvil sintoniza un canal y monitorea el tráfico presente en este canal, de todas las tramas obtenidas debe obtener las tramas *beacon* en las cuales se encuentra la información necesaria delos AP.

Al ser inalámbrica las señales presentan variaciones a lo largo del canal de comunicación que pueden afectar el correcto funcionamiento de la conexión, entre las cuales se encuentran la absorción, reflexión y dispersión.

2. MARCO TEÓRICO

Además de las interferencias debidas a los efectos de la propagación también se debe tener en cuenta que en un ambiente en interiores están presentes múltiples puntos de acceso y redes WLAN que generan posibles interferencias por canal adyacente y co-canal.

Para el caso de interferencia co-canal el estándar 802.11 implementa CSMA/CA como protocolo de control de acceso al medio (*Medium Access Control*) que le permite a diferentes puntos de acceso transmitir en un mismo canal. Al existir solapamiento entre canales la energía transmitida en un canal específico puede generar interferencia en los canales adyacentes, para el sistema de localización se recomienda usar los canales que no presentan solapamiento (Canal 1, 6y 11). En [GARCIA 07] se encuentra un estudio más detallado.

2.5.1.2 Infrarrojo

Las redes de infrarrojos son un medio de comunicación inalámbrico que permiten establecer una conexión entre un emisor y un receptor a través de una radiación electromagnética y térmica de mayor longitud de onda que la luz visible. Los sistemas infrarrojos tienen algunas ventajas respecto a la comunicación por radiofrecuencia pues al utilizar luz presentan un gran ancho de banda, son inmunes a interferencias de tipos radioeléctrico, y además al ser de corto alcance son casi imposibles de interferir [FLORES 02].

Sin embargo presenta grandes desventajas para el posicionamiento en interiores, principalmente debido a que es necesario tener línea de vista entre los sensores y el transmisor ya que las señales infrarrojas no pueden atravesar paredes u obstáculos, por ello se debe implementar una gran red de sensores y transmisores infrarrojos para obtener una precisión satisfactoria.

2.5.1.3 Sistema Global para las Comunicaciones Móviles

El sistema GSM (del inglés *Global System for Mobile Communications*) es un sistema de radiocomunicaciones, destinado para la comunicación a larga y media distancia, digital, móvil y celular.

Los sistemas de ubicación permiten usar la infraestructura presente en la red GSM por lo cual no requieren un hardware adicional. Una estación base está enviando permanentemente una señal por el canal de control al dispositivo móvil con lo que se puede obtener la posición del usuario. Su principal desventaja es la poca precisión (aproximadamente 40 metros) lo que dificulta su aplicación para posicionamiento en interiores.

2.5.1.4 Ultrasonido

El ultrasonido se refiere a las ondas vibratorias en sólidos, líquidos y gases a frecuencias por encima de aquellas que están dentro de la banda auditiva, los ultrasonidos actualmente se utilizan en estudios científicos de propiedades de los materiales, en una amplia gama de aplicaciones industriales, de modalidades de registro y en aplicaciones médicas para diagnóstico y terapia. Aunque los dispositivos de ultrasonido son de bajo costo presentan problemas de reflexión frente a la mayoría de los obstáculos y poseen un corto alcance.

2. MARCO TEÓRICO

2.5.2 Técnicas de medida.

Una vez obtenida la tecnología de localización es necesario utilizar algún método que defina las medidas necesarias con las cuales se calcula la posición del dispositivo, estas medidas pueden estar basadas en distancia, tiempo, potencia, ángulo entre otros. Para el caso de distancias se usa la triangulación para determinar la posición de un dispositivo, en el caso de la potencia se usan métodos de huellas para el cálculo de la posición. A continuación se describen las principales técnicas de medida.

2.5.2.1 Tiempo de llegada (TOA)

Es el tiempo que tarda una señal en propagarse, permite determinar la distancia entre el transmisor y el receptor multiplicando la velocidad de propagación de la señal por el tiempo de llegada, esta distancia se usa para calcular la posición del dispositivo haciendo uso de un método de trilateración.

El método de Trilateración permite calcular la posición de un elemento en particular teniendo en cuenta las distancias desde el objeto hasta varios puntos de referencia, como se muestra en la Figura 2.7. Para determinar la posición del objeto es necesario tener la medida de tres distancias, de tal forma que el objeto está ubicado en la intersección de las tres circunferencias que representan.

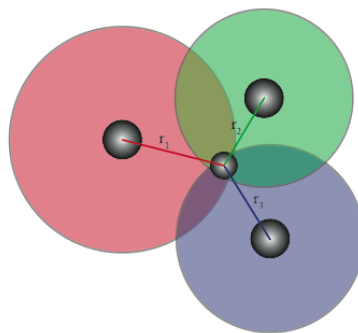


Figura 2.7. Cálculo de posición con el método de trilateración. Figura tomada de [ZIGBE 13].

La principal ventaja es que no requiere una etapa de calibración, por lo tanto es flexible al momento de realizar cambios espaciales de los puntos de acceso, ya que solo es necesario conocerla ubicación de éstos. Entre las principales desventajas se encuentra la alta sensibilidad a las interferencias causadas por el tráfico de personas y los obstáculos del entorno que generan errores al momento de calcular cada una de las distancias por lo que el método de trilateración se vuelve mucho más complejo, implicando un mayor costo y tiempo computacional así como una menor precisión en el cálculo de la posición.

2.5.2.2 Angulo de llegada (AOA)

Esta técnica determina la posición del objeto teniendo en cuenta el ángulo de incidencia de la señal recibida, para ello es necesario usar antenas direccionales o un conjunto de antenas. El ángulo se mide entre una línea imaginaria horizontal y una línea recta trazada desde el transmisor hasta la antena receptora.

2. MARCO TEÓRICO

Al depender de la orientación esta técnica requiere hardware adicional; para una medición aceptable este método requiere entre 4 y 12 antenas receptoras en el dispositivo móvil distribuidas en diferentes posiciones. Al igual que en el caso anterior la señal es susceptible a interferencias por obstáculos o tránsito de personas provocando efectos de multitrayectoria que afectan seriamente el desempeño del sistema.

2.5.2.3 Intensidad de la Señal Recibida (RSS)

En esta técnica se emplea la intensidad de la señal recibida para determinar la distancia entre el receptor y el transmisor, es una de las técnicas más utilizadas en el posicionamiento en interiores debido a que los dispositivos móviles y los puntos de acceso proporcionan información de la intensidad de la señal de manera rápida y sencilla, sin ningún tipo de hardware adicional.

Para el cálculo de la posición del dispositivo se pueden utilizar dos métodos. El primero consiste en hallar la distancia que existe entre el transmisor (Punto de Acceso) y el receptor (Dispositivo Móvil) aplicando una función que relacione la intensidad de la señal y la distancia, esta función se denomina modelo de propagación.

Los modelos de propagación generalmente son desarrollados de manera empírica basándose en la extrapolación de los resultados obtenidos bajo un ambiente de prueba controlado. Por ello se tienen diferentes modelos dependiendo de las características del entorno en el que se apliquen (exteriores o interiores). Algunos de los modelos de propagación en interiores son estudiados en [TUMMALA 05].

Es fundamental conocer las características del entorno de trabajo ya que de ello depende el modelo de propagación a aplicar. Un modelo de propagación que no sea adecuado genera errores en el cálculo de las distancias, produce imprecisiones en el sistema y aumenta la carga computacional para el dispositivo móvil.

Un segundo método para determinar la posición de un dispositivo es el ***Fingerprinting*** o Huella digital de potencia, este método consiste en realizar un mapa de potencias en el área de interés, esta área es dividida en una rejilla de puntos y en cada punto se mide la intensidad de la señal para cada Punto de Acceso. Este mapa de potencias es almacenado en una base de datos junto a las coordenadas de la ubicación, posteriormente se procede a calcular la posición del dispositivo comparando la intensidad de la señal obtenida en un punto determinado con las intensidades almacenadas en la base de datos.

La principal desventaja de este método es que requiere una etapa de calibración en la que se recopila la información de la intensidad de la señal y las coordenadas, ésta etapa demanda una gran cantidad de tiempo para obtener un mapa de potencias aceptable, además si las condiciones reales de trabajo varían considerablemente respecto a las condiciones en la fase de calibración la exactitud del sistema disminuirá. A favor tiene que el sistema es flexible respecto a los métodos de comparación, además el tiempo que se requiere para determinar la posición es aceptable y con el mapa de potencias se obtiene la información real de la intensidad de la señal en el entorno de trabajo.

2. MARCO TEÓRICO

2.5.3 Algoritmos para el análisis de patrones

En los numerales siguientes se explican los diversos algoritmos aplicables al análisis de patrones que son de utilidad al momento de calcular la posición en el método de *Fingerprinting*.

2.5.3.1 Método del vecino más próximo

El Método consiste en tener una base de datos con los vectores de intensidad y las posiciones del dispositivo móvil, el dispositivo toma una nueva muestra para formar un vector de intensidades de prueba, este vector se compara con cada uno de los vectores almacenados hasta encontrar cuál de ellos (o cuáles de ellos) es el más cercano y de esta forma asociarle las coordenadas (x, y) de este vector.

El vector más cercano será el que minimice una medida de distancia definida en el espacio de las señales recibidas, la medida de distancia más simple usada es la euclidiana, aunque se puede usar cualquier otro tipo de distancia.

Para el cálculo de la distancia euclidiana se consideran los vectores dados en las ecuaciones (1), (2) y (3) en donde P es un vector en la base de datos, V es el vector de prueba del punto que se desea ubicar y D es la distancia que se requiere minimizar.

$$P = \{R_{SSP1}, R_{SSP2} \dots R_{SSPN}\} \quad (1)$$

$$V = \{R_{SSV1}, R_{SSV2} \dots R_{SSVN}\} \quad (2)$$

Donde Rssp_n representa la intensidad de la señal recibida para el “n-esimo” Punto de Acceso. La distancia euclidiana D estará dada por:

$$D = \sqrt{(R_{SSP1} - R_{SSV1})^2 + (R_{SSP2} - R_{SSV2})^2 + (R_{SSPN} - R_{SSVN})^2} \quad (3)$$

Cuando se usan los K vecinos más cercanos correspondientes a las posiciones $X_1 \dots X_K$, se puede calcular la posición (x, y) de la muestra como una combinación lineal de dichas posiciones.

2.5.3.2 Redes Neuronales

Las redes neuronales artificiales (RNA) han sido desarrolladas con el fin de emular el funcionamiento del cerebro humano. Basadas en el funcionamiento de las neuronas biológicas, su gran potencial radica en la posibilidad de interconexión y no en su funcionamiento por sí solas. Una red neuronal está compuesta por una gran cantidad de neuronas artificiales, éstas reciben como entradas estímulos que serán modificados por un vector de pesos sinápticos que emulan la sinapsis existente entre las neuronas biológicas.

Arquitectura de la red:

Por arquitectura se refiere a la topología de la red, o en otras palabras la forma en la cual están conectadas las neuronas. Como se había mencionado anteriormente, en una red neuronal las neuronas están conectadas entre ellas por un conjunto de pesos sinápticos tal como se muestra

2. MARCO TEÓRICO

en la Figura 2.8, éstos son ajustados durante la etapa de entrenamiento concediéndole a la red la capacidad de aprender.

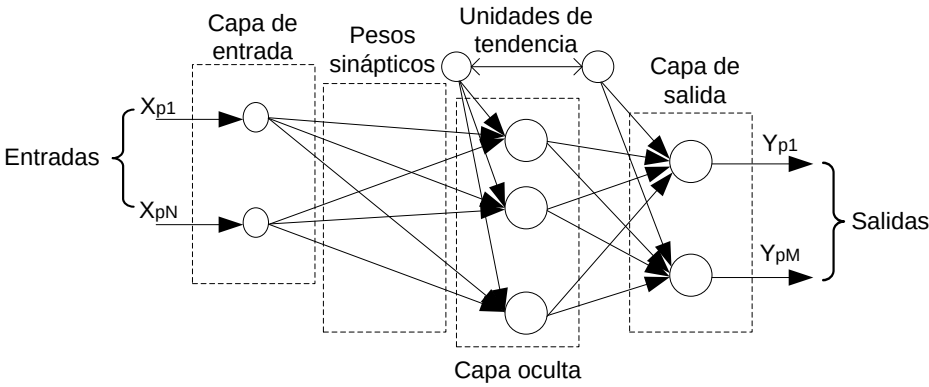


Figura 2.8. Arquitectura de una Red Neuronal Artificial.

Las neuronas son agrupadas en unidades estructurales denominadas capas, existen tres tipos de capas que son: capa de entrada, capa oculta y capa de salida, cada neurona de una capa presenta una conexión total con cada una de las neuronas de la capa siguiente, de tal forma que la información en una red neuronal fluye en una dirección. Mayor información sobre RNA [CAICEDO 09].

2.5.3.3 Algoritmo de K-means.

Debido a las interferencias presentes en el entorno, la intensidad de la señal en un punto determinado no será constante, por lo tanto en cada punto se tendrán un grupo de potencias o *clúster*. El algoritmo de K-means (K-medias) es un algoritmo de *clustering* que permite seleccionar un vector representativo (Centroide) de cada clúster, tomando como parámetro de clasificación la distancia, cada uno de estos centroides son almacenados en la base de datos con los cuales se forma el mapa de potencias para el sistema de localización. Para más información sobre Algoritmos de *clustering* ver [TAN 06].

2.5.3.4 Estimación dinámica de la posición.

El filtro de Kalman es un algoritmo de procesamiento de datos óptimo y recursivo que permite estimar los estados de un proceso teniendo en cuenta sus estados anteriores y observaciones, además tiene la ventaja de incluir la incertidumbre del proceso y el ruido de las observaciones, siempre que este ruido tenga media cero y no estén correlacionados (Ruido blanco). El filtro es óptimo porque combina toda la información observada y el conocimiento previo acerca del comportamiento del sistema de manera que se pueda minimizar el error estadísticamente.

Un sistema puede ser descrito por sus variables de estado como se muestra en la Figura 2.9 y en las expresiones (4) y (5).

2. MARCO TEÓRICO

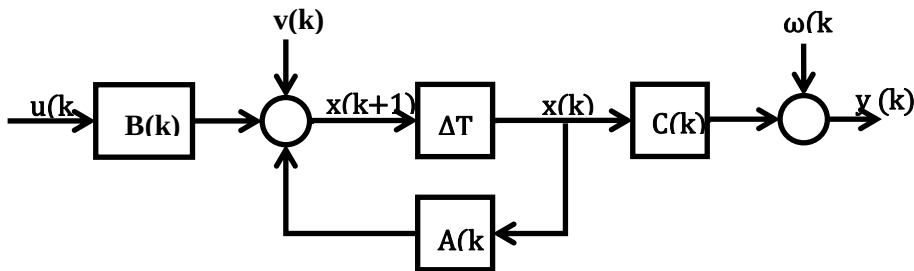


Figura 2.9. Descripción de un sistema lineal por sus variables de estado. Figura tomada de [INELMATIC 13].

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + v(k) \quad (4)$$

$$y(k) = Cx(k) + w(k) \quad (5)$$

Donde $x(k)$: Estado Actual del sistema, $y(k)$: Observación del sistema, $w(k)$ ruido blanco asociado a la medición, $v(k)$ ruido asociado al sistema, $u(k)$: Variable de control, A : matriz que define la dinámica del sistema, C : matriz que define el modelo de observación.

El filtro tiene como objetivo encontrar un valor estimado del estado en el instante k ($\hat{x}(k)$) conociendo las mediciones contaminadas $y(k)$ de modo que se minimice el error cuadrático medio, definiendo el error en la ecuación (6) como:

$$e(k) = x(k) - \hat{x}(k) \quad (6)$$

El algoritmo tiene dos etapas, la primera es la de predicción que se realiza antes de tener las medidas, en esta etapa la estimación del estado del sistema se realiza teniendo en cuenta el estado anterior. La segunda es la etapa de corrección en la cual se actualiza el estado teniendo en cuenta las mediciones obtenidas. Para más información ver [WELCH 06]

2.5.4 Método de ubicación seleccionado

Se seleccionó la tecnología **WiFi** para la ubicación del dispositivo móvil, debido a que es de fácil acceso, tiene un alto índice de penetración y actualmente está presente en la mayoría de edificaciones, centros comerciales, casas etc. Además los puntos de acceso son económicos, no es necesario contar con una gran infraestructura y el dispositivo móvil tiene integrado una tarjeta de red que permite realizar las mediciones de una manera relativamente simple. Adicionalmente, *Android* cuenta con una gran librería para el manejo de las redes inalámbricas **WiFi**, lo que facilita la implementación del proceso de ubicación en este sistema operativo.

En cuanto al método de ubicación seleccionado se optó por el método de **Fingerprinting** ya que se adapta mejor al entorno de trabajo y supone un menor costo computacional, lo cual es importante ya que los recursos en estos dispositivos móviles son muy limitados, además el tiempo de respuesta para el cálculo de la posición será más corto. El análisis de las huellas almacenadas en la base de datos se realiza con el método del vecino más próximo, los resultados obtenidos con este método pueden ser observados en el capítulo 5.

2. MARCO TEÓRICO

2.6 PAGO DE PRODUCTOS MEDIANTE LA CONEXIÓN DE *ANDROID* CON PHP Y MYSQL

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema electrónico que además de generar información sobre ubicación y costos de productos, permita agilizar el proceso de adquisición y pago dentro de un almacén de cadena, se realizó una búsqueda de las tecnologías compatibles con *Android* para comunicar los dispositivos móviles con los diferentes puntos de pago. En medio de esta investigación, se encuentra que una manera simple de realizar este proceso es hacer que la aplicación *Android* realice el llamado a un *script* PHP que realiza la conexión con una base de datos MySQL – que se encuentra en un servidor web – para ejecutar una de las operaciones básicas (Crear, Leer, Modificar, Borrar).

Aunque en el anterior procedimiento se hace referencia a las bases de datos MySQL alojadas en servidores web, debe tenerse en cuenta que no son las únicas que se pueden manejar con *Android* pues éste también permite administrar y/o modificar bases de datos internas de una aplicación; es decir aquellas que se almacenan dentro del dispositivo móvil y que no requieren de una conexión a internet para acceder a ellas. A continuación se resaltan los aspectos más relevantes en cuanto a servidores web, PHP y bases de datos.

2.6.1 Servidores web

Un servidor web es un programa informático que ofrece datos en forma de Páginas Web, hipertextos o páginas HTML (*HyperTextMarkupLanguage*): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y/o con objetos incrustados como animaciones o reproductores de sonidos. La comunicación de estos datos entre cliente y servidor se hace por medio un protocolo, concretamente del protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Con esto, un servidor Web se mantiene a la espera de peticiones HTTP, que son ejecutadas por un cliente HTTP; lo que suele conocerse como un Navegador Web. A modo de ejemplo: al teclear (<http://www.cnice.mec.es>) en un navegador, éste realizará una petición HTTP al servidor que tiene asociada dicha URL.

El servidor responde al cliente enviando el código HTML de la página; el navegador cuando recibe el código, lo interpreta y lo muestra en pantalla. El Cliente es el encargado de interpretar el código HTML, es decir, de mostrar las fuentes, los colores y la disposición de los textos y objetos de la página. El servidor se encarga de transferir el código de la página sin llevar a cabo ninguna interpretación de la misma. [@ECURED 13]

Para el tipo de aplicación requerida en este trabajo, debe utilizarse un Servidor Web Local que es aquel Servidor Web que reside en una red local al equipo de referencia, puede estar instalado en cualquiera de los equipos que forman parte de la red. Es por tanto obvio, que todos los Servidores Web, son locales a la red local en la que se encuentran, o como mínimo, locales al sistema en el que están instalados.

Existen numerosas aplicaciones que facilitan la instalación automática de servidores web Apache y aplicaciones adicionales como *Mysql*, *phpMyAdmin* y PHP (entre otros), de forma conjunta, como *XAMPP*, *JAMP* o *EasyPHP*. Estas aplicaciones reciben el nombre de *LAMP* cuando se instalan en plataformas *Linux*, *WAMP* en sistemas *Windows* y *MAMP* en sistemas *Apple Macintosh*.

2. MARCO TEÓRICO

2.6.1 MySQL

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario. Existen varias interfaces de programación de aplicaciones que permiten, a aplicaciones escritas en diversos lenguajes de programación, acceder a las bases de datos MySQL, incluyendo C, C++, C#, Pascal, Delphi (vía *dbExpress*), *Eiffel*, *Smalltalk*, *Java* (con una implementación nativa del driver de *Java*), *Lisp*, *Perl*, *PHP*, *Python*, *Ruby*, *Gambas*, *REALbasic* (Mac y Linux); cada uno de estos utiliza una interfaz de programación de aplicaciones específica. También existe una interfaz ODBC (*Open Database Connectivity*), llamado *MyODBC* que permite a cualquier lenguaje de programación que soporte ODBC comunicarse con las bases de datos MySQL. [INTERFACES 12]

2.6.2 PhpMyAdmin

PhpMyAdmin es una herramienta para la administración del servidor de bases de datos MySQL que dispone de una interfaz gráfica (mostrada en la Figura 2.10) y es de libre distribución, permite realizar todo tipo de operaciones sobre bases de datos tales como:

- Crear, borrar y modificar tablas.
- Consultar, insertar, modificar y eliminar datos - definir usuarios, asignar permisos realizar copias de seguridad, etc.
- Administrar bases de datos locales y remotas.

Esta herramienta se encuentra escrita en PHP y se ejecuta desde el navegador. Si está instalada en la carpeta *phpMyAdmin*, se ejecuta escribiendo en la barra de direcciones del navegador la url <http://localhost/phpmyadmin/>. [INTERFACES 12]

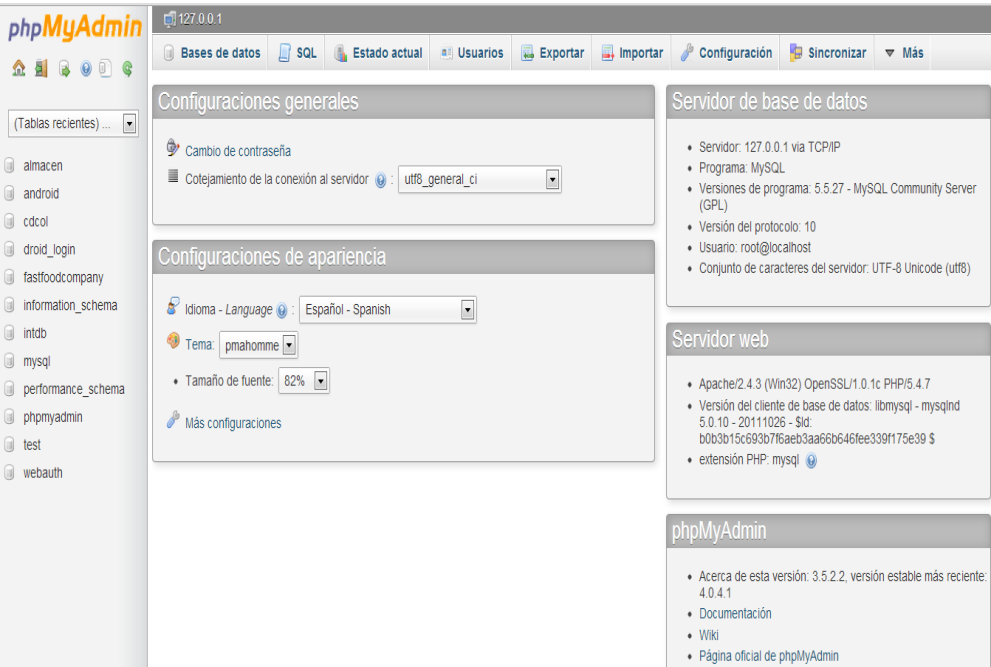


Figura 2.10. Interfaz gráfica de la herramienta phpMyAdmin.

2. MARCO TEÓRICO

2.6.3 PHP

PHP es un lenguaje de programación, diseñado originalmente para la creación de página web dinámicas. El código fuente escrito en PHP es invisible al navegador *web* y al cliente ya que es el servidor el que se encarga de ejecutar el código y enviar su resultado HTML al navegador. Esto hace que la programación en PHP sea segura y confiable. Además tiene capacidad de conexión con la mayoría de los motores de base de datos que se utilizan en la actualidad, destaca su conectividad con MySQL y PostgreSQL⁶.

Para acceder a bases de datos con PHP deben seguirse los siguientes pasos:

- 1. Conectar con el servidor de bases de datos.
- 2. Seleccionar una base de datos.
- 3. Enviar la instrucción SQL a la base de datos
- 4. Obtener y procesar los resultados.
- 5. Cerrar la conexión con el servidor de bases de datos.

2.6.4 Bases de datos

Una base de datos está compuesta por un conjunto de datos persistentes que serán administrados por la empresa según su necesidad para que uno o varios usuarios puedan acceder simultáneamente a los datos que ésta contenga. En el caso de este trabajo de grado es necesario almacenar en una base de datos cierta información de los productos dentro del almacén de cadena que sean relevantes para el usuario final (precio, referencia, características entre otras), se debe contar también con una base de datos para los clientes recurrentes que le permita al almacén ofrecer descuentos y promociones como estrategia de mercado.

Los datos almacenados son estructurados y organizados de una manera específica dependiendo del modelo escogido, actualmente el modelo más común es el relacional. En las bases de datos relacionales se utilizan un número de tablas para representar los datos y las relaciones entre ellos, a cada tabla le es asignado un nombre único.

La tabla está compuesta por filas y columnas, en las columnas se ubican los atributos para los cuales existe un conjunto de valores permitidos, las filas son denominadas tuplas y definen los datos básicos de una persona u objeto. En la figura 2.13 se puede observar un ejemplo de base de datos.

Productos			Pedidos		
Id	Nombre	Valor	id	Fecha	Unidade
A1	Pan	2500	A1	24-may	200
A2	Leche x Litro	2200	A2	03-abr	300
A3	Camisetas	15000	A3	06-ago	100

Figura 2.11. Ejemplo de bases de datos relacionales.

Es necesario contar con un sistema de gestión de base de datos que permita crear, borrar, actualizar y manipular las bases de datos de manera clara, sencilla y ordenada, uno de los sistemas más utilizados actualmente es el *SQLite* que permite implementar el lenguaje SQL (*Structured Query Language*), SQL es un lenguaje para manipulación de base de datos relacionales muy legible y potente, de alto nivel. Para más información sobre base de datos consultar [aSQL 13].

⁶Para mayor información consultar [INTERFACES 12] y [aPHP 13]

2. MARCO TEÓRICO

Android incluye una librería de SQLite que permite crear bases de datos relacionales, navegar entre tablas, ejecutar sentencias SQL etc. Las bases de datos creadas son manipuladas mediante las clases del paquete *android.database.sqlite* y pueden ser leídas desde cualquier clase en la aplicación pero no fuera de ella.

Las bases de datos creadas ocupan muy poco espacio y son almacenadas en la memoria interna del dispositivo en la ruta */data/data/paquete.de.la.aplicacion/databases/nombre_base_datos*. Para mayor información sobre las clases y métodos del paquete de *Android* consultar [@DEVEANBD 13] y [@DEVEANO 13].

2.7 CUADRO COMPARATIVO

Después de recopilar los antecedentes internacionales, nacionales y locales es necesario realizar una comparación en la cual se establezca una posición para este trabajo de grado. La Tabla 2.6 muestra una síntesis de los trabajos previos que cuentan con varios de los subsistemas afines a los desarrollados con esta aplicación. En la

Tabla 2.7 se resumen las diferentes aplicaciones en cuanto a ubicación en interiores se refiere, se hace por separado debido a la cantidad de información que se encuentra para este subsistema.

Tabla 2.6. Cuadro comparativo de los trabajos mostrados en los antecedentes.

Referencia	Sub – Sistema de Ubicación	Sub – Sistema de Registro	Sub – Sistema de Pago
[@XATACA 06]	Si	Si	No
[@SANTOTOME 11]	Si	Si	No
[@CLARIN 03]	Si	Si	No
[@EMOL 08]	Si	Si	Si
[@RFIDPOINT 07]	Si	Si	Si
Este trabajo	Si	Si	Si

Tabla 2.7. Cuadro comparativo de los diferentes trabajos desarrollados de LPS.

Referencia	AP	Algoritmo	Exactitud [m]	Precisión
[RADAR 00]	3	Vecindad más próxima	2,75	50%
[MOUSTAFA 03]	4	Método probabilístico	2,15	90%
[BRUNATO 04]	6	SVM	5,12	90%
		WKNN	5,16	90%
		Bayesiano	5,61	90%
		MLP	5,4	90%
[OUTEMZABET 08]	6	KNN	3,81	75%
		MLP	4,99	75%
		GRNN	3,62	75%
[ROOS 02]	10	Vecindad más próxima	7,23	90%
		Bayesiano	4,6	90%

2. MARCO TEÓRICO

[LADD 02]	5	Bayesiano	1,5	77%
[GWON 04]	4	TIX	5,4	--
[PRASI 02]	2-7	Vecindad más próxima	6	75%
ESTE TRABAJO	3	Vecindad más próxima	5	63 %

2.8 CONCLUSIONES.

Dado el estudio que se realizó en torno a los sistemas operativos para dispositivos móviles, se decidió seleccionar *Android* porque es una plataforma que permite el desarrollo de aplicaciones móviles y que no requiere un sistema operativo específico en el computador utilizado para realizar este proceso ya que funciona sobre Windows, Linux y Mac OS, puede programarse en cuatro lenguajes diferentes (Java, C, C++ y Visual Basic) y tiene los dispositivos de desarrollo más económicos del mercado.

Gracias a la revisión bibliográfica se establecieron las características mínimas que debe cumplir el sistema de ubicación a desarrollar. La tecnología utilizada debe ser de fácil acceso y no requerir gran infraestructura para su implementación por esta razón se seleccionó la tecnología *WiFi*.

Debido a que el Hardware utilizado en la tecnología *WiFi* (Tarjetas de Red y Puntos de Acceso) permite medir la intensidad de la señal de manera sencilla y sin dispositivos adicionales se seleccionó el método de ***Fingerprinting***, además este método supone un menor costo computacional que se ve reflejado en el tiempo de respuesta del sistema.

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada se seleccionó el método del vecino más próximo para calcular la posición, éste permite obtener resultados que cumplen con los objetivos planteados, con una exactitud alrededor de los 5 metros.

Después de consultar sobre los elementos utilizados para la identificación de productos, se escogieron los códigos de respuesta rápida (QR) debido a que permiten almacenar mayor información en las dos dimensiones son económicos porque su impresión no requiere materiales especiales y pueden ser interpretados por cualquier dispositivo con cámara y que cuente con el software adecuado.

Teniendo en cuenta los lineamientos con los que debe contar la aplicación diseñada y el requerimiento de una interfaz de usuario intuitiva, se elige trabajar con un entorno de desarrollo web *WampServer* ya que permite obtener un servidor apache en el computador que se instala con soporte PHP y gestión de bases de datos MySQL.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe la estructura hardware de la plataforma desarrollada haciendo énfasis en las características de los puntos de acceso, dispositivos móviles y computadores personales. Es de vital importancia realizar la identificación de las características mínimas que deben poseer los componentes hardware y que deben considerarse al momento de adquirir elementos para un sistema de este tipo.

En la Figura 3.1 puede observarse el diagrama de bloques general del sistema desarrollado el cual cuenta con tres subsistemas principales: ubicación, registro y pago. El primero está compuesto por tres puntos de acceso y un dispositivo móvil, éstos permiten al usuario conocer su ubicación mediante la medición de la intensidad de la señal que emiten los puntos de acceso y que es recibida por el dispositivo móvil; el segundo y tercer bloque están conformados por el dispositivo móvil y un computador personal.

En el subsistema de registro (segundo bloque), el código QR es capturado con la cámara del dispositivo móvil y procesado a nivel de software, posteriormente se obtiene la información del producto para realizar el registro del mismo, el tercer bloque corresponde al subsistema de pago, en éste se envía un conjunto de datos desde el dispositivo móvil al servidor para que el cliente sea habilitado y pueda realizar el pago de su cuenta. Existe también un subsistema para registro e identificación de clientes pero este maneja los elementos ya mencionados anteriormente (dispositivo móvil y computador personal).

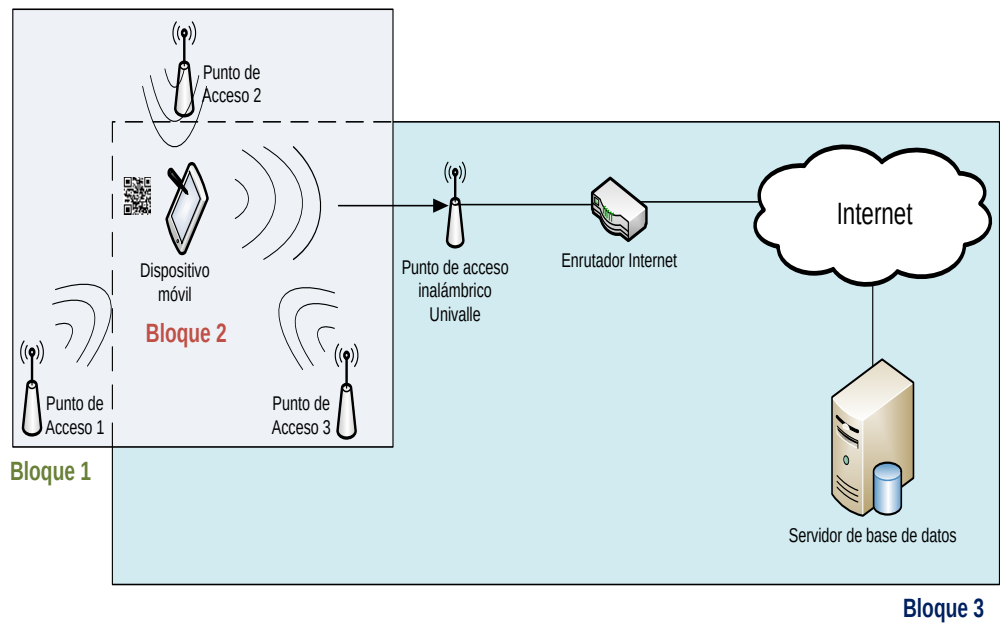


Figura 3.1. Diagrama de bloques general del sistema desarrollado.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

3.2 BLOQUE 1. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE UBICACIÓN.

El sistema de ubicación final⁷ cuenta con tres puntos de acceso y el dispositivo móvil que tiene instalada la aplicación desarrollada. Los puntos de acceso utilizados a lo largo de las pruebas realizadas se pueden observar en la Tabla 3.1. En esta tabla se observan los modelos de los puntos de acceso, la dirección MAC que permite omitir los puntos de Acceso que no pertenecen al sistema, y el canal de transmisión de cada punto de acceso.

Tabla 3.1. Descripción de los Puntos de acceso usados.

Punto de Acceso	Marca	Modelo	MAC	Canal
AP1	Dlink	Dir - 300	00:21:91:5f:c6:47	4
AP2	Zyxel	NWA 3160	00:19:cb:e5:23:72	9
AP3	Dlink	Dir - 300	00:22:b0:47:56:75	7
AP4	Cisco	DPC 2425	00:22:3a:e3:d8:f7	1
AP5	Linksys	WRVS4400 N	PPIEE 2	11

Los puntos de acceso fueron escogidos con base en pruebas realizadas que permitieron caracterizar el comportamiento de la intensidad de la señal. La Figura 3.2 muestra el resultado de la caracterización realizada para AP1. Como era de esperarse la curva característica muestra que la intensidad de la señal emitida por el punto de acceso tiene un comportamiento logarítmico decreciente respecto a la distancia.

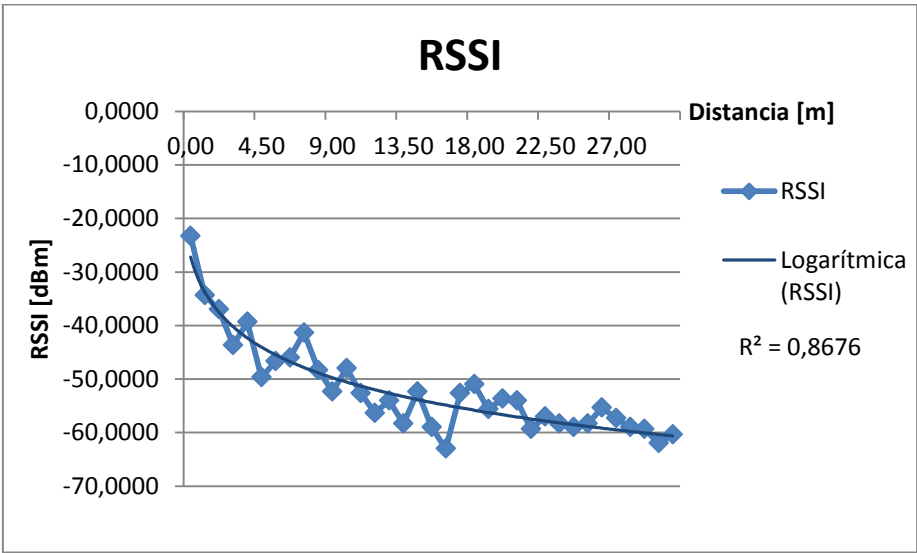


Figura 3.2. Curva característica del Punto de Acceso AP1.

Se debe tener en cuenta por otra parte que hay puntos de acceso que poseen un comportamiento muy variable que los hace inviables para ser utilizados en la aplicación, como se aprecia en la curva característica de la Figura 3.3.

⁷ Se hace énfasis en que es el sistema final ya que también se hicieron pruebas con 4 y 5 puntos de acceso.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

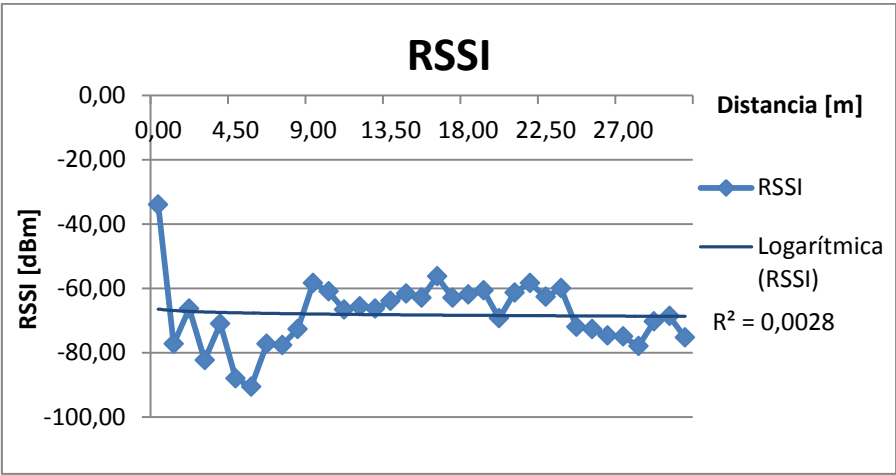


Figura 3.3. Curva característica de uno de los puntos de acceso probados considerado como no apto para la aplicación.

Después de realizar diferentes pruebas de caracterización, los puntos de acceso utilizados en el desarrollo de este trabajo de grado son aquellos que presentan un comportamiento logarítmico respecto a la distancia (Figura 3.2), además de esto se tuvo en cuenta que el valor del coeficiente de correlación – R^2 – se encontrara por encima de 0,8 para cada punto de acceso utilizado.

Las Figuras 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 muestran cada uno de los puntos de acceso utilizados en los diferentes diseños realizados y en la Tabla 3.2 los R^2 obtenidos para cada uno de ellos. Para visualizar mejor los datos las tablas de caracterización y las gráficas con las curvas características que resultan de ellas, consultar el Anexo2.

	El punto de acceso NWA-3160 tiene tres modos diferentes de funcionamiento principales: <i>AP Controller</i>, <i>Managed AP</i>, y <i>Standalone AP</i>. Para gestionar de forma centralizada hasta otros ocho APs compatibles en la misma red o en una diferente. Por otra parte, se puede configurar para actuar como uno de los puntos de acceso que está bajo mando. Sino desea utilizar una red inalámbrica gestionada, puede servir como un punto de acceso autónomo, el cuál ofrece los siguientes modos inalámbricos: Punto de acceso y puente, puente / repetidor, BSSID múltiple y simple AP. Para más información consultar: [@WIFIPLANET 08]
--	--

Figura 3.4. Punto de acceso marca Zyxel modelo NWA 3160.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

	El Router WRVS4400N ofrece velocidades de generaciones siguientes Wireless – N mientras mantiene la compatibilidad con dispositivos más antiguos. Los routers (MIMO) “Múltiple – entrada”, “Múltiple – salida” extienden su alcance y rendimiento. El WRVS4400N incorpora seguridad avanzada que incluye un servicio de seguridad opcional, ayuda a bloquear sitios web maliciosos y acceso a la Web de control. Para más información consulte: [@CISCO 13]
---	--

Figura 3.5. Punto de acceso marca Linksys modelo WRVS4400 N.

	El gateway residencial inalámbrico con adaptador telefónico del modeloCisco® DPC/EPC2425 EuroDOCSIS 2.0 es un cablemodem que cumple los estándares del sector en relación con la conectividad de datos de alta velocidad junto con un servicio de telefonía digital fiable. Este dispositivo proporciona prestaciones de gateway de datos y voz, por cable(Ethernet) o inalámbrico, para conectar una variedad de dispositivos en elhogar o en una oficina pequeña. Además, admiten el acceso de alta velocidad a servicios de datos y de voz altamente rentables, todo en un único dispositivo. Para más información consulte: [@CISCO 13]
---	--

Figura 3.6. Punto de acceso marca Cisco modelo DPC 2425.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

	Con el router Wireless G DIR-300 de D-Link se puede compartir inalámbricamente una conexión a internet, de modo que varias personas puedan navegar, chatear o usar el correo electrónico al mismo tiempo. Este router funciona como el núcleo de la red Wi-Fi™, por lo que el usuario también puede compartir fotos, música, vídeos, impresoras y reproductores de medios digitales. Para más información consulte: [DLINK 13]
---	--

Figura 3.7. Puntos de acceso marca D-Link modelo Dir-300.

Tabla 3.2. Resultados de las caracterizaciones realizadas a los puntos de acceso utilizados en el subsistema de ubicación.

Punto de acceso	R ²
AP1	0,8676
AP2	0,8139
AP3	0,8110
AP4	0,8344
AP5	0,9030

El otro componente del subsistema de ubicación es el dispositivo móvil que tiene entre sus funciones la comunicación directa con los puntos de acceso y debe presentarlas siguientes características mínimas e indispensables: conexión a internet por Wi-fi, cámara con 2 Mpx o más y sistema operativo *Android* (seleccionado para este trabajo). Las pruebas experimentales se realizaron con dos celulares (LG E510 y LG L5) que cuentan con las características anteriormente mencionadas las cuales se pueden consultar en [LGMOBILE 13].

En la Figura 3.8 se muestra el hardware que hace parte del bloque 1. Para su funcionamiento, los puntos de acceso envían periódicamente una señal para informar su presencia, la cual es recibida por el celular para suministrar información relevante como la Dirección MAC de los puntos de acceso, la intensidad de la señal y la frecuencia de transmisión. Una vez recibida dicha información, la aplicación la almacena y ejecuta un algoritmo de localización para determinar la posición del dispositivo.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

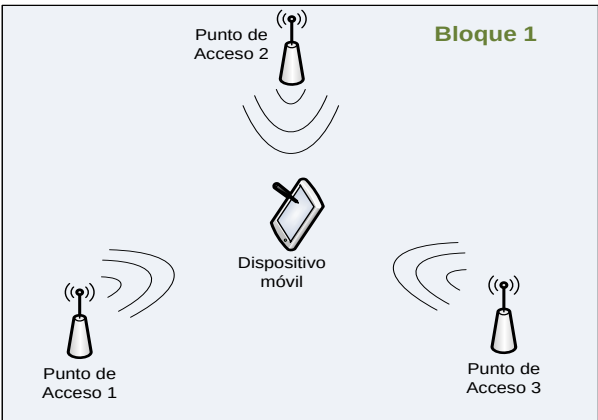


Figura 3.8. Hardware utilizado en el subsistema de localización.

3.3 BLOQUE 2. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE REGISTRO

El bloque 2 mostrado en la Figura 3.9 corresponde al subsistema que realiza el registro de los productos. Para ello, inicialmente el código QR es capturado por medio de la cámara del dispositivo móvil, posteriormente es procesado a nivel de software extrayendo los datos que se encuentran almacenados en él, finalmente se accede a la base de datos que permite obtener la información más relevante del producto y que debe ser considerada en el proceso de compra.

El acceso a la base de datos desde el dispositivo móvil es posible gracias al entorno de desarrollo web *WAMPSEVER* el cual se instaló en un computador de escritorio que cuenta con Sistema Operativo Windows XP, procesador Intel Pentium D, velocidad de 3 GHz y memoria RAM de 1 Gb.

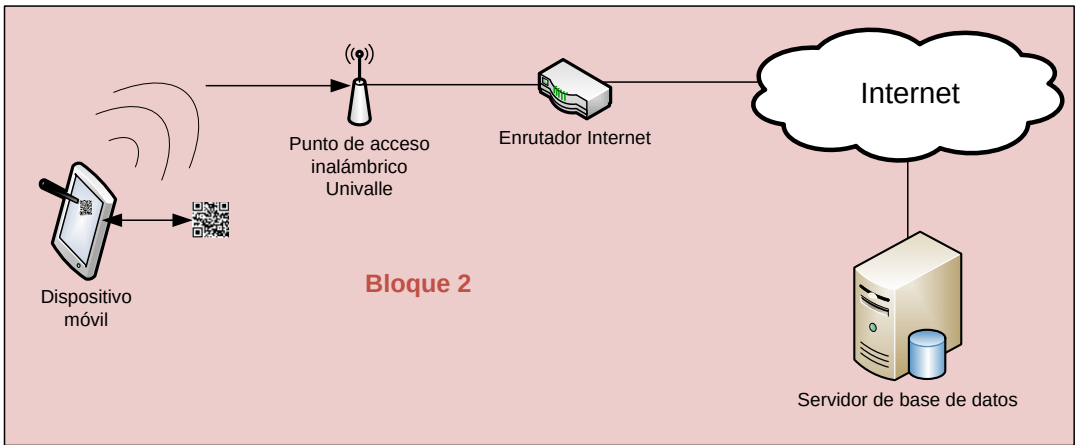


Figura 3.9. Hardware utilizado en el subsistema de registro.

3.4 BLOQUE 3. HARDWARE DEL SUBSISTEMA DE PAGO

La Figura 3.10 muestra el bloque del subsistema de pago, el cual está compuesto por el dispositivo móvil, un punto de acceso y un enrutador que permite la comunicación con el computador que aloja el servidor web en el que se encuentra la base de datos principal con las diferentes tablas utilizadas en la aplicación.

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

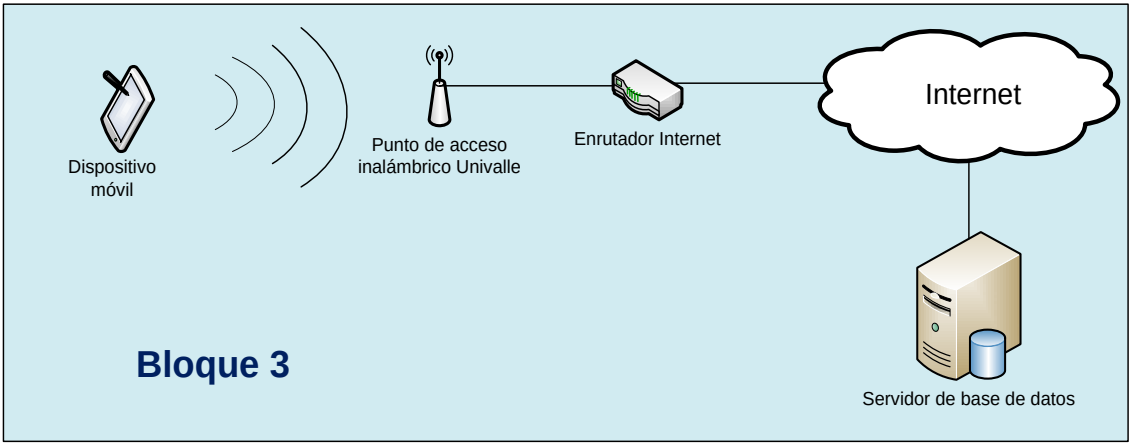


Figura 3.10. Hardware utilizado en el subsistema de pago.

La aplicación que se encuentra instalada en el dispositivo móvil se encarga de enviar un conjunto de datos al servidor haciendo uso de los puntos de acceso inalámbrico, de esta manera el usuario es habilitado para que pueda realizar el pago en uno de los puntos autorizados.

3.5 CONCLUSIONES.

Para lograr el buen funcionamiento y por ende resultados que sean válidos del subsistema de ubicación es necesario realizar la caracterización de los puntos de acceso con el fin de observar su comportamiento y determinar si son aptos o no para ser incluidos dentro del subsistema.

Para garantizar la compatibilidad de los dispositivos móviles con el sistema desarrollado, es necesario realizarles una prueba previa para verificar el correcto funcionamiento de la aplicación de extracción de información de los códigos QR. Lo anterior es debido a que existen dispositivos que cuentan con cámaras con resolución superior a la mínima requerida, pero que no logran realizar la lectura o identificación del código debido a otras características tales como el sistema operativo del dispositivo o la aplicación que realiza del manejo de la cámara. Esto sucede por ejemplo con la **Tablet Titán 7010** que cuenta con una cámara de 2 Megapíxeles pero que nunca logró enfocar el código haciendo imposible su lectura.

Cuando se utiliza la configuración de tres puntos de acceso, se recomienda transmitir en los canales 1, 6 y 11 para evitar interferencias que afecten la precisión del subsistema de ubicación.

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

El hardware descrito en el numeral tres permite obtener las señales e información necesaria para el funcionamiento adecuado de la aplicación tales como la intensidad de la señal, la información del código QR, la señal para habilitar al cliente en el pago, entre otras. Una vez se obtiene la información mencionada anteriormente, ésta pasa a la aplicación desarrollada que está constituida a su vez por dos subaplicaciones: la primera que está dirigida al administrador y le permite realizar acciones como acceder y modificar datos que son necesarios para el funcionamiento adecuado del almacén de cadena y de la aplicación misma; y la segunda, que está dirigida al usuario que requiere acceder a las actividades de ubicación, registro y pago de productos dentro del almacén.

Las actividades que puede realizar el administrador son explicadas a lo largo del capítulo y corresponden principalmente a la calibración del sistema de ubicación y el acceso para la lectura y/o escritura de las bases de datos que se encuentran alojadas en el computador que funciona como servidor.

El diagrama de bloques de la Figura 4.1, muestra de forma general la secuencia de acciones que debe realizarse en la interfaz de usuario desde que ingresa al almacén hasta que realiza el pago de sus productos. El primer bloque abarca todas las actividades⁸ realizadas para permitir al usuario identificarse y/o registrarse dentro del almacén y para lograr de esta manera una atención personalizada. El segundo bloque permite al cliente elegir la acción que desea realizar, escogiendo entre ubicar, registrar o pagar un producto – bloque 3, 4 y 5 respectivamente –. Cada bloque ofrece un conjunto de herramientas que permiten al usuario hacer uso de los diferentes servicios ofrecidos por el almacén.

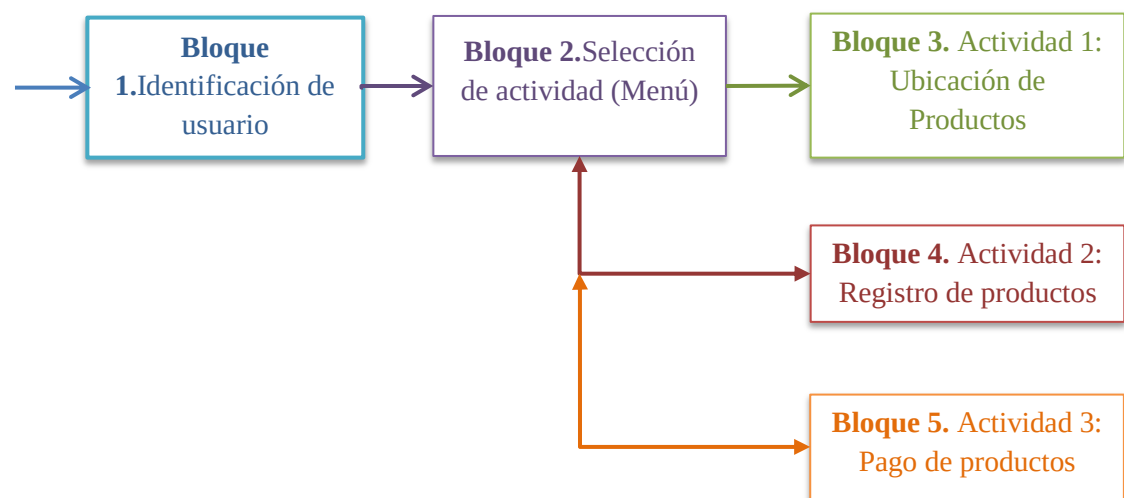


Figura 4.1. Diagrama de bloques de la aplicación desarrollada en la interfaz del Usuario.

⁸ Entiéndase por actividades a cada clase o archivo desarrollado en el programa.

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

En este capítulo se describe de forma funcional y detallada la aplicación desarrollada, los algoritmos y clases implementadas que permiten cumplir con los objetivos planteados al inicio del documento.

Debe mencionarse que la aplicación se realizó por medio del Kit de Desarrollo Software Eclipse (SDK), el cual contiene todo lo necesario para compilar aplicaciones como la desarrollada en este trabajo de grado. Considerado por muchos como la mejor herramienta de desarrollo Java (JDT por sus siglas en inglés *Eclipse Java Development Tools*) disponible, provee edición Java con validación instantánea, compilación incremental, referencias cruzadas, asistencia de código y muchas características más que pueden ser consultadas en[@ECLIPSE 13].

4.2 BLOQUE 1: IDENTIFICACIÓN DE USUARIO

El bloque de identificación de usuario surge como una forma de brindarle diferenciación dentro del almacén; especialmente en el proceso de pago en donde el proceso de identificación permite a la persona encargada de la caja realizar el cobro correcto de manera personalizada.

Cuando el usuario ejecuta la aplicación, lo primero que debe realizar es elegir si está o no registrado dentro de la base de datos del almacén. El proceso de registrar al usuario cuando no lo está y de identificarlo en caso de estarlo, son las actividades principales que hacen parte del bloque 1 mostrado en la Figura 4.1.

El diagrama de flujo en el que se ilustra todo el proceso de identificación del usuario corresponde al mostrado en la Figura 4.2, en éste se observan las actividades mencionadas anteriormente (Registrar e Identificar) las cuales dentro del diagrama aparecen señaladas como la rama A y B respectivamente.

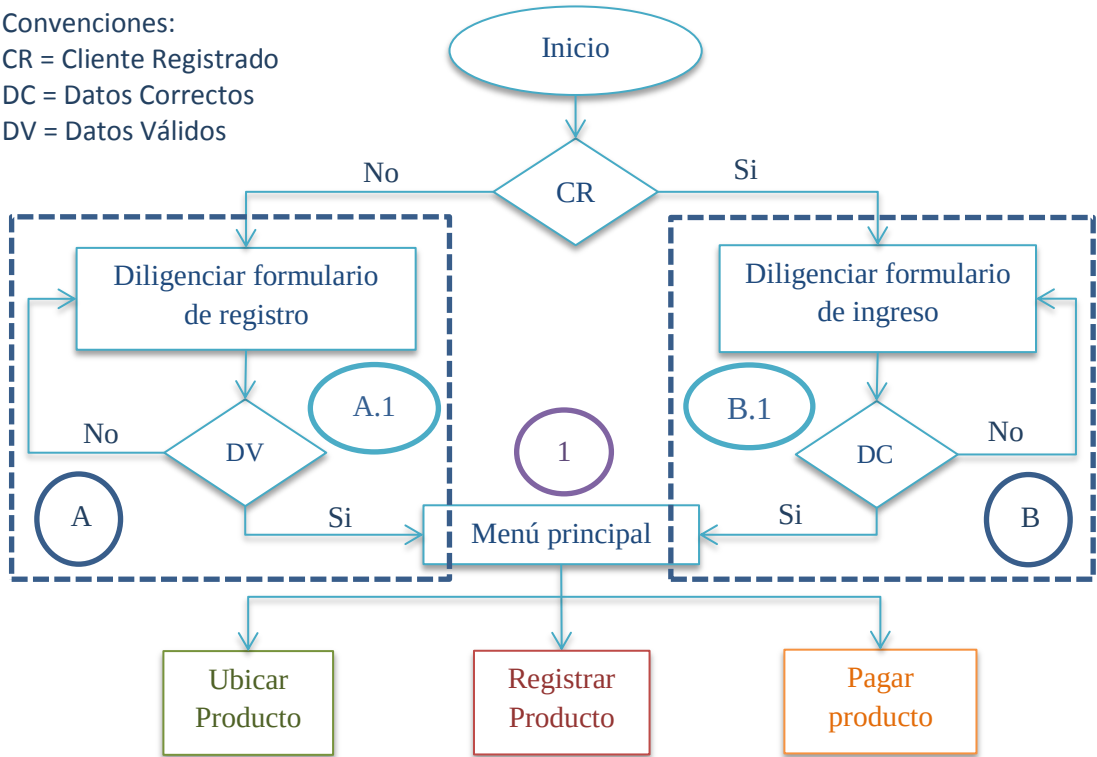


Figura 4.2. Diagrama de flujo para el registro e identificación de usuarios.

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

Los condicionales A.1 y B.1 de la Figura 4.2 permiten evaluar si los datos ingresados durante los procesos de registro e identificación son válidos y/o correctos. **Datos válidos** hace referencia a que los datos ingresados en el formulario de registro estén completos y que el documento de identidad digitado no esté duplicado en el sistema. En la Figura 4.3 se muestran las actividades realizadas cuando el algoritmo requiere evaluar el condicional A.1.

Los datos que son digitados por el usuario en el formulario de registro pasan por una evaluación primaria que permite determinar si como mínimo los datos básicos (nombre, documento de identidad y contraseña) han sido diligenciados; de no estarlo la aplicación permanecerá en el mismo condicional hasta que éstos sean completados.

Una vez superada esta restricción deberá evaluarse que el documento de identidad digitado no corresponda al de un usuario registrado previamente. Para realizar la validación se requiere establecer comunicación entre *Android* y el servidor web instalado en el computador, de tal manera que la aplicación pueda acceder a los campos que componen la tabla **usuarios** que se encuentra alojada en la base de datos **almacén**⁹.

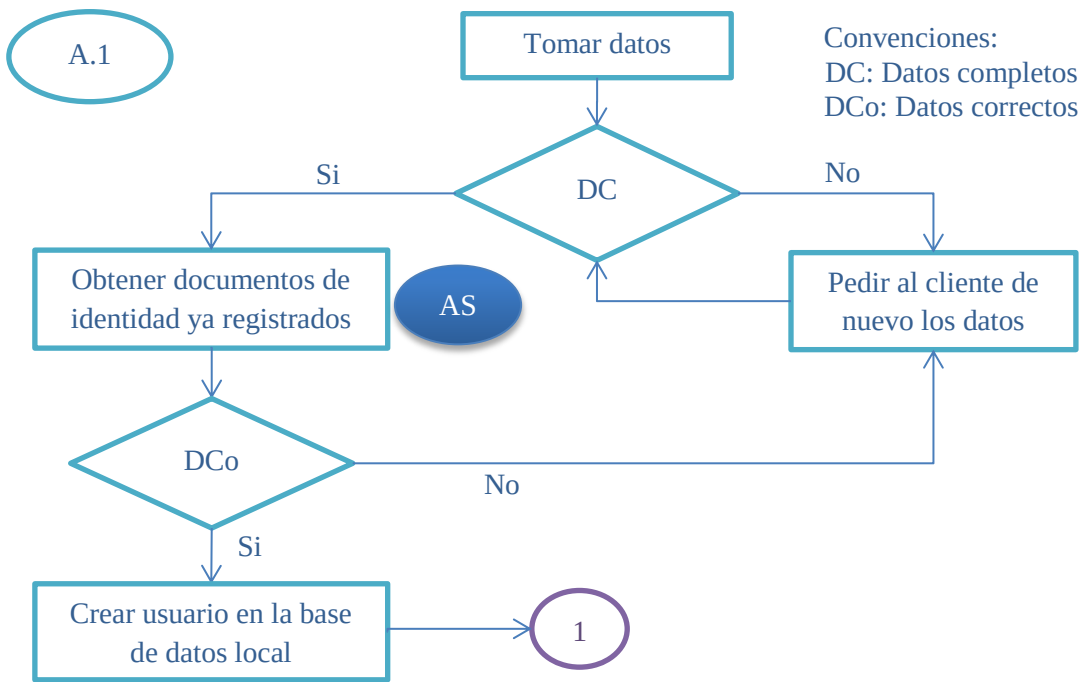


Figura 4.3. Desglose de las actividades que se realizan durante el condicional A.1.

El proceso estándar mediante el cual la aplicación *Android* se comunica con el servidor web comienza con una petición enviada a éste desde el dispositivo móvil para que se le permita realizar una conexión y posteriormente acceder a la base de datos MySQL para realizar diferentes operaciones sobre las tablas como las descritas en la Figura 4.4.

⁹En el Anexo 3 puede observarse información más detallada en cuanto a esta base de datos y las diferentes tablas que la componen, además de la base de datos interna que maneja la aplicación desarrollada.

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

Esta secuencia de pasos deberá seguirse siempre que sea necesario realizar un proceso que requiera acceder a bases de datos, teniendo en cuenta que las variaciones se verán reflejadas en los *script* PHP que se usan en cada operación.

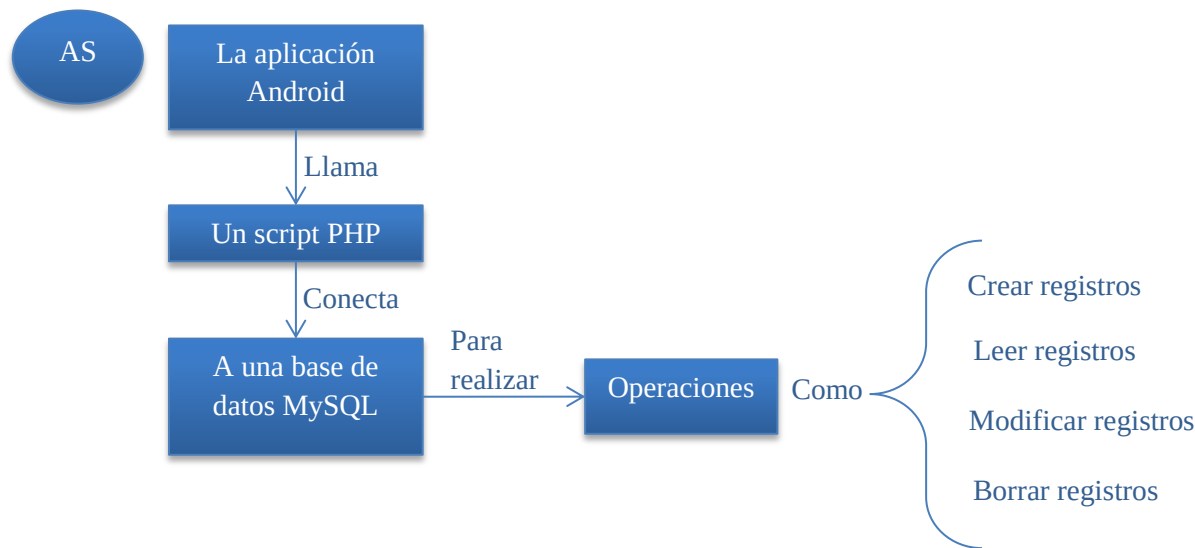


Figura 4.4. Procedimientos de la aplicación *Android* para acceder a una base de datos alojada en un servidor.

Con el proceso descrito anteriormente, se obtiene de la tabla **usuarios** un arreglo con todos los documentos de identidad registrados previamente y con el cuál debe compararse el documento ingresado actualmente. Si se encuentra una igualdad, el usuario deberá corregir sus datos, de lo contrario se crea una base de datos local en la cual se almacena el documento de identidad, el nombre y la cuenta del usuario. Por último la aplicación lo envía al menú principal tal como muestra el diagrama de flujo de la Figura 4.3.

Por el lado de la rama B que se observa en el diagrama de flujo de la Figura 4.2 se tiene el condicional B.1: **Datos correctos**, en éste se verifica que el documento de identidad exista en la base de datos y que la contraseña digitada sea correcta. De no cumplirse alguna de las condiciones, el usuario debe diligenciar nuevamente el formulario si por el contrario los datos son correctos, se creará la base de datos local que almacena el documento de identidad, el nombre y la cuenta del usuario. Después de esto, el usuario es llevado al menú principal.

En la Figura 4.5 se resumen las actividades realizadas cuando el algoritmo requiere evaluar el condicional B.1, este proceso implica seguir a su vez el procedimiento mostrado en la Figura 4.4 para acceder a la información de la tabla **usuarios** que se encuentra en la base de datos alojada en el servidor web, ya que estos son los datos con los que debe compararse la información digitada por el usuario y de esta manera determinar si puede o no avanzar a 1 (menú principal).

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

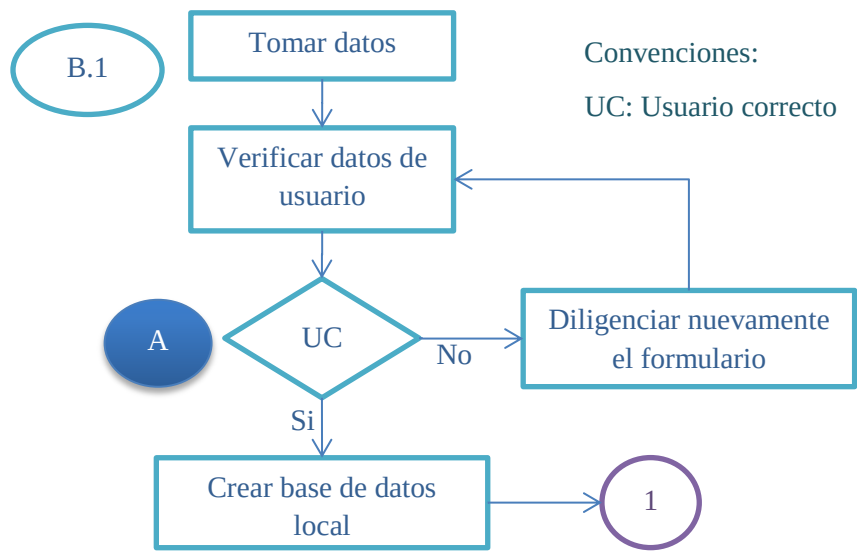


Figura 4.5. Desglose de las actividades que se realizan durante el condicional A.1.

4.3 BLOQUE 2: SELECCIÓN DE ACTIVIDAD

Después de iniciada la sesión, el usuario tiene la oportunidad de seleccionar una de dos actividades a realizar dentro del almacén: ubicar y registrar un producto. La actividad de pago no debe ser realizada inmediatamente después de ingresar al almacén ya que deberá haberse registrado por lo menos un producto.

4.4 BLOQUE 3: ACTIVIDAD 1. UBICACIÓN.

Como se había mencionado en el numeral 2.5.4 el método implementado para el diseño del subsistema de ubicación es el de fingerprinting que utiliza la medición de la intensidad de señal recibida (RSS) en el dispositivo móvil desde los puntos de acceso para que, mediante el almacenamiento de este valor en un mapa de potencias junto con las coordenadas de la posición asignadas, puedan procesarse mediante el método de vecino más próximo y de esta manera obtener el resultado deseado.

El sistema diseñado consta de dos aplicaciones, una para el administrador y otra para el usuario, la primera permite mediante una serie de procesos recopilar los datos necesarios para que la segunda aplicación calcule las coordenadas espaciales de la posición del dispositivo.

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

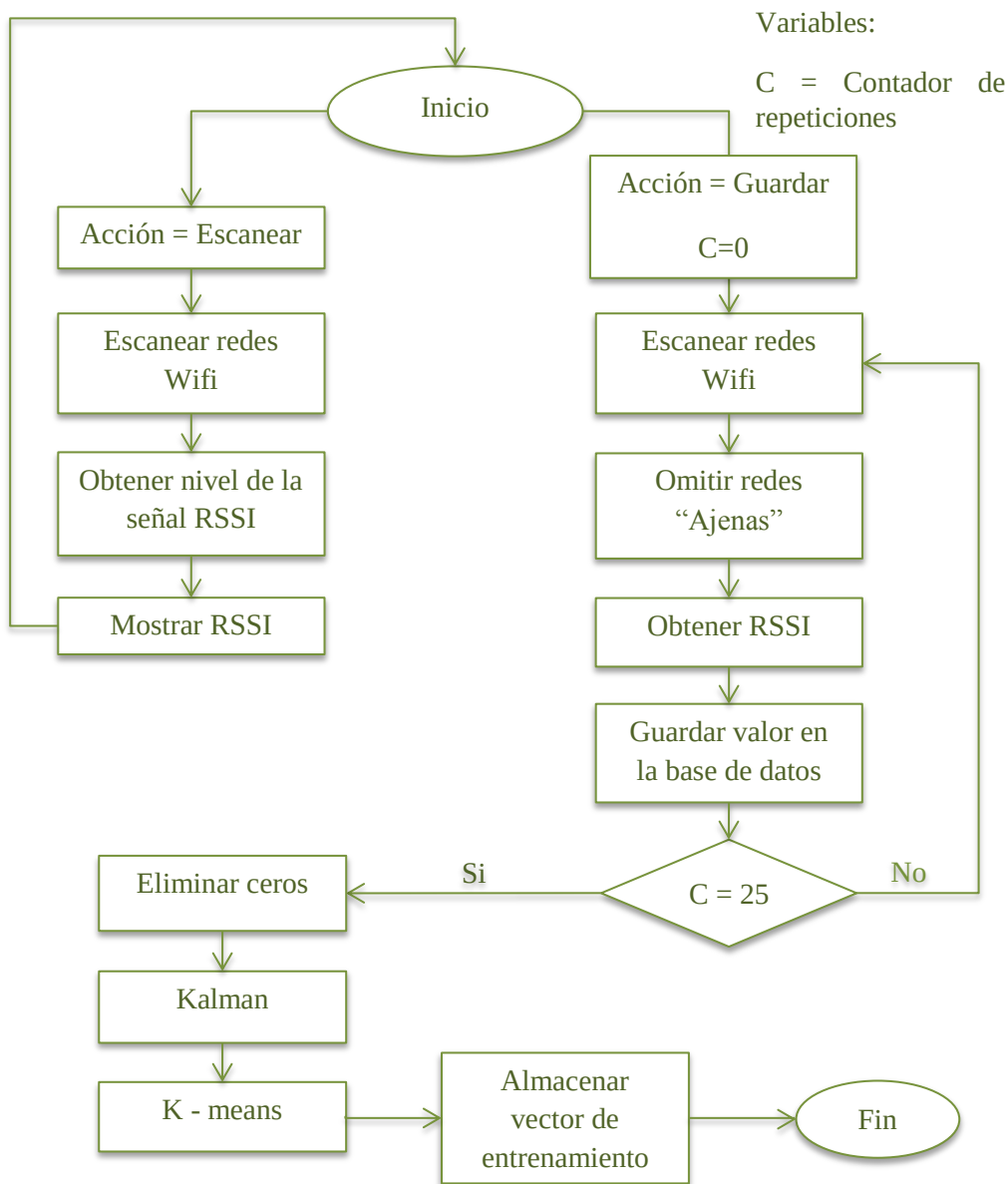


Figura 4.6. Algoritmo correspondiente a la aplicación del administrador.

En la Figura 4.6 se puede observar el diagrama general de la aplicación del administrador; cada uno de los bloques es el resultado de una serie de procesos que se detallan a continuación:

Al iniciar la aplicación el administrador tiene la opción de **Escanear las redes WLAN** con el fin de monitorear el comportamiento de las señales de los puntos de acceso para no almacenar un dato erróneo. En este proceso se obtienen información de cada punto de acceso y posteriormente esta información es clasificada para mostrar al administrador lo más relevante como la intensidad de la señal, la dirección MAC y la frecuencia de transmisión.

Cuando el administrador decide **Guardar los datos** comienza un proceso similar al de escanear; se obtiene la información de las redes presentes y se comparan las direcciones MAC de los datos obtenidos con las de los puntos de acceso previamente conocidas, de esta forma se omiten aquellos dispositivos que no pertenecen al sistema de ubicación, una vez filtrados estos datos se procede a extraer el valor de la intensidad de la señal para cada punto de acceso y almacenarlo

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

en una base de datos. Dado que la intensidad de la señal en un mismo punto presenta variaciones, el proceso de escanear, filtrar y almacenar se realiza 25 veces para obtener los posibles valores de la intensidad de la señal.

La base de datos almacenada anteriormente es exportada al computador donde se realiza el procesamiento de los datos que consiste en eliminar los ceros y valores atípicos (valores extremos), y aplicar un filtro de Kalman con el fin de atenuar las variaciones que presenta la señal. Una vez obtenido el conjunto de datos procesados se aplica el algoritmo de K-means con el objetivo de obtener un solo vector que represente al conjunto de datos (vector de entrenamiento). Finalmente los vectores de entrenamiento son almacenados en una base de datos junto con las coordenadas de la posición durante la prueba que serán utilizados para conformar el mapa de potencias.

La interfaz del usuario inicia con una petición a la base de datos alojada en el servidor, en la que se encuentra la información relevante de los productos del almacén como descripción, marca, precio y sus coordenadas de ubicación. Una vez enviada la petición, la aplicación espera un tiempo determinado para obtener respuesta del servidor con la información necesaria. Si no hay respuesta alguna al finalizar este tiempo, se muestra un mensaje de error; si por el contrario se obtiene la información solicitada de los productos, se muestra un listado en pantalla con todos los productos, con la opción de filtrado en función de la descripción del producto mediante una barra de búsqueda.

Cuando el usuario escoge el producto que desea ubicar se inicializa una variable contador, se carga el mapa de potencias obtenido en la fase de entrenamiento, se carga el plano del edificio en pantalla y se muestra la ubicación del producto solicitado.

Posteriormente la interfaz del usuario procede a obtener la ubicación del dispositivo móvil, para esto el primer paso es escanear las redes WLAN presentes y omitir las que no pertenezcan al sistema (tal como se hace en la interfaz del administrador), de la información obtenida se extrae la intensidad de la señal y se aplica un filtro de Kalman para mantener los valores de intensidad relativamente constantes, el proceso descrito anteriormente se realiza 3 veces (debido a las variaciones de la señal) para obtener datos más representativos y de esta forma mejorar el rendimiento del sistema de ubicación.

Como el filtro de Kalman es un algoritmo recursivo, el último valor de las 3 muestras tomadas para cada punto de acceso se utiliza para formar el vector de prueba, este vector se compara con cada uno de los vectores de entrenamiento almacenados en el mapa de potencias para calcular las distancias (la medida de distancia utilizada es la distancia euclidiana). Finalmente se determinan las 6 distancias menores que corresponden a los 6 vectores más cercanos que a su vez están asociados a 6 coordenadas (X,Y).

Para determinar la posición (coordenadas x,y) del dispositivo se calcula el promedio entre las 6 coordenadas encontradas anteriormente; ecuación (7) y (8) para x, y respectivamente.

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6}{6} \quad (7)$$

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

$$y = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6}{6} \quad (8)$$

Para proveer robustez y mejorar la exactitud del sistema, se implementa un filtro de Kalman que es aplicado a las coordenadas (x, y) estimadas por el algoritmo de ubicación, la implementación del filtro de Kalman se realiza con las siguientes consideraciones:

- El sistema de ubicación está caracterizado por la siguiente ecuación en el espacio de estados $x_k = Hx_{k-1} + w_k$, y representado en un sistema de matrices igual al expresado en la ecuación (9).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{k-1} + W_k \quad (9)$$

Donde x,y son las coordenadas de la posición final, W_k es el ruido correspondiente al proceso que tiene una matriz de covarianza Q, para este caso se considera solamente el ruido presente en las mediciones por lo que $W_k = 0$.

- La ecuación de estado para la medición es la siguiente: $Z_k = Hx_k + v_k$, representado en un sistema de matrices igual al expresado en la ecuación (10).

$$\begin{bmatrix} Z_x \\ Z_y \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_k + V_k \quad (10)$$

Donde Z_x, Z_y son las coordenadas de la posición calculadas con el algoritmo del vecino más próximo, x,y son las coordenadas de la posición final, y V_k es el ruido asociado a las mediciones con una matriz de covarianza R. Los valores para la covarianza fueron estimados con pruebas de ubicación, en las que se obtuvo como resultado $R = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 25 \end{bmatrix}$.

Finalmente se muestra la posición del dispositivo en pantalla. Para ello es necesario transformar las coordenadas de la ubicación en puntos a píxeles para que Android lo interprete de manera correcta y muestre el punto en pantalla. La función para convertir la unidad de medida en píxeles consiste en una proporción entre la distancia total en el área el número total de píxeles de la pantalla. Debe tenerse en cuenta que todos los dispositivos no poseen el mismo tamaño de pantalla (ni la misma resolución), por lo que al cambiar de una pantalla a otra se producen errores en la visualización. Para corregir este problema se ajustan las coordenadas de los puntos proporcional al tamaño de la pantalla, lo que permite soportar los distintos tamaños de pantalla de los dispositivos en el mercado

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

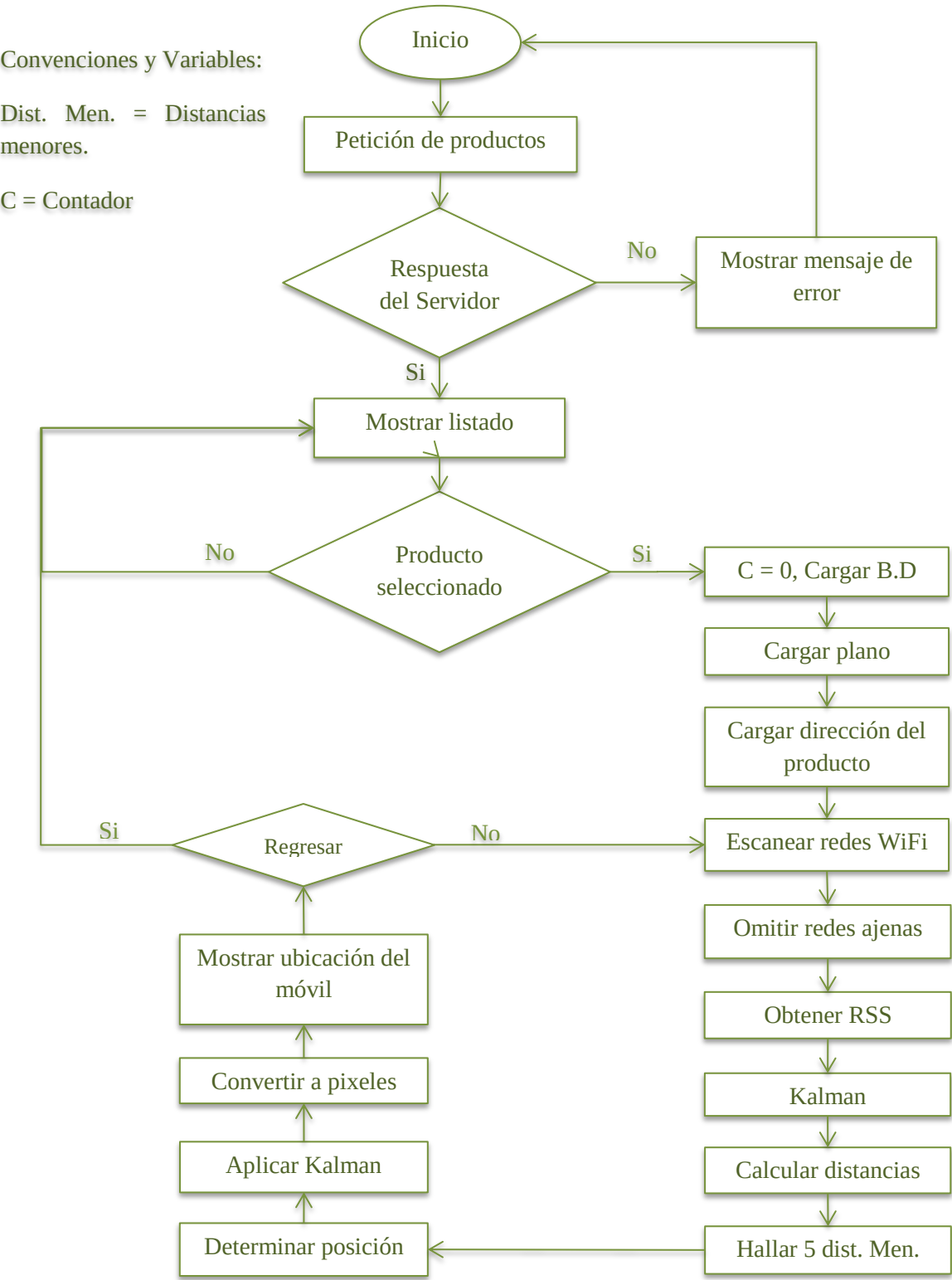


Figura 4.7. Algoritmo correspondiente a la aplicación del usuario.

4.5 BLOQUE 4: ACTIVIDAD 2. REGISTRO DE PRODUCTOS

La actividad del registro de productos, permite al usuario identificar el elemento de interés, mostrar el incremento de la cuenta con éste y por último aceptar o rechazar este incremento. Para realizar la primera de estas actividades – Identificación del producto – es necesario utilizar

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

una aplicación externa llamada **Barcode Scanner** desarrollada por el grupo **Zxing**¹⁰, la cual se encarga de tomar el código QR, procesarlo y retornar a la actividad que hace el llamado datos como el tipo de código y la información que éste contiene (Actividad A.1 del diagrama de flujo mostrado en la Figura 4.8); en el caso particular de esta aplicación los códigos utilizados almacenan un identificador formado por letras y números que hacen único al producto. Posteriormente para acceder a la información detallada del producto se siguen los pasos de la Figura 4.4, con los cuales se pueden leer los registros de la tabla **productos** que se encuentra en la base de datos **almacén**. Después de obtener la información del producto, la variable **cuenta temporal** toma el valor de la cuenta actual que se encuentra en la base de datos local más el precio del producto identificado y se le pregunta al usuario si desea incluir o no este producto en su lista de compras.

Si el usuario desea aceptar este nuevo producto, debe actualizarse la variable cuenta que se encuentra en la tabla **UserPpsManager** de la base de datos local. En la Figura 4.8 se observa el diagrama de flujo completo de este proceso.

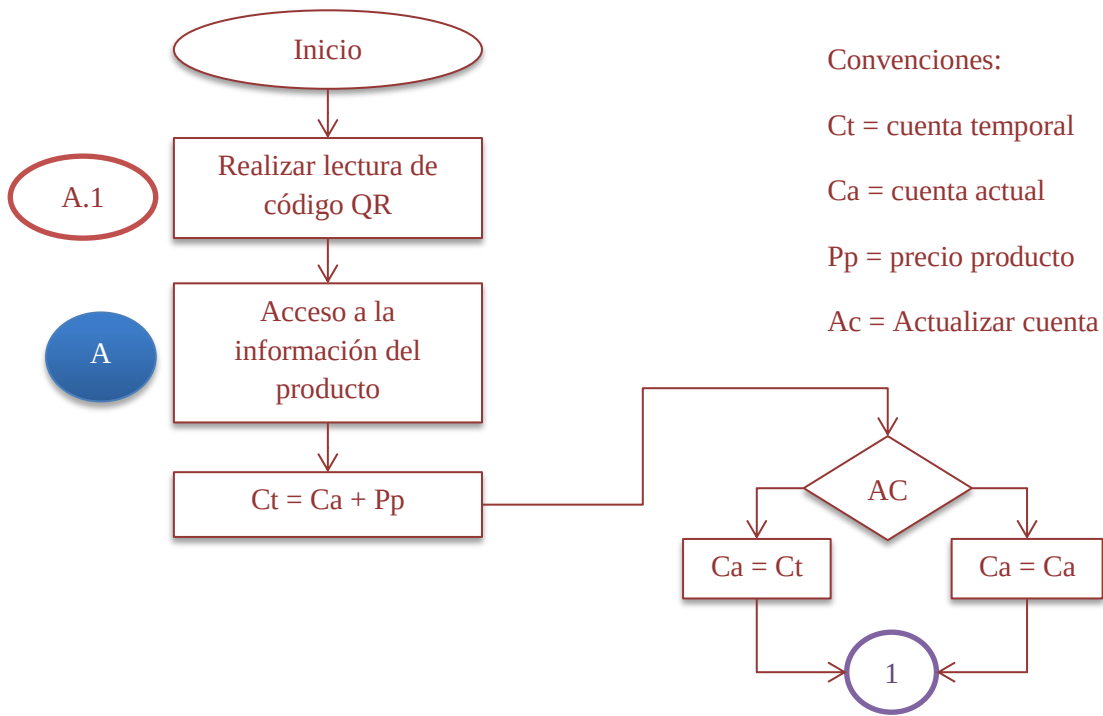


Figura 4.8. Diagrama de flujo para realizar el registro de productos.

4.6 BLOQUE 5: ACTIVIDAD 3.PAGO DE PRODUCTOS

El subsistema que se encarga del pago de productos está dividido en dos etapas, la primera es la que realiza el usuario desde su dispositivo móvil y la segunda es la realizada por el cajero en el punto de pago.

¹⁰Zxing (Pronunciado “zebracrossing”) es un código-abierto, librería de procesamiento de imagen para códigos multi-formato 1D/2D desarrollado en java, con adaptaciones para otros lenguajes. Su enfoque está en el uso de la cámara incorporada en los teléfonos móviles para escanear y decodificar códigos de barras en el dispositivo, sin comunicarse con un servidor. Sin embargo, el proyecto se puede utilizar para codificar y decodificar códigos de barras en equipos de escritorio y servidores también.
[@ZXINGCODE 13]

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

La actividad que se realiza desde la interfaz del usuario, es desencadenada una vez éste selecciona la opción **realizar pago** del menú principal y consiste en enviar los datos: Identificación del usuario, nombre y cuenta que se encuentran en la tabla **UserPpManager** de la base de datos local a la tabla **usppagar** alojada en la base de datos **almacén** del servidor web, para ello se sigue la secuencia de pasos mostrados anteriormente en la Figura 4.4.

Por otra parte, las actividades realizadas en el punto de pago (correspondiente a un computador personal) consisten en revisar que el usuario que se acerca a la caja se encuentre dentro de la tabla anteriormente mencionada para posteriormente recibir el dinero y entregar el cambio al cliente si es necesario, por último se elimina el usuario de las diferentes tablas en las que se encuentra para evitar un nuevo cobro.

En el diagrama de flujo que aparece en la Figura 4.9 se muestran las actividades anteriormente mencionadas y se resaltan en el condicional A.1 y la actividad A.2

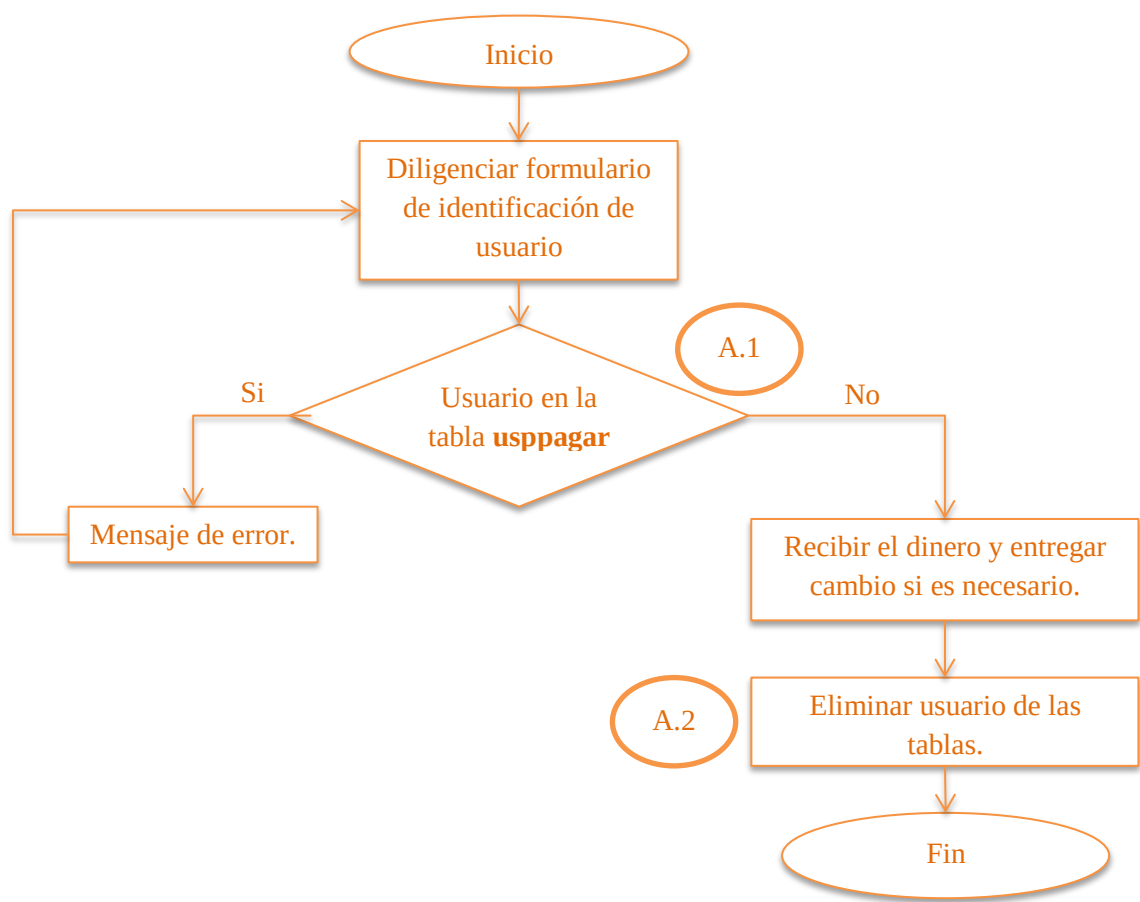


Figura 4.9. Diagrama de flujo de las actividades realizadas en el punto de pago.

4.7 CONCLUSIONES

A lo largo de este capítulo, se diseñaron cuatro subsistemas que en conjunto hacen parte de la aplicación final. El primero permite realizar el registro y/o identificación de clientes dentro del almacén de cadena mediante el uso de bases de datos, tablas y servidores web. El segundo permite al usuario visualizar la ubicación del producto en un mapa respecto al punto en el que él

4. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA APLICACIÓN

se encuentra. El tercer subsistema corresponde al de identificación de producto que permite al usuario ver la información de éste, registrarlo y observar cómo incrementaría su cuenta si desea aceptarlo. El cuarto y último corresponde a un sistema de comunicación entre el dispositivo y las cajas de pago y permite enviar el valor total de la compra una vez el cliente finaliza el registro de los productos.

Los cuatro subsistemas desarrollados permiten cumplir con los objetivos planteados al inicio de este trabajo porque se logró que funcionalmente la aplicación abarcara todos los subprocesos que están implícitos en un proceso de compra que inicia cuando el usuario llega al almacén de cadena y finaliza cuando el pago es realizado.

4.8 OBSERVACIONES

En el Anexo4 se observan los diagramas de las clases que componen la aplicación final.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

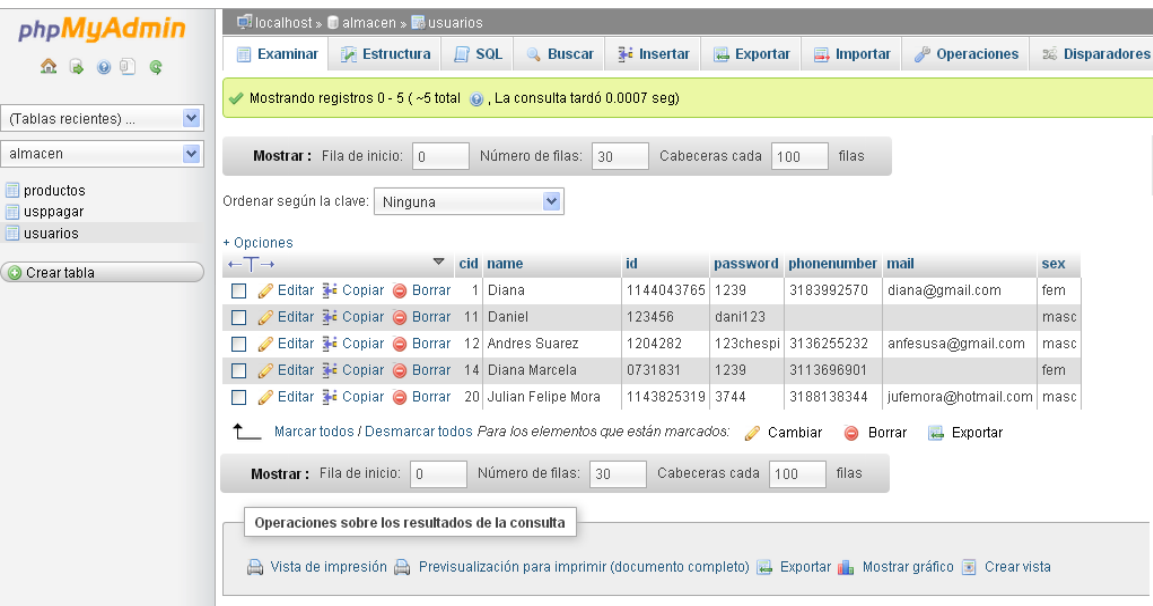
Después de diseñar los diferentes subsistemas que hacen parte de la aplicación final, debe verificarse su funcionamiento, analizar su exactitud y confiabilidad con el fin de determinar el alcance y las limitaciones del sistema obtenido al integrar todos sus componentes.

El funcionamiento del *subsistema de registro e identificación* de clientes y el de *pago de productos* se verifica comprobando la exactitud de la información alojada en las diferentes tablas de la base de datos **almacén** al terminar alguno de los procesos de registro del cliente, identificación y/o registro de productos. Para el *subsistema de ubicación* se realizaron pruebas con diferentes cantidades de puntos de acceso para establecer la configuración que proporcionara menor error en la posición. El funcionamiento del subsistema de registro se verificó mediante la lectura de varios códigos QR y la corroboración de la ejecución de las acciones de captura y decodificación de la información.

5.2 PRUEBA 1. VALIDACIÓN DEL SUBSISTEMA DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN DE CLIENTES

5.2.1 Descripción

Para validar el subsistema de registro e identificación de clientes, deben realizarse una serie de pruebas en las que pueda observarse que los usuarios nuevos son ingresados correctamente a la tabla usuarios y que los usuarios ya registrados puedan iniciar sesión sin ningún problema. Estas pruebas emplean una base de datos con usuarios previamente registrados para comparar los resultados que arroja el sistema. La Figura 5.1 ilustra la estructura y tipos de datos que contiene la base de datos utilizada.



cid	name	id	password	phonenumber	mail	sex
1	Diana	1144043765	1239	3183992570	diana@gmail.com	fem
11	Daniel	123456	dani123			masc
12	Andres Suarez	1204282	123chespi	3136255232	anfesusa@gmail.com	masc
14	Diana Marcela	0731831	1239	3113696901		fem
20	Julian Felipe Mora	1143825319	3744	3188138344	jufemora@hotmail.com	masc

Figura 5.1. Listado de personas que se encuentran registrados previamente en la tabla usuarios.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Al ejecutar la aplicación se obtiene la interfaz mostrada en la Figura 5.2 en la cual el usuario debe escoger una de las dos opciones que se le dan; está o no registrado. En la Figura 5.3 (a) y (b) se pueden observar los formularios que debe diligenciar el usuario si ya se encuentra registrado o si es nuevo en la tabla **usuarios** de la base de datos **almacén** respectivamente.



Figura 5.2. Interfaz de inicio de la aplicación desarrollada.



Figura 5.3. Resultados que se obtienen una vez se presiona si (a) o no (b) en la interfaz de inicio.

Las pruebas consisten entonces en ejecutar la aplicación para, en primera instancia observar todo el procedimiento y los diferentes resultados para un cliente nuevo y uno ya registrado. Posteriormente se realiza el registro de 10 clientes nuevos y la validación de 6 clientes previamente registrados. En el siguiente numeral se observan los resultados de estas pruebas.

5.2.2 Resultados y Análisis

Inicialmente se presentan los resultados para una sola persona tanto en registro como en identificación de usuarios, posteriormente se realizan diferentes pruebas que permiten determinar el porcentaje de acierto del subsistema que está a cargo de las actividades anteriormente mencionadas.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Cuando el usuario se encuentra registrado deberá diligenciar el formulario de validar cliente, al hacerlo existen dos posibilidades: que los campos contengan datos incorrectos o correctos. En el primero de los casos la aplicación no permitirá que un usuario acceda a la siguiente parte de la aplicación y se notificará mediante una ventana de diálogo como se observa en la Figura 5.4 (a). En el segundo caso, el usuario puede continuar con el proceso dentro del almacén ya que los datos son congruentes con los que se encuentran en la base de datos y se notificará mediante la ventana de diálogo que se observa en la Figura 5.4 (b).

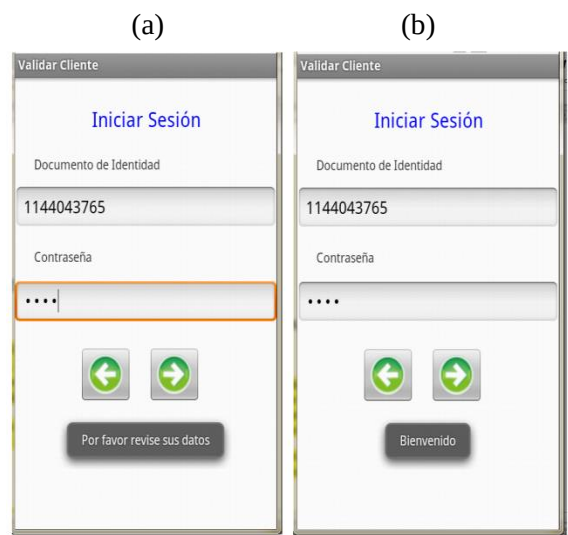


Figura 5.4. Interfaz para validación de los usuarios(a) Datos incorrectos. (b) Datos correctos.

Si el usuario que llega al almacén no se encuentra registrado deberá diligenciar el formulario de registro, al finalizar este proceso existen tres posibilidades: La primera que los campos obligatorios no hayan sido diligenciados en su totalidad por lo que se le pide al usuario que complete los datos a través de la ventana de diálogo que se ilustra en la Figura 5.5.

The image shows a screenshot of a mobile application interface titled 'Formulario de registro'. It contains several input fields: '*Nombre:' with the value 'ROSALBA BOLANOS', '*Documento de Identidad' with '31851933', '*Contraseña:' (empty), 'N° Tel:' with '3183992570', 'Correo Electrónico:' with 'diamar.905@gmail.com' (highlighted with a red border), and 'Sexo:' with radio buttons for 'Masculino' and 'Femenino' (Femenino is selected). Below these fields is a note '*Datos obligatorios para realizar el registro' and a button 'Por favor complete los datos'.

Figura 5.5. Notificación al usuario de datos incompletos.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

La segunda posibilidad es que el usuario intente registrarse nuevamente –cuando el dato escrito en el campo documento de identidad ya se encuentra registrado –, por lo que la aplicación despliega una notificación de existencia del registro y lo envía a la interfaz de validación de usuario para que inicie sesión en lugar de registrarse. Las dos ventanas de diálogo de esta opción se presentan en la Figura 5.6.



Figura 5.6. Acción realizada cuando el usuario ya se encuentra registrado.

La última posibilidad es que el cliente digite los datos correctamente, al hacer esto la aplicación le notificará que lo está creando en la base de datos como muestra la Figura 5.7. Una vez finaliza este proceso, se registra el nuevo cliente en la tabla **usuarios** de la base de datos **almacén** (ver Figura 5.8).



Figura 5.7. Notificación al usuario de creación de cuenta como cliente.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

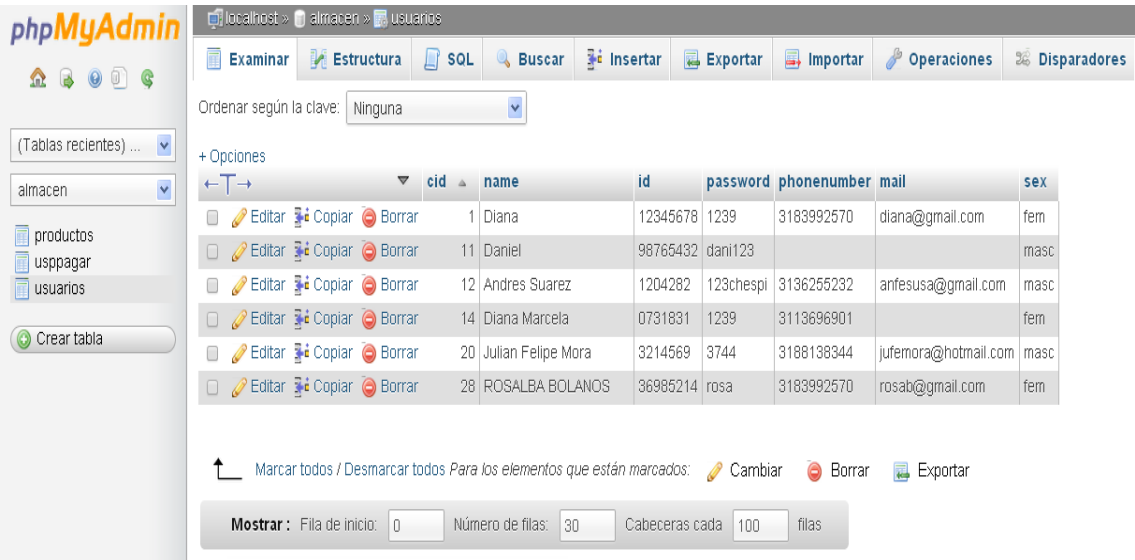


Figura 5.8. Ingreso satisfactorio a la tabla usuarios de la base de datos almacén.

Para determinar el porcentaje de acierto del subsistema de registro e identificación de clientes se realizó un experimento con 10 usuarios nuevos y 6 previamente registrados. En la Tabla 5.1 se muestra el consolidado en el que puede observarse que 10 de las 10 nuevas personas fueron ingresadas correctamente a la base de datos del almacén de cadena. En la Figura 5.9 se muestran los datos y el orden en el que se ingresaron los clientes a la tabla **usuarios**.

Tabla 5.1. Resultados obtenidos después de realizar la primera prueba con 10 usuarios nuevos.

Nuevo Usuario		¿Ingresado Correctamente?	
Nombre	Documento de Identidad	Si	No
Laura Susana Vargas	0000001	✓	
Miguel Ángel Rodríguez	0000002	✓	
Cristina Sepúlveda	0000003	✓	
Juan Sebastián Carvajal	0000004	✓	
Estefanía Figueroa	0000005	✓	
Diana Reina Grisales	0000006	✓	
Daniel Felipe Reina	0000007	✓	
Agustín Santiago	0000008	✓	
Sebastián Caicedo	0000009	✓	
Nathaly Ortiz	0000010	✓	
% de aciertos:		100 %	

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

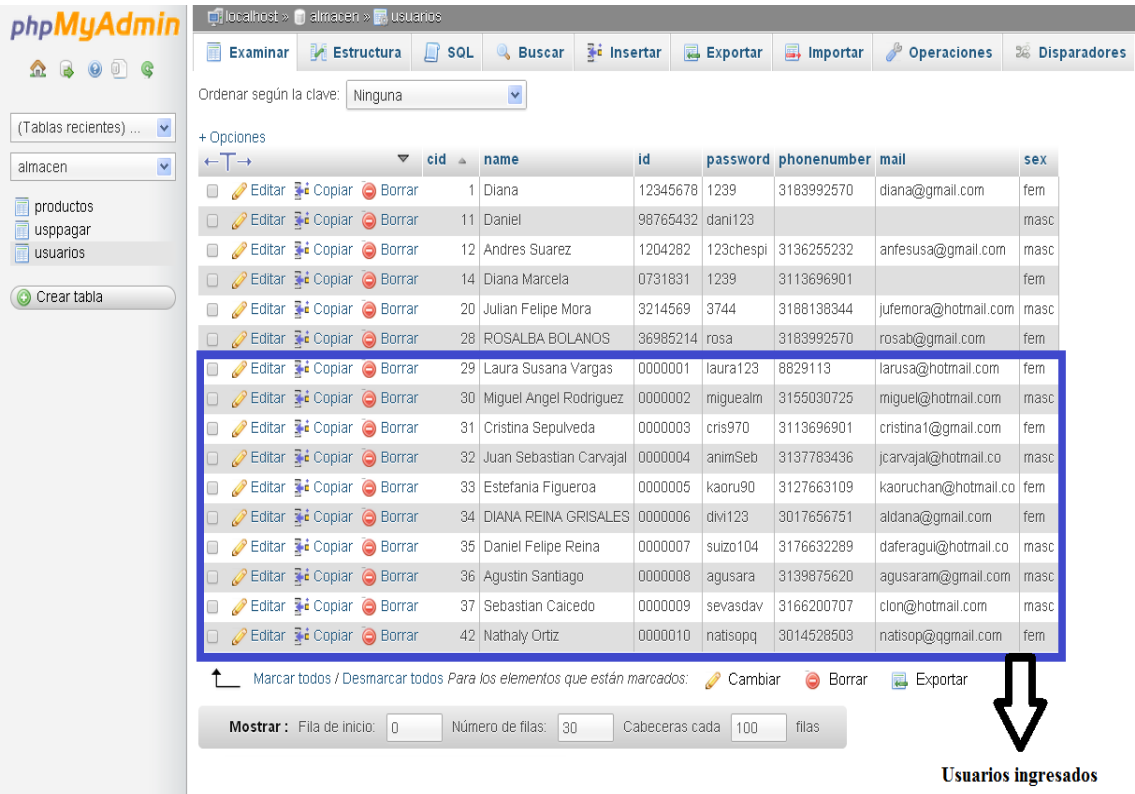


Figura 5.9. Esta es la apariencia de la tabla usuarios después de ingresar los 10 nuevos usuarios.

Para determinar el porcentaje de acierto de los subsistemas de registro e identificación de los clientes, se tomaron seis usuarios registrados (Figura 5.9) y se les realizaron dos pruebas; una para verificar si pueden registrarse nuevamente y otra para verificar si el usuario puede iniciar sesión o no. Los resultados obtenidos se consignan en la Tabla 5.2 e indican que ningún usuario puede registrarse nuevamente mientras utilice el documento de identidad previamente almacenado y que todo usuario registrado puede iniciar sesión sin ningún problema.

Tabla 5.2. Resultados obtenidos después de realizar la segunda y tercera prueba con 6 usuarios registrados previamente.

Usuario Registrado	¿Puede registrarse nuevamente?		¿Puede iniciar sesión?	
	Si	No	Si	No
12345678		✓	✓	
98765432		✓	✓	
1204282		✓	✓	
0731831		✓	✓	
3214569		✓	✓	
36985214		✓	✓	
% de aciertos	100 %		100 %	

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.3 PRUEBA 2. VALIDACIÓN DEL SUBSISTEMA DE UBICACIÓN

5.3.1 Descripción

Las pruebas se realizaron en el segundo piso del edificio 353 (Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) de la Universidad del Valle Sede Meléndez, en situaciones de tráfico variable de personas. La zona de experimentación cuenta con un área total de 177,75 m²; en la cual se situaron 4, 5 y 3 puntos de acceso transmitiendo en los canales mostrados en la Tabla 3.1. El área total se dividió en 224 puntos de prueba distribuidos uniformemente, la separación entre cada punto fue de 90 cm (que equivalen a tres puntos, para efectos de este trabajo ésta fue la unidad de medida), las coordenadas usadas a lo ancho del área (coordenada x) van desde 0 hasta 7 puntos, por otro lado las coordenadas a lo largo del área (coordenada y) va desde 0 hasta 31 puntos.

La validación del subsistema de ubicación se realizó mediante la ejecución de tres fases: La primera corresponde al entrenamiento, consiste en realizar pruebas con diferente número de puntos de acceso (4, 5 y 3) para obtener los valores de intensidad con los que se formó el mapa de potencias. En la segunda fase se realizaron pruebas con los puntos de acceso mencionados anteriormente, se obtuvo la intensidad de la señal en cada punto de prueba (figura 5.10), se estimó la posición del usuario y posteriormente se calculó el error en cada punto probado para determinar el alcance y las limitaciones del sistema. La última fase consiste en un análisis del parámetro RSS con el fin de concluir acerca de su comportamiento en ambientes bajo condiciones de tráfico variable de personas.

5.3.1.1 Primera fase: entrenamiento y/o calibración del subsistema de ubicación

Para la fase de entrenamiento, el dispositivo móvil se ubicó en un punto de prueba determinado, en el cual se mide la de intensidad recibida (RSS), este valor es almacenado en una base de datos SQLite para su posterior procesamiento y análisis, este procedimiento se realiza en cada punto de prueba.

Una vez finalizada la toma de datos de entrenamiento se dispone de una cantidad de información que debe ser procesada de tal manera que se puedan obtener los vectores del mapa de potencias. Para cada punto de prueba se tomaron 25 datos de intensidad de la señal por cada punto de acceso, se eliminaron los ceros o algún error introducido durante la toma de datos. Debido a que en algunos puntos de prueba la intensidad de la señal es muy variable, se aplica un filtro de Kalman que permitió atenuar dichas variaciones. Finalmente se aplicó un algoritmo de *K-means* para obtener un solo valor de intensidad (de los 25 datos medidos), con la intensidad de cada punto de acceso se forma el vector de entrenamiento que es almacenado en el mapa de potencias.

En las Figuras 5.10, 5.11 y 5.12 se muestran la cantidad y la distribución espacial de los puntos de acceso utilizados en cada una de las pruebas 4, 5 y 3 respectivamente, en la Figura 5.10 solo se visualizan tres puntos de acceso porque la ubicación del cuarto no se pudo determinar debido a que no hay una identificación clara de los puntos de acceso que se encuentran en el segundo piso del edificio 353.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

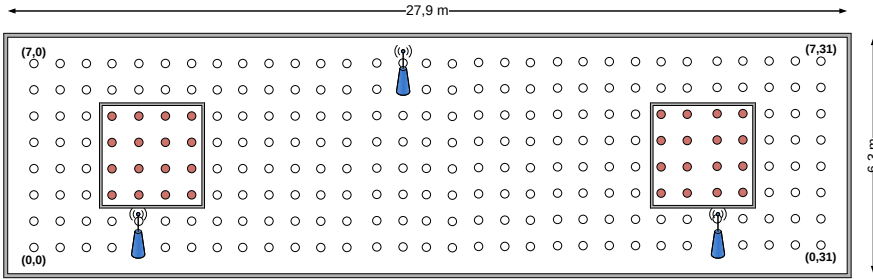


Figura 5.10. Primera configuración, prueba realizada con cuatro puntos de acceso.

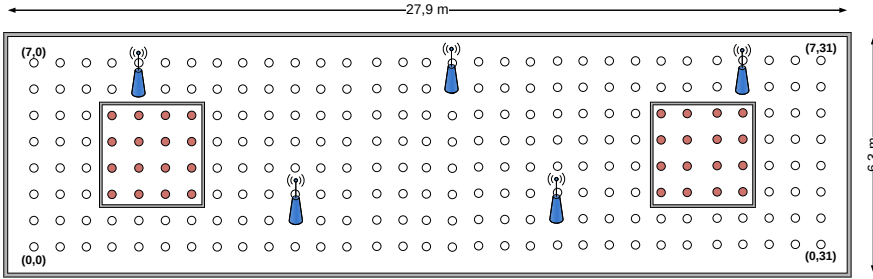


Figura 5.11. Segunda configuración, prueba realizada con cinco puntos de acceso.

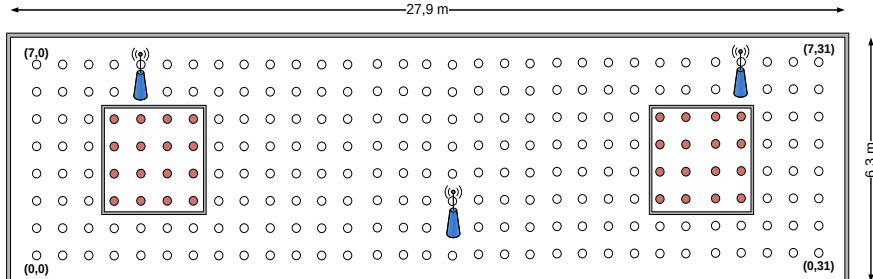


Figura 5.12. Tercera configuración, prueba realizada con tres puntos de acceso.

5.3.1.2 Segunda fase: Determinación del alcance, limitaciones y mejor configuración del subsistema de ubicación

Para esta fase se obtuvieron los valores de intensidad de la señal para cada punto de acceso en todos los puntos de prueba, posteriormente se estimó la posición del dispositivo usando dos algoritmos ubicación (K-Vecinos más próximos y Red Neuronal). El alcance y las limitaciones del subsistema de ubicación se determinaron calculando el error entre la posición estimada y la posición real de los puntos de prueba.

5.3.1.3 Tercera fase: Análisis de la RSS en un ambiente con menor interferencia

Para analizar el comportamiento de la RSS se efectuaron mediciones de la intensidad de la señal en el ambiente real de la aplicación con tráfico de personas y en un ambiente con menor interferencia. La intensidad de la señal se midió durante una hora de tal manera que se pudo observar la variación de este parámetro a lo largo del tiempo.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.3.2 Resultados y Análisis

Para lograr la validación del subsistema de ubicación, se realizaron varias pruebas en las que se tomó repetitivamente la RSS en los puntos de validación para determinar el error existente entre las coordenadas obtenidas con el algoritmo de localización y las definidas anteriormente para este trabajo.

Para todas las configuraciones se obtuvieron resultados mediante dos métodos que fueron: el de Redes Neuronales Artificiales y el de K-vecinos más próximos.

5.3.2.1 Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 4 puntos de acceso

La prueba para 4 puntos de acceso se realizó utilizando la configuración mostrada en la Figura 5.10, los puntos de acceso se configuraron para transmitir en el canal número 6. Con la aplicación de administrador desarrollada se tomaron las muestras de intensidad de la señal para la etapa de entrenamiento en 184 puntos de prueba, cada uno de ellos permitió formar el mapa de potencias.

El cálculo de la posición se realizó con dos métodos: Red Neuronal Artificial y K-Vecinos más próximos, los resultados se compararon para determinar cuál de los métodos es el que mejor se adapta a nuestro sistema.

5.3.2.1.1 *Cálculo de la posición con Red Neuronal Artificial.*

Para este caso el mapa de potencias obtenido se usó para entrenar una Red Neuronal Artificial de tipo MLP (numeral 2.5.3.2) con 4 neuronas en la capa de entrada que corresponde a la intensidad de la señal de los 4 puntos de acceso utilizados, 12 neuronas en la capa oculta y 2 neuronas en la capa de salida que corresponde a las coordenadas (x,y), las funciones de activación utilizadas fueron Tangente sigmoideal en la capa oculta y lineal en la capa de salida, además se usó Levenberg - Marquardt como algoritmo de entrenamiento.

Cabe resaltar que se presentaron grandes dificultades durante la etapa de entrenamiento de la red, ya que el entrenamiento se detuvo por errores de validación y no alcanzó un error medio cuadrático satisfactorio, esto se debió principalmente a la naturaleza variante de la señal que impidió tener unos patrones bien definidos y generaron problemas a la red. En la Figura 5.13 se puede observar el comportamiento descrito anteriormente.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

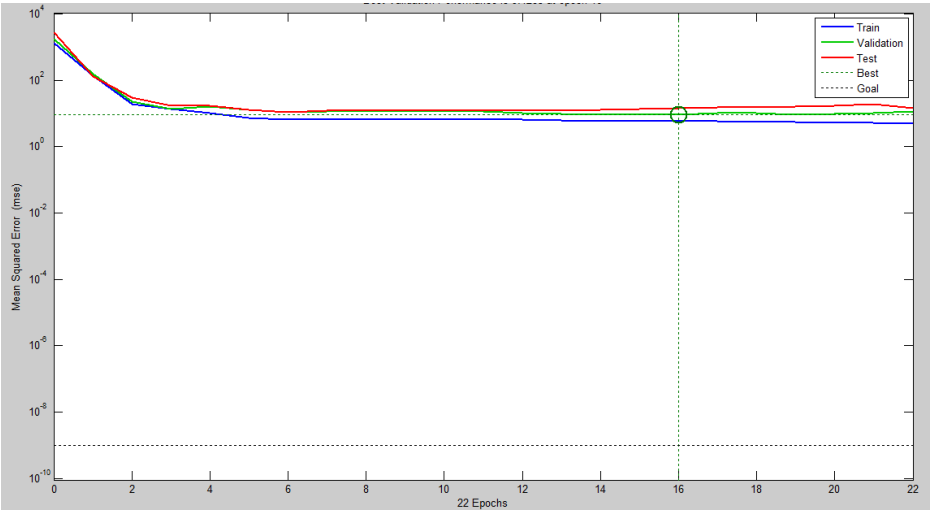


Figura 5.13. Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.

Una vez entrenada la red se procedió a validarla, para ello se tomaron muestras de la intensidad de la señal en los puntos de prueba, estos valores se ingresaron a la red para calcularlas coordenadas de la posición y posteriormente se les aplicó un filtro de Kalman para mejorar la exactitud del sistema.

En la Tabla 5.3 se observan los errores obtenidos durante la prueba con la red neuronal. Se puede observar una mejora en la exactitud al momento de aplicar el filtro de Kalman, el error promedio disminuye 0,5 metros y el error máximo pasa de 30 metros a 24 metros aproximadamente. Con los errores obtenidos se puede decir que la configuración y/o el método utilizado no responden satisfactoriamente a los requerimientos del sistema de ubicación.

Tabla 5.3. Resultados obtenidos con 4 puntos de acceso y el método de RNA.

Error obtenido	RNA		RNA - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	33,29	29,96	26,48	23,83
Mínimo	0,14	0,12	0,41	0,37
Promedio	10,34	9,31	9,70	8,73
Desviación	6,99	6,29	6,03	5,43

El error como criterio de exactitud del sistema se define como la distancia geométrica entre el punto de validación especificado por el usuario (coordenada x,y) y el punto estimado por la red (coordenada x,y) . Ecuación (11).

$$Error = \sqrt{(X_{Real} - X_{Estimado})^2 + (Y_{Real} - Y_{Estimado})^2}$$
 (11)

La unidad Puntos mostrada en la tabla fue seleccionada como referencia rápida para realizar las pruebas. Todos los cálculos son realizados en estas unidades y al final se realiza la conversión a metros. Se realizaron dos pruebas más de validación obteniendo valores similares, los resultados completos y las pruebas realizadas pueden ser observados en el Anexo5.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.3.2.1.1 *Calculo de la posición con K-vecinos más próximos*

Para esta prueba se trabajó con la misma configuración del ítem anterior, sin embargo la diferencia está en que el algoritmo para el cálculo de la posición utilizado fue el de K-vecinos más próximos (Ver numeral2.5.3.3).

El cálculo de la posición se realizó tomando muestras de validación en los puntos de prueba para formar el vector de prueba, se calculó la distancia de este vector con los que se encuentran almacenados en el mapa de potencias, para el algoritmo de K-Vecinos más próximos se utilizaron 6 distancias menores (6 vectores más cercanos) para estimar la posición (ecuación (7) y (8)).

En la Tabla 5.4 están consignados los resultados obtenidos con el algoritmo de K-vecinos más próximos, la medición del error y las unidades de medida son iguales a las expresadas en el ítem anterior y serán usados durante todas las pruebas. Los errores obtenidos con el algoritmo de K-vecinos más próximos mejoran significativamente respecto a los obtenidos con la red neuronal ya que el error máximo pasa de 24 metros a 9,1 metros, mientras que el error promedio disminuyó un 65%.

Tabla 5.4. Resultados obtenidos con 4 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.

Error obtenido	K-vecinos más próximos		K-vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	21,15	19,03	10,10	9,09
Mínimo	0,33	0,30	0,33	0,30
Promedio	4,20	3,78	3,31	2,98
Desviación	2,89	2,60	1,58	1,42

Al igual que en la prueba anterior, se puede observar una mejora en la exactitud del sistema cuando se aplica el filtro de Kalman, los resultados obtenidos son aceptables ya que permiten cumplir con el objetivo propuesto, los resultados respaldan la elección de este algoritmo para la implementación final de la aplicación. Es importante resaltar que la prueba mostrada en la Tabla 5.4 corresponde a los mejores resultados obtenidos durante las tres pruebas de validación realizadas, para observar los resultados y las pruebas completas ver Anexo5.

5.3.2.2 **Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 5 puntos de acceso**

Para esta prueba se utilizó la configuración mostrada en la Figura 5.11, la fase de entrenamiento se realizó nuevamente porque se modificó la ubicación de todos los puntos de acceso y se incluyó uno nuevo. En esta fase se tomaron muestras de la intensidad de la señal en cada uno de los 76 puntos de prueba, el tiempo total invertido durante esta fase fue de aproximadamente 2 horas. Con los datos obtenidos se formó el mapa de potencias y se procedió a la fase de validación.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.3.2.2.1 *Calculo de la posición con RNA.*

El mapa de potencias se usó para entrenar una Red Neuronal Artificial de tipo MLP en este caso se usaron 5 neuronas en la capa de entrada, 12 neuronas en la capa oculta y 2 neuronas en la capa de salida, las funciones de activación utilizadas fueron Tangente sigmoideal en la capa oculta y función lineal en la capa de salida, además se usó como algoritmo de entrenamiento Levenberg-Marquardt. Al igual que en la configuración anterior se presentaron inconvenientes para el entrenamiento de la red neuronal, en la Figura 5.14 se puede observar el comportamiento de la red durante su etapa de entrenamiento en la cual el error medio cuadrático al finalizar fue de aproximadamente 7 unidades.

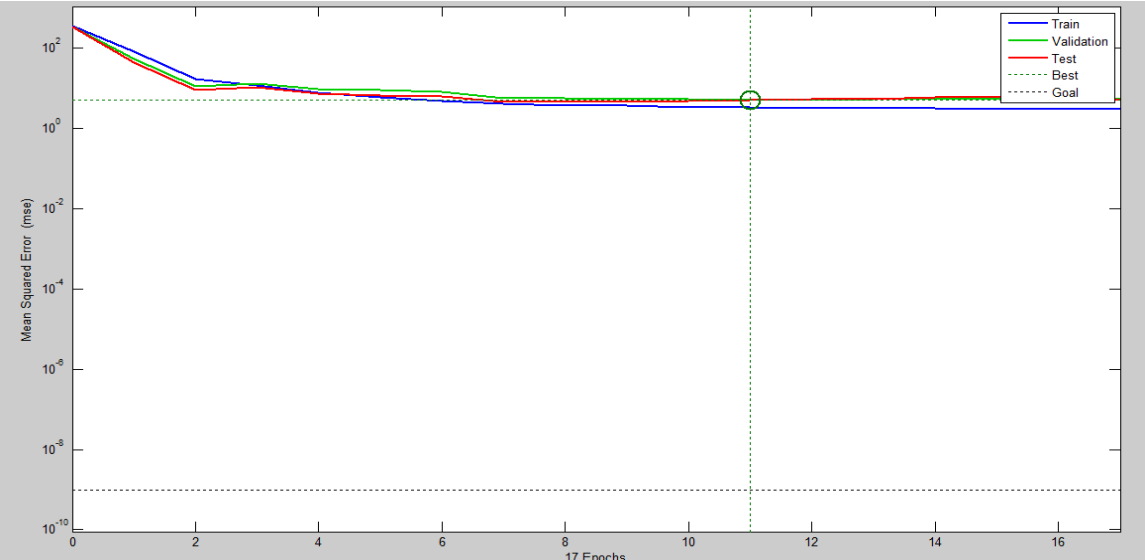


Figura 5.14. Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.

Una vez entrenada la red se procede a tomar los datos de validación para estimar la posición del dispositivo, en la Tabla 5.5 se pueden observar los errores obtenidos durante la prueba, se puede observar una mejora con respecto a la configuración anterior, el error máximo disminuye 12 metros aproximadamente, por su parte el error promedio disminuye 58% y se observa una mejora en la desviación estándar que pasa de 5,4 metros a 2,4 metros. En esta prueba el filtro de Kalman mejora el comportamiento del sistema aunque no es un cambio muy significativo, el error máximo disminuye 1,5 metros y el error promedio 0,3 metros.

Tabla 5.5. Resultados obtenidos con 5 puntos de acceso y el método de RNA.

Error obtenido	RNA		RNA - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	14,49	13,04	12,98	11,68
Mínimo	0,20	0,18	0,38	0,34
Promedio	4,36	3,92	4,00	3,60
Desviación	2,99	2,69	2,76	2,48

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.3.2.2 *Calculo de la posición con K-vecinos más próximos*

La configuración de los Puntos de Acceso para esta prueba fue igual que en el ítem anterior, se usó el algoritmo de los K-vecinos más próximos con un k=6, los resultados para este experimento son mostrados en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Resultados obtenidos con 5 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.

Error obtenido	K-vecinos más próximos		K-vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	10,02	9,02	7,09	6,38
Mínimo	0,85	0,76	1,58	1,42
Promedio	3,51	3,16	3,39	3,05
Desviación	2,71	2,44	2,44	2,09

De la tabla anterior se puede concluir que el algoritmo de K-Vecinos más próximo presenta un mejor desempeño, con un error máximo de 6,38 metros en comparación a los 11,68 metros obtenidos con la red neuronal, la desviación estándar baja un 9% lo que significa que el sistema es más confiable. Sin embargo comparando los resultados con los obtenidos en la configuración de 4 puntos de acceso se puede decir que la exactitud del sistema mejora en menor medida ya que el error máximo pasa de 9,1 metros a 6,4 metros, por otra parte el error promedio permanece constante.

5.3.2.3 **Resultados y análisis para el subsistema de ubicación utilizando una configuración con 3 puntos de acceso**

Para esta prueba se utilizó la configuración mostrada en la Figura 5.11, la fase de entrenamiento se realizó nuevamente porque se modificó la ubicación y cantidad de los puntos de acceso, en esta fase se tomaron muestras de cada punto de prueba (Figura 5.12), con los que se formó el mapa de potencias y se procedió a la fase de validación.

Al disminuir el número de Puntos de Acceso se podría esperar una disminución en la exactitud del sistema; sin embargo se debe tener en cuenta otros factores como la Interferencia co-canal y por canal adyacente. Los 3 puntos de Acceso se configuran para transmitir en los canales 11, 6, 1 de tal forma que se pueda evitar el solapamiento entre canales [GARCIA 07]. Los puntos de acceso utilizados para estas pruebas son el AP1, AP2 y AP3 (Ver Tabla 3.1) ubicados en las posiciones (6,4), (1,17), (6,28).

5.3.2.3.1 *Calculo de la posición con RNA*

El mapa de potencias se usó para entrenar una Red Neuronal Artificial de tipo MLP en este caso se usaron 3 neuronas en la capa de entrada, 12 neuronas en la capa oculta y 2 neuronas en la capa de salida, las funciones de activación utilizadas fueron Tangente sigmoideal en la capa oculta y función lineal en la capa de salida, se usó como algoritmo de entrenamiento Levenberg-Marquardt. Como se puede observar en la Figura 5.15 el entrenamiento de la red no es óptimo pues se detiene por errores de validación teniendo un error medio cuadrático de 7,35.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

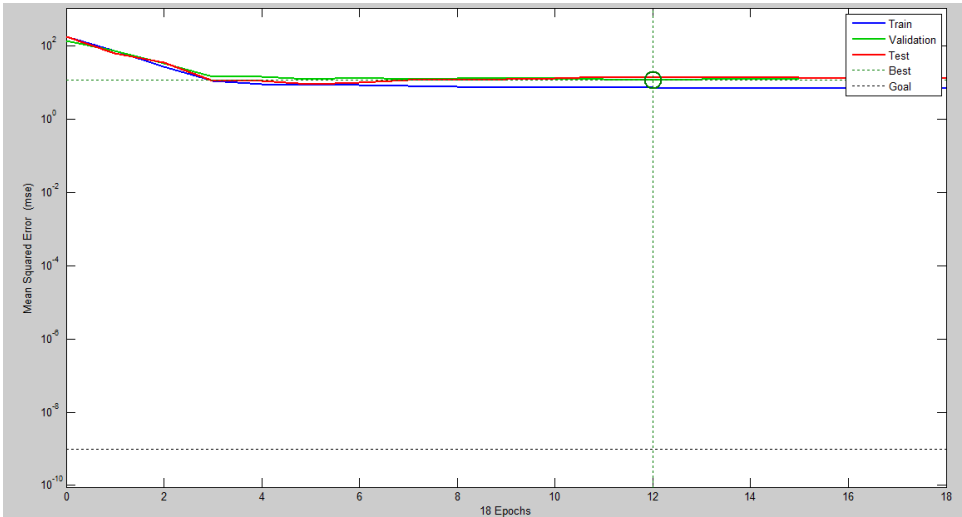


Figura 5.15. Comportamiento del error medio cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red.

Una vez entrenada la red se procedió a tomar los datos de validación y estimar la posición del dispositivo, en la Tabla 5.5Tabla 5.7 se pueden observar los errores durante la prueba, en los que puede notarse una pequeña mejora en la exactitud del sistema comparado con la configuración anterior, en donde el error promedio disminuye 0,315 metros, y la desviación estándar pasa de 2,48 metros a 1,32 metros.

Tabla 5.7. Resultados obtenidos con 3 puntos de acceso y el método de RNA.

Error obtenido	RNA		RNA - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	17,03	15,33	7,17	6,45
Mínimo	0,36	0,32	0,21	0,19
Promedio	4,76	4,28	3,65	3,29
Desviación	2,94	2,65	1,47	1,32

5.3.2.3.2 *Calculo de la posición con K-vecinos más próximos*

La configuración de los Puntos de Acceso para esta prueba fue igual que en el ítem anterior, se usó el algoritmo de los K-vecinos más próximos con un k=6, los resultados para este experimento son mostrados en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Resultados obtenidos con 3 puntos de acceso y el método de K-vecinos más próximos.

Error obtenido	K-Vecinos más próximos		K-vecinos más próximos – Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	17,39	15,65	7,74	6,97
Mínimo	0,53	0,47	0,46	0,42
Promedio	4,75	4,27	3,64	3,27
Desviación	3,00	2,70	1,54	1,39

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la Tabla 5.8 se puede observar un comportamiento similar en ambos algoritmos, el error máximo pasa de 6,96 metros con K-Vecinos más próximos a 6,45 metros obtenidos con la red neuronal, mientras que el error promedio solo disminuye 0,014 metros, adicionalmente se puede notar que comparado con la configuración de 4 puntos de acceso los valores obtenidos son similares aunque se debe tener en cuenta que la prueba con 3 puntos de acceso se realiza en todos los puntos (224) de prueba por lo cual la fuente de error es mayor para este caso. Los resultados obtenidos nos permiten intuir el alcance del sistema ya que a pesar de variar diferentes parámetros como el número de puntos de accesos y los algoritmos para la ubicación no se consigue mejorar considerablemente la exactitud del sistema, para proveer de mayor exactitud es necesario implementar nuevos algoritmos como los probabilísticos y/o combinar diferentes tecnologías de localización.

5.3.2.4 Validación de la configuración escogida para el subsistema de ubicación

A pesar de presentarse valores similares en las diferentes pruebas realizadas, es escogida la configuración de 3 puntos de acceso para la implementación final porque ofrece igual cobertura con menor número de puntos de acceso.

Para validar la elección anterior se realizó una prueba global que consiste en tomar 400 datos ubicando el dispositivo móvil en 11 puntos de prueba, esto con el objetivo de observar las variaciones que presenta la señal y así determinar la confiabilidad del sistema.

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados de las pruebas, se estimó la posición con los algoritmos K-Vecinos más próximos y Red Neuronal, se calculó el error con cada algoritmo y se compararon los resultados obtenidos.

Tabla 5.9. Resultados obtenidos para la validación en la configuración con 3 puntos de acceso.

	K-Vecinos más próximos		RNA	
Puntos	Error Promedio	Desviación Estándar	Error promedio	Desviación Estándar
(7,0)	3,19	0,98	4,22	0,70
(7,4)	0,72	0,22	2,63	0,89
(0,4)	2,09	0,37	1,74	0,26
(1,13)	2,64	0,57	3,96	0,32
(4,13)	5,64	0,91	5,96	0,43
(7,13)	4,89	0,74	4,56	0,63
(4,18)	0,91	0,50	1,53	0,40
(7,27)	2,22	0,01	13,19	1,09
(7,31)	10,80	2,16	9,45	1,85
(0,31)	9,16	0,39	8,36	0,37
(0,28)	7,33	0,64	6,92	0,50

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la Tabla 5.9 se observa un mejor comportamiento con el algoritmo de K-Vecinos más próximos, ya que se tiene un error máximo de 10,8 metros con K-vecinos más próximos contra 13,2 metros con Red Neuronal, se puede considerar que la zona más baja del área es un parte critica ya que los errores máximos obtenidos en esta zona son valores mayores de 7 metros. En general de los 11 puntos de prueba muestreados 7 puntos presentan un error menor a 5 metros, lo cual equivale al 63% de los datos

En la Figura 5.16 se presenta la interfaz del subsistema de ubicación dentro de la aplicación final, en esta pueden observarse tres puntos: El primero que indica la posición que es mostrada por la aplicación, el segundo punto muestra la ubicación del producto y el último es un punto de referencia que no hace parte de la visualización oficial pero que se pone para efectos de comparación.

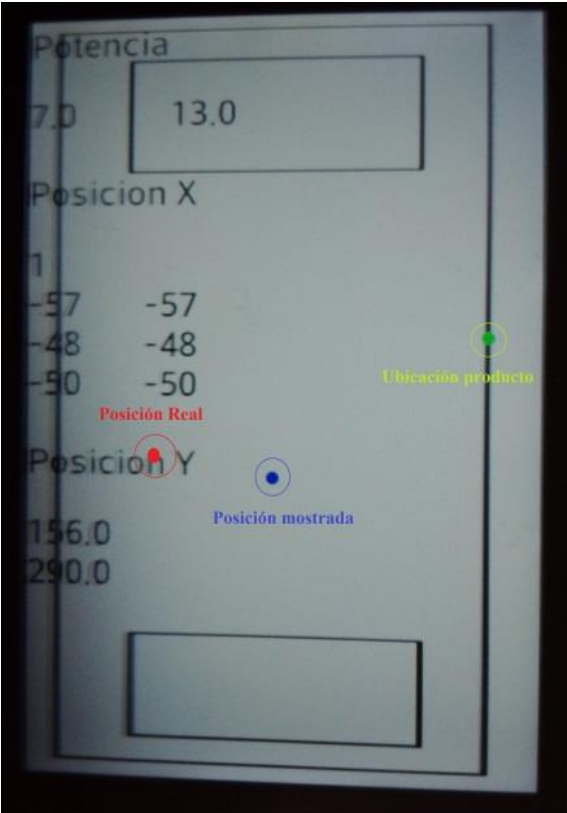


Figura 5.16. Visualización del producto respecto a la ubicación del usuario en la aplicación desarrollada.

5.3.2.5 Análisis de la RSS en un ambiente con menor interferencia

En este numeral se realiza un breve análisis del comportamiento de la intensidad de la señal en interiores, este ítem es importante ya que el comportamiento de la señal es fundamental para el sistema y dependiendo sus variaciones se obtendrán o no mejores resultados. Se realiza un análisis con los datos obtenidos durante las pruebas realizadas en el ítem 5.3.2.4.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

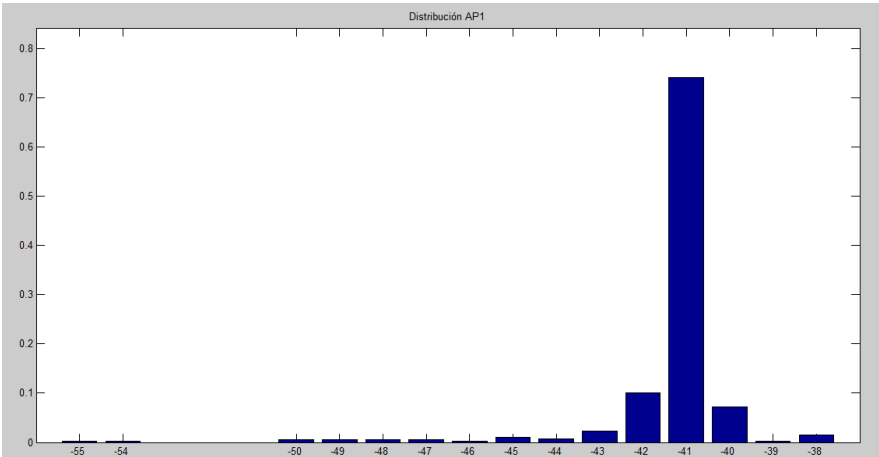


Figura 5.17. Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso más cercano.

La Figura 5.17 corresponde al comportamiento de la intensidad de la señal en el punto de prueba (7, 0) para el punto de acceso AP1, como se puede observar el 74% de las muestras corresponde a -41 dB, también se encuentran valores de intensidad distribuidos entre -55 dB y -38dB, sin embargo estos valores corresponden a menos del 1% de las muestras. Este comportamiento es ideal ya que la señal no presenta mayores interferencias y permanece prácticamente constante.

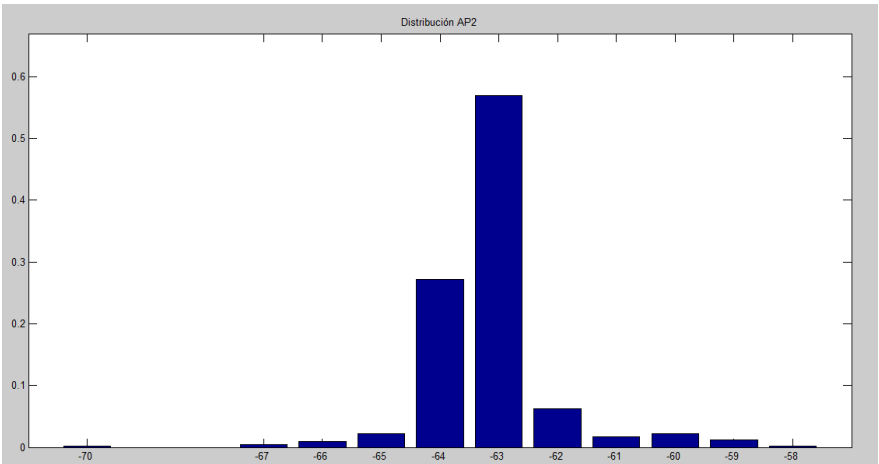


Figura 5.18. Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso número 2.

La Figura 5.18 corresponde a la distribución de la intensidad de la señal del punto de acceso AP2 en el punto de prueba (7,0), en este caso alrededor del 84% de las muestras están en los valores de -64dB y -63dB; aunque se observan los valores de intensidad más distribuidos que en la prueba anterior el comportamiento de la intensidad de la señal para este punto es satisfactorio.

La Figura 5.19 muestra el comportamiento de la intensidad de la señal para el punto de acceso AP3, se puede observar una dependencia de la distribución de la señal con la distancia ya que al incrementar la distancia entre el Punto de Acceso y el punto de prueba se obtienen una distribución más dispersa. La razón fundamental es que a mayor distancia la señal se encuentra más susceptible a pérdidas por propagación.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

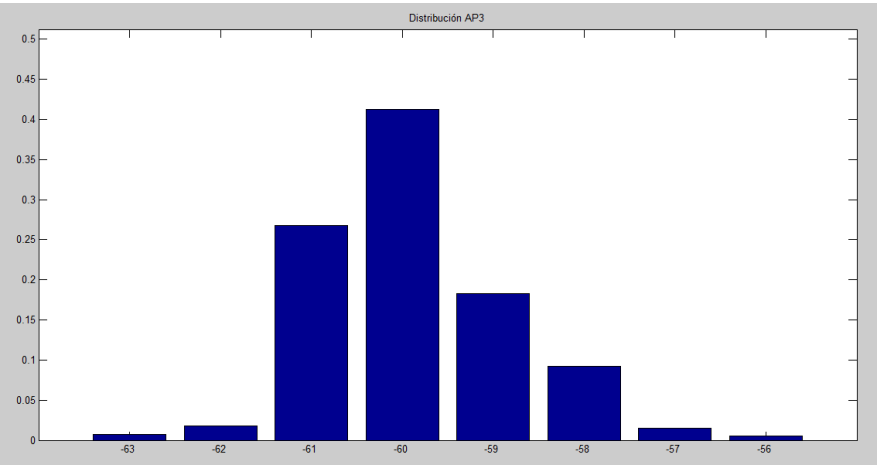


Figura 5.19. Comportamiento de la intensidad de la señal en interiores para el punto de acceso 3.

Los valores de intensidad obtenidos para el punto (7 , 0) no presentan grandes variaciones, lo que se refleja en una buena exactitud al momento de estimar la posición del dispositivo, como se puede observar en la tabla 5.9 para este punto de prueba el error es de 3,1 metros.

Las Figuras 5.20 y 5.21 corresponden a la intensidad de la señal de los punto de acceso AP1 y AP2 respectivamente, las pruebas fueron realizadas en el punto de prueba (7,13) tomando 400 muestras, el punto de acceso más alejado (AP1) presenta una distribución más dispersa, las causas de esta dispersión se deben a interferencias producidas por el usuario durante la toma de muestras y al tránsito de personas por el área de trabajo. Las variaciones obtenidas se ven reflejadas en la exactitud del sistema, ya que el error promedio obtenido para este punto de prueba aumento a 5 metros aproximadamente.

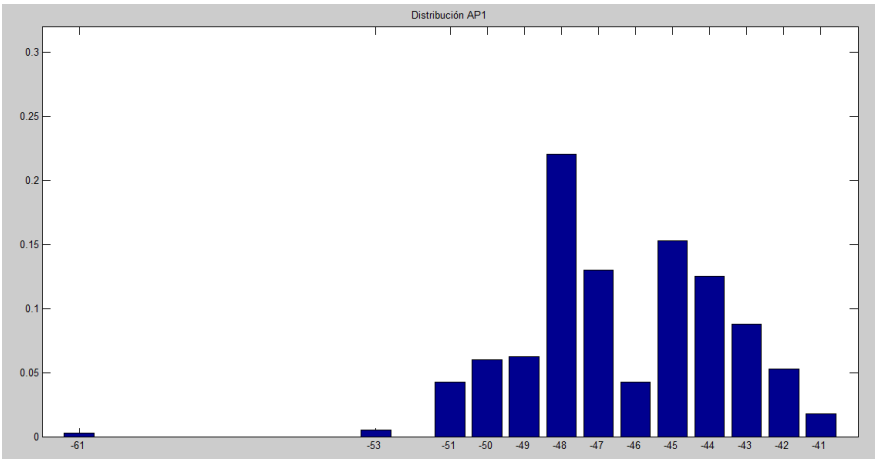


Figura 5.20. RSSI del punto de acceso 1.

La distribución de la Figura5.21 sería un comportamiento ideal de la señal, en donde el 80% de los datos corresponden a -49dB, con este tipo de señales se podría obtener una exactitud considerablemente mayor, ya que los datos tanto de entrenamiento como validación serían más confiable y se podría caracterizar con certeza cada punto con su intensidad de señal recibida de los AP.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

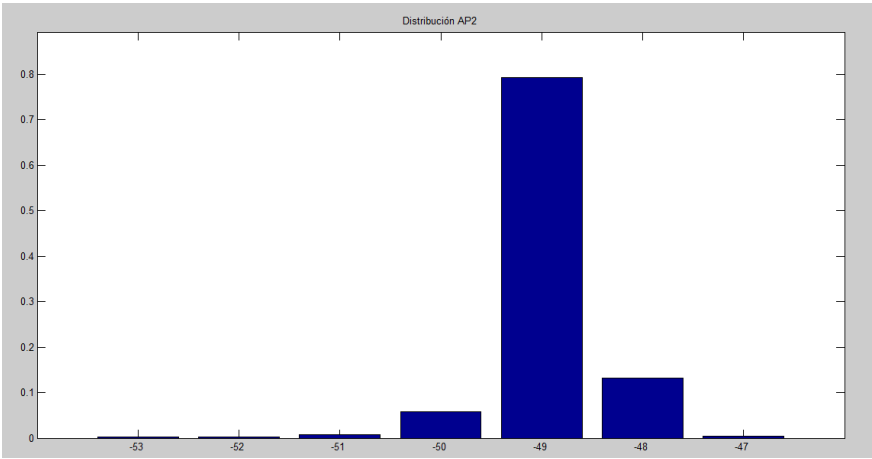


Figura5.21. RSS del punto de acceso 2.

5.4 PRUEBA 3. VALIDACIÓN DEL SUBSISTEMA DE REGISTRO DE PRODUCTOS

5.4.1 Descripción

Para realizar la validación del subsistema de registro de productos, deben realizarse cuatro pruebas que permitan verificar el correcto funcionamiento del mismo: La primera consiste en leer el código del producto y adicionarlo, la segunda leer el código pero no aceptarlo y en la tercera se lee un código que no pertenece a la base de datos y que por ende no debe considerarse al momento de realizar la cuenta, posteriormente en la cuarta prueba se realizan las diferentes pruebas en conjunto y con un solo usuario ya que es con el resultado arrojado en esta prueba que se valida el subsistema de pago. Las diferentes pruebas se realizan con los siete productos que se encuentran en la tabla que lleva este mismo nombre, que se encuentra en la base de datos **almacen** y que es mostrada en la Figura 5.22.

	id	code	descrip	brand	price	posx	posy
☐	1	TEC0001A	PORTATIL 14 PULGADAS, INTEL COR I3, 3 GB DE MEMORI...	TOSHIBA	1310000	0	0
☐	2	TEC0001B	CELULAR PANTALLA A COLOR CON RADIO FM	NOKIA	60000	7	4
☐	3	TEC0001C	ENRUTADOR	DLINK	90000	1	13
☐	4	PAP0001A	CARPETA PLASTICA OFICIO	NORMA	15000	7	13
☐	5	PAP0001B	AGENDA 7 MATERIAS CUADRICULADA	NORMA	8000	0	31
☐	6	PAP0001C	RESALTADOR DIVERSOS COLORES	PELIKAN	1500	0	28
☐	7	ELE0001A	VENTILADOR BLANCO	SAMURAI	80000	7	31

Figura 5.22. La tabla productos de la base de datos almacén cuenta con 7 registros que corresponden a los 7 productos con los que se realizan las pruebas a este subsistema.

5.4.2 Resultados y Análisis

Después del usuario seleccionar la opción registrar producto, se encuentra con una interfaz como la mostrada en la Figura 5.23, en ella se tienen dos opciones que son **ir al menú principal** y **registrar producto**, la primera como su descripción lo dice permite al usuario ir a la interfaz anterior que es la que cuenta con todas las opciones de las actividades que éste puede realizar.



Figura 5.23. Interfaz inicial del subsistema de registro de productos.

La segunda opción es la que realiza el llamado a la aplicación **Barcode Scanner** para que el código QR del producto sea identificado y posteriormente buscado en la tabla, una vez se tienen los datos completos que requiere el usuario son mostrados en una nueva interfaz que aparte de la información propia del producto permite a éste revisar a cuánto asciende su cuenta si decide aceptar este elemento y por último cuenta con dos opciones que son **aceptar** o **rechazar** el producto identificado, toda esta interfaz se puede observar en la Figura 5.24.



Figura 5.24. Interfaz que aparece una vez se identifica el código QR.

Después de conocer cómo funciona este subsistema, se realiza una primera prueba aceptando el producto y se observa como la cuenta incrementa en el monto que decía en la interfaz anterior (Figura 5.25), se repite el procedimiento pero esta vez no se acepta el producto y por ende la cuenta que se tenía anteriormente de \$ 1'310.000 no se ve afectada (Figura 5.26). Por último se lee un código que no pertenece al sistema y se observa como la aplicación es capaz de rechazar información inválida para su funcionamiento (Figura 5.27).

5. PRUEBAS Y RESULTADOS



Figura 5.25. Interfaz después de aceptar el producto anteriormente registrado.



Figura 5.26. Cuenta no afectada después de rechazar el producto.

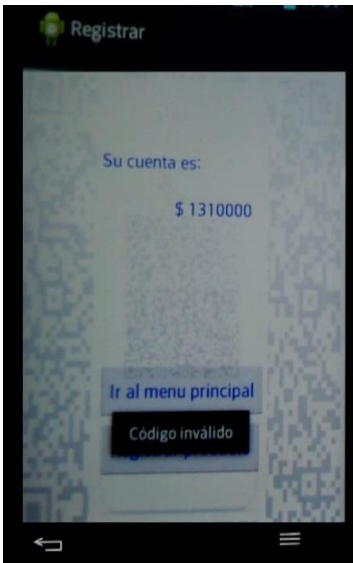


Figura 5.27. Los códigos QR de productos que no existen en la base de datos no afectan la cuenta y son identificados como código inválido.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Finalmente para validar el subsistema mediante su porcentaje de aciertos, se realizan pruebas con siete productos diferentes que se encuentran en la base de datos, de éstos se aceptaron cuatro y los otros tres productos no ya que se tiene como finalidad analizar el comportamiento de la variable **valor total**. En la Tabla 5.10 se observa cómo los productos aceptados son los únicos que se consideran al momento de sumar en la cuenta del usuario, los productos rechazados no incrementan en ningún momento esta variable por lo que se considera que el porcentaje de acierto del subsistema es del **100 %**.

Tabla 5.10. Resultados obtenidos después de realizar 7 pruebas con el subsistema de registro.

Código	Producto	Precio	Aceptado	No aceptado	Valor unitario	Valor total
TEC0001A	Computador portátil	1'310.000	✓		1'310.000	1'310.000
TEC0001B	Celular con radio FM	60.000		X		1'310.000
TEC0001C	Enrutador	90.000	✓		90.000	1'400.000
PAP0001A	Carpeta plástica	15.000	✓		15.000	1'415.000
PAP0001B	Agenda 7 materias	8.000		X		1'415.000
PAP0001C	Resaltador	1.500		X		1'415.000
ELE0001A	Ventilador blanco	80.000	✓		80.000	1'495.000
Total registrado					1'495.000	
% de aciertos del subsistema					100%	

5.5 PRUEBA 4. VALIDACIÓN DEL SUBSISTEMA DE PAGO DE PRODUCTOS

5.5.1 Descripción

Una vez se tiene el valor que el usuario debe cancelar en la caja, puede realizarse la validación del subsistema de pago de productos, para esto se realiza 1 prueba en el dispositivo móvil con la que se debe ingresar el usuario a la tabla **usppagar** mostrada en la Figura 5.28 y dos pruebas más en el punto de pago en las que se identifica al cliente y éste realiza el pago para posteriormente ser eliminado de la tabla ya mencionada.

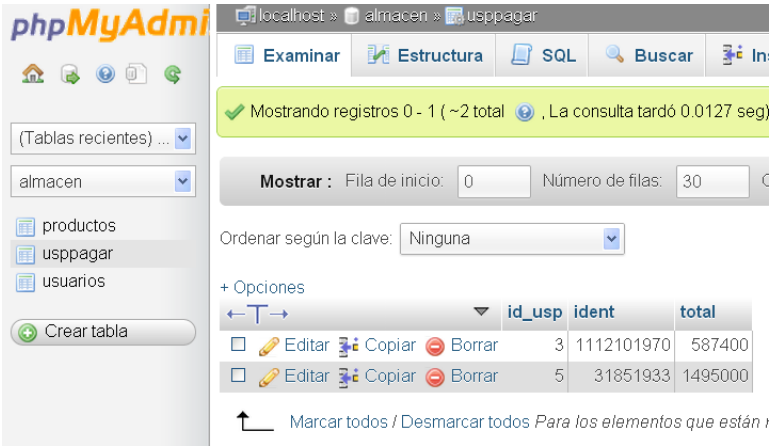


Figura 5.28. Tabla en la que se ingresan los usuarios que van a realizar el pago.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.5.2 Resultados y Análisis

Después de que el usuario completa su lista de compras y decide realizar el pago debe ir al **menú principal** y escoger la opción **realizar pago**, al hacerlo una nueva interfaz aparece en la que se encuentra el nombre del usuario, el total de su cuenta y dos opciones: **Aceptar** y **cancelar** – esto se observa en la Figura 5.29 –.



Figura 5.29. En la interfaz de pago se muestra el nombre y la cuenta del usuario.

Con opción **aceptar** los datos: Documento de identidad y cuenta son enviados a la tabla **usppagar** además la aplicación es finalizada en el dispositivo móvil – como muestra la Figura 5.30–, si el usuario en cambio escoge **cancelar** es regresado a la ventana de **registro** – como se puede observar en la Figura 5.31–.

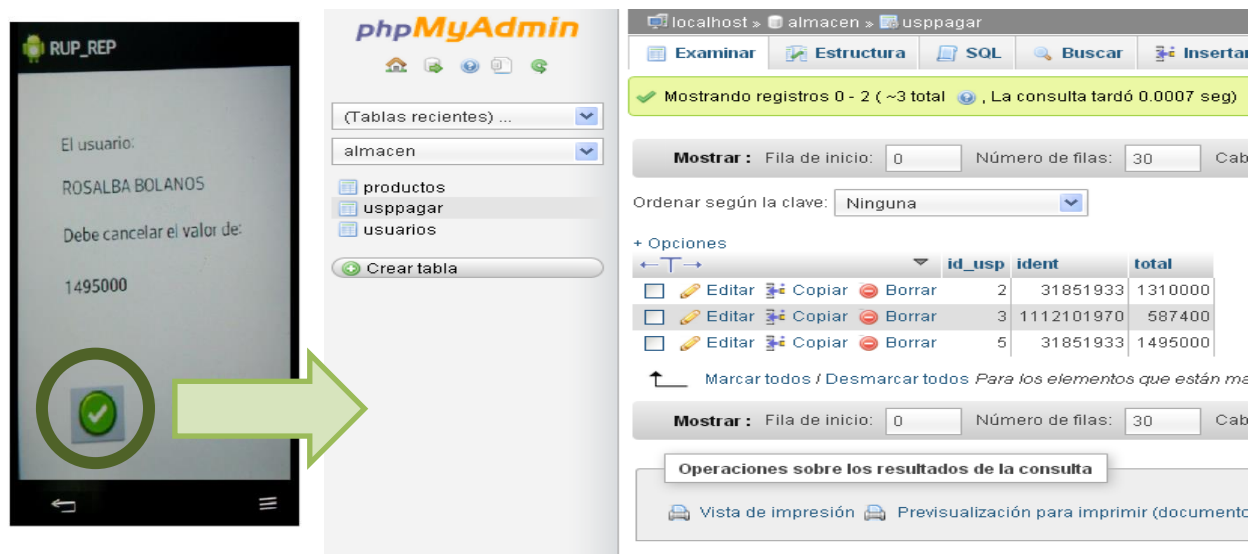


Figura 5.30. El usuario después de dar aceptar en la interfaz de pago es agregado a la tabla usppagar.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

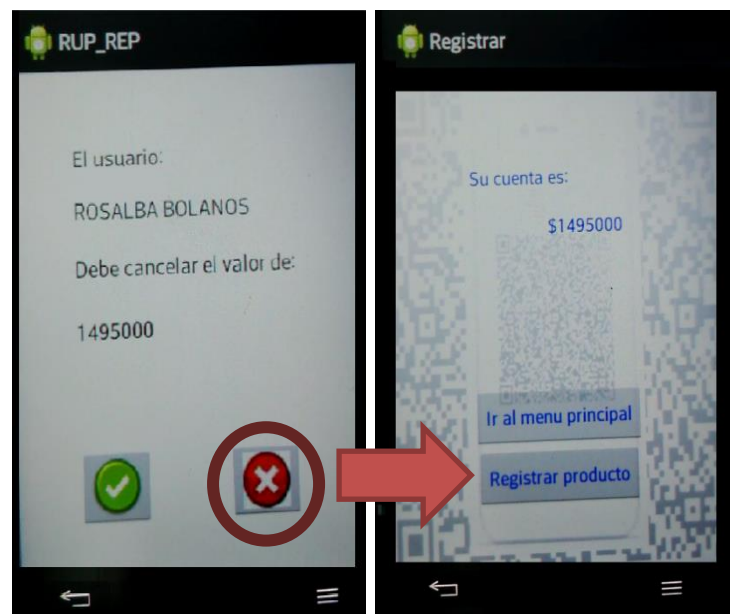


Figura 5.31. Si el usuario rechaza la opción de finalizar su cuenta es enviado a la interfaz de registrar productos.

Lo anterior corresponde a la prueba en la interfaz del usuario, ahora debe validarse el subsistema de pago en la interfaz del punto de pago, para ello se ejecuta la clase **fpago.php** en el computador que hace de caja, a continuación se obtienen los campos que se muestran en la Figura 5.32, la persona encargada deberá completar los datos del usuario, la aplicación no avanza si el usuario no se encuentra en la base de datos como se ve en laFigura 5.33.

Por favor dígitelo documento de identidad del usuario.

*I.D:

Figura 5.32. Interfaz en el punto de pago.

Usuario no ha enviado solicitud de pago

Figura 5.33. Alerta mostrada cuando el usuario no está en la tabla usppagar.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Cuando el usuario se encuentra en la base de datos aparece entonces el valor que debe cancelar y un campo en donde el encargado de la caja debe digitar el monto con el que el usuario realiza el pago (Figura 5.34 (a)), posteriormente se observa la cantidad que se debe dar de cambio y finalmente el botón aceptar (Figura 5.34 (b)) cuya acción es eliminar los datos del usuario de la tabla **usppagar**(Figura 5.34 (c)).

Datos cliente: Documento de identidad: 31,851,933 Debe cancelar el valor de: \$ 1,310,000 Digite la cantidad con la que el usuario paga la cuenta. Cancela con: 1350000 Pagar (a)	Debe devolverle al cliente: \$ 40,000 Aceptar (b) Transacción exitosa Regresar (c)
--	--

Figura 5.34. (a) Información del usuario. (b) Cambio que recibe el usuario. (c) Transacción finalizada.

5.6 ANÁLISIS COMPARATIVO O GENERAL DEL SISTEMA

La aplicación final llamada RUP – REP (Registrar Ubicar Pagar – Reinventa Estos Procesos) consta de 4 subsistemas:

- 1 de identificación y/o registro de usuarios.
- 1 de ubicación de productos.
- 1 de registro de productos.
- 1 de pago de productos.

El primero permite a los usuarios nuevos registrarse para que al igual que los usuarios antiguos reciban un trato preferencial al momento de realizar el pago de su cuenta, este subsistema tuvo un porcentaje de acierto del 100 %.

El segundo subsistema permite visualizar la posición del usuario y del producto solicitado con una exactitud promedio de 3,27 metros, sin embargo hay puntos críticos con errores de hasta 8 metros como por ejemplo el punto (2, 12). La limitante principal del sub-sistema de ubicación es la exactitud/precisión donde se presentan valores aceptables pero no se obtiene un resultado óptimo, esto se debe a las diferentes interferencias y perdidas de potencia presentes en un ambiente en interiores generando variaciones en la intensidad de la señal que es el parámetro con el cual se calcula la posición del dispositivo.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el tercer subsistema correspondiente al de registro de productos se tiene un porcentaje de acierto del 100% sin embargo para aprovechar al máximo las características de los códigos QR deberán utilizarse aquellos en los que se encuentre toda la información disponible del producto y realizar en la aplicación el cambio respectivo para filtrar el dato realmente importante en el subsistema, de esta forma si el usuario no desea instalar la aplicación del almacén puede recurrir a una aplicación que puede tener previamente instalada para identificar el producto

El cuarto subsistema, el de pago realiza todas las acciones para las que fue diseñado, sin embargo en un entorno real debe agregarse la seguridad necesaria en el servidor para proteger los datos que se alojan en las diferentes tablas de la base de datos, en este trabajo no se tuvieron en cuenta porque no se considera como un aspecto relevante que afecte el funcionamiento del sistema en general.

En la Tabla 5.11, son resumidas las características principales de funcionamiento atribuidas a la aplicación desarrollada.

Tabla 5.11. Características resumidas del funcionamiento de la aplicación desarrollada

APLICACIÓN RUP – REP			
Subsistema	Características	Alcance	Limitaciones
Identificación y/o registro de clientes	Permite que el cliente de alguna manera sienta una atención personalizada dentro del almacén.	Se pueden identificar todos los clientes que se encuentren en la tabla usuarios y registrar a los nuevos diligenciando un sencillo formulario.	
Ubicación de productos	Permite visualizar la posición tanto del usuario como del producto solicitado haciendo uso de una infraestructura WiFi.	Se puede ubicar los productos con una exactitud promedio de 3,27 metros, la actualización de la visualización tarda aproximadamente 2 segundos.	Las principales limitaciones son la exactitud del sistema, variaciones de la señal impiden tener una posición exacta del usuario.
Registro de productos	El cliente podrá identificar un producto, conocer su información básica y determinar si desea ingresarlo o no a su cuenta.	La identificación de productos se puede hacer mediante códigos QR o códigos de barras simples ya que la aplicación que realiza este proceso lo permite.	Las limitaciones de este subsistema están dadas por el tipo del dispositivo móvil que se esté usando, ya que depende de las características de la cámara que éste posea el funcionamiento adecuado de la aplicación que realiza la lectura de los códigos.

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Pago de productos	El usuario informa al almacén cuando ha finalizado sus compras y que está dispuesto a realizar el pago de su cuenta. De esta manera solamente con el documento de identidad puede acercarse a una caja para cancelar su deuda.	Todos los clientes que hayan enviado su solicitud para realizar el pago serán atendidos en cualquier caja.	
--------------------------	--	--	--

En las Tablas 5.12 y 5.13 está consignado el resumen de los resultados obtenidos con las diferentes configuraciones. Comparando los datos obtenidos con el algoritmo de Red Neuronal se observa una disminución en el error máximo, promedio y en la desviación estándar cuando se usa una configuración de 3AP, lo cual puede deberse a la reducción en las interferencias por canal adyacente. Por otra parte el error promedio cuando se usa el algoritmo de K-Vecinos más próximos es similar para las tres configuraciones; sin embargo se decide utilizar esta configuración porque requiere menos hardware.

Cuando se comparan los resultados obtenidos con los dos algoritmos se observa un mejor desempeño con K-Vecinos más próximos para las configuraciones de 4 y 5 puntos de acceso, para la configuración de 3 AP el desempeño de ambos algoritmos es similar, se decide aplicar K-Vecinos más próximo porque presentó mejores resultados en la prueba del ítem 5.3.2.4.

Tabla 5.12. Comparación de los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones con el método de Con RNA – Kalman

Configuración	Con RNA – Kalman [metros]			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación
5 puntos de acceso	11,68	0,34	3,60	2,48
4 puntos de acceso	23,83	0,37	8,73	5,43
3 puntos de acceso	6,45	0,19	3,29	1,32

Tabla 5.13. Comparación de los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones con el método de K-Vecinos más próximos

Configuración	Con K-Vecinos más próximos – Kalman [metros]			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación
5 puntos de acceso	9,10	0,30	2,98	1,42
4 puntos de acceso	6,38	1,42	3,05	2,19
3 puntos de acceso	6,97	0,42	3,27	1,39

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.7 CONCLUSIONES.

El porcentaje de aciertos en el ingreso y validación de clientes que se obtuvo es igual al 100%, este valor permite concluir que el subsistema de identificación y/o registro de usuarios es confiable y que cumple con los fines para lo que fue diseñado.

En las pruebas realizadas en el numeral 5.3 con la configuración seleccionada se obtiene un error promedio de 3,27 metros y una desviación estándar de 1,38 para la ubicación del usuario dentro del área, el 63% de las posiciones evaluadas presentan un error menor a 5 metros. El desempeño final del sistema de ubicación es aceptable porque permite orientar al usuario sobre la ubicación del producto el cual es mostrado en el mapa, la exactitud para un sistema de este tipo es un parámetro adicional que provee mayor comodidad al momento de realizar la compra.

Las principales fuentes de error en el sistema de ubicación son las interferencias (Por obstáculos, tráfico de personas, pérdidas de potencia) que causan variaciones en la intensidad de la señal como se observa en la Figura 5.20, estos cambios generan errores en la estimación de la ubicación, 5 metros para un ambiente con tránsito leve de personas contra 3 metros en un ambiente sin tránsito de personas.

En las pruebas realizadas en los ítems 5.3.2.1 y 5.3.2.3 se puede apreciar que a pesar de disminuir el número de puntos de acceso, la exactitud del sistema permanece constante, por lo tanto se concluye que transmitir en los canales (11, 6, 1) como se hizo en la prueba final permitió evitar las interferencias debidas al solapamiento de los canales adyacentes.

Aunque se modificaron las configuraciones de los puntos de acceso y se implementaron dos algoritmos de ubicación diferentes, el error promedio del sistema permaneció alrededor de 3,2 metros. Por lo tanto, se puede inferir que la exactitud promedio del sistema con las técnicas utilizadas, no será menor a 3 metros aproximadamente.

Es posible mejorar la exactitud del sistema si se utilizan métodos más complejos para el cálculo de la posición, también se podrían combinar varias tecnologías de localización o transmitir en la banda de 5 GHz, ya que la banda de 2,4 GHz se encuentra más saturada por tecnologías existentes.

Las diferentes pruebas al subsistema de registro de productos, indican que es robusto y que permite al cliente tener credibilidad con los valores que en la interfaz van apareciendo pues cada vez que un producto no sea ingresado por el cliente o que se identifique un producto que no se encuentre en la base de datos la variable **cuenta** no va a afectarse de ninguna manera.

La validación realizada al subsistema de pago de productos indica que la aplicación brinda al usuario atención personalizada en este proceso, pues basta con presentar el documento de identidad en la caja de cobro para que pueda cancelar la cuenta de una manera rápida y confiable.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Se desarrolló una aplicación que permite obtener información de los productos que se encuentran en un almacén de cadena – tal como el precio, la marca, su ubicación, entre otras – mediante la lectura de códigos QR, el análisis de la potencia de los puntos de acceso y el manejo de bases de datos. Además la aplicación permite verificar la identidad del usuario, crear cuentas de consumo y agilizar el pago en las cajas de cobro.

El desarrollo de este trabajo de grado plantea cómo dar solución a un problema de la vida cotidiana utilizando nuevas tecnologías, además sirve como base para estudios futuros de este tipo; cuya viabilidad aumenta a medida que se desarrollan nuevos y mejores dispositivos.

Después de realizar una revisión bibliográfica se identificaron las principales tecnologías que deben integrar un sistema que permite agilizar el proceso de compra en almacenes de cadena tales como Android, iOS, Wi-fi, Bluetooth, WAMP server, MySQL, PHP entre otras. Dentro de este grupo fueron escogidas las más apropiadas y que deben ser incluidas en un desarrollo de este tipo por brindar a la aplicación final versatilidad, fluidez, fácil acceso, economía entre otras características.

Dado el estudio que se realizó en torno a los sistemas operativos para dispositivos móviles, se decidió seleccionar Android porque es una plataforma que permite el desarrollo de aplicaciones móviles que no requiere un sistema operativo específico en el computador de desarrollo, puede programarse mediante diferentes lenguajes y tiene los dispositivos de desarrollo más económicos del mercado.

Teniendo en cuenta los lineamientos con los que debía contar la aplicación diseñada y para lograr una adecuada interacción entre el usuario y ésta, se eligió trabajar con un entorno de desarrollo web WampServer ya que permite obtener un servidor apache en el computador que se instala con soporte PHP y gestión de bases de datos MySQL.

El subsistema de ubicación se implementó con la tecnología Wi-fi porque es de fácil acceso y no requiere de una gran infraestructura para su implementación. Por las mismas razones se empleó el método Fingerprinting para la estimación de la posición del usuario dentro del almacén de cadena.

Se escogieron los códigos de respuesta rápida (QR) para la identificación de productos porque permiten mayor capacidad de almacenamiento, son económicos y pueden ser leídos por cualquier dispositivo móvil que cuente con cámara y software adecuado.

Se diseñaron 4 subsistemas para la aplicación final. El primero permite realizar el registro y/o identificación de clientes dentro del almacén de cadena mediante el uso de bases de datos, tablas y servidores web. El segundo subsistema permite al usuario visualizar la ubicación del producto en un mapa respecto al punto en el que él se encuentra. El tercero corresponde al de identificación de producto que permite al usuario ver la información de éste, registrarlo y observar como incrementaría su cuenta si desea aceptarlo. El cuarto y último subsistema corresponde a un sistema de comunicación entre el dispositivo y las cajas de pago y permite enviar el valor total de la compra una vez el cliente finaliza el registro de los productos.

6. CONCLUSIONES GENERALES

El método de ubicación depende críticamente de los datos tomados en la fase de entrenamiento, por ello esta etapa debe ser realizada bajo condiciones similares a las del entorno de trabajo real, ya que los cambios en el ambiente de medición (mayor tráfico de personas, cambio en la ubicación de los Puntos de Acceso) afectarán el desempeño del sistema.

En la validación realizada después de integrar el subsistema de registro e identificación de usuarios en la aplicación final RUP – REP se logra un porcentaje de aciertos igual al 100% con el que puede concluirse que este es confiable y que cumple con los fines para los que fue diseñado.

Las diferentes pruebas realizadas al subsistema de registro de productos, permite considerar que es robusto y que brinda confiabilidad en los datos y cálculos que realiza.

La aplicación desarrollada garantiza atención personalizada al usuario cuando entrega información sobre cada producto mediante el código QR y cuando en el proceso de pago le basta con presentar el documento de identidad en la caja de cobro para que pueda cancelar su cuenta.

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de validación del subsistema de ubicación muestran la naturaleza variante de la intensidad emitida por éstos, por tal razón es necesario realizar su caracterización con el fin de evitar la utilización de dispositivos que aumenten el error del sistema.

En todas las pruebas realizadas se obtiene errores más pequeños cuando se utiliza un filtro de Kalman para la estimación de la posición, debido a que el filtro permite añadir como parámetro la variación de la intensidad de la señal, de forma que determina la posición teniendo en cuenta las medidas de intensidad realizadas y la posición anterior calculada por el algoritmo de ubicación.

Antes de realizar la compra de un dispositivo móvil para utilizarlo como equipo de pruebas en una aplicación de este tipo es necesario realizar una prueba previa en la que se verifique especialmente el correcto funcionamiento de la aplicación que obtiene la información de los códigos QR, ya que puede darse el caso que la cámara del dispositivo tenga la resolución mínima indicada pero debido a otras características del dispositivo no identifique el código. Esto sucede por ejemplo con la Tablet Titán 7010 que cuenta con una cámara de 2 Megapíxeles pero que nunca logra enfocar el código haciendo imposible su lectura.

Al momento de implementar esta aplicación en un entorno real como lo es un almacén de cadena, debe considerarse la opción de utilizar algoritmos más robustos que permitan analizar parámetros como las distribuciones de la señal, además se podrían combinar diferentes tecnologías de ubicación con el fin de mejorar la exactitud y precisión del sistema.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS DE TRABAJO

7.1 POSIBLES MEJORAS AL DESARROLLO EFECTUADO

A la aplicación desarrollada e implementada en este trabajo se le pueden realizar mejoras tales como:

- Realizar implementaciones con puntos de acceso que permitan manejar el canal de 5 GHz para tener menor interferencia y de esta manera obtener mejores resultados en la localización
- Adicionar funciones o menús a la aplicación que permitan darle al cliente una atención más personalizada tales como: sugerencias de productos con base a su historial de compras, descuentos por realizar frecuentemente sus compras en el almacén, posibilidad de realizar el pago con tarjeta débito o crédito.
- Adicionar una cámara al carro de compras para realizar una aplicación que brinde seguridad y tranquilidad al dueño del almacén, al poder controlar la cantidad y los productos exactos que el usuario está ingresando al carro de compras, evitando así posibles fraudes en este proceso.
- Adicionar al sub-sistema de ubicación en interiores un algoritmo que trace las mejores rutas a los clientes dependiendo de los productos que quiera comprar.

7.2 POSIBLES PROYECTOS DE CONTINUACIÓN SIMILARES O AFINES

Se proponen los siguientes proyectos de continuación buscando ampliar la funcionalidad de la aplicación diseñada:

- Estudio del efecto que tiene la interferencia inter-canal en aplicaciones de ubicación en interiores y posibles acciones a aplicar para reducirla.
- Viabilidad económica y técnica de un sistema de ubicación en interiores utilizando tecnología RFID.
- Diseño de un sistema que utilice técnicas de visión artificial para identificar los productos que sean ingresados a un carro de compras y que se pueda validar con la información que se encuentra disponible en el sistema de registro del dispositivo móvil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [BRUNATO 04] Brunato M. y Battiti R., “Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs”, Italia, Año 2004.
- [CAICEDO 09] Caicedo E. “Una aproximación práctica a las redes Neuronales Artificiales”. Programa Editorial Universidad del Valle. Colombia. Año 2009.
- [ESMINGER 10] Ensminger D. y Bond L., “Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications”, CRC Press Inc, Tercera Edición, Estados Unidos, Año 2010.
- [FLORES 02] Zamorano F. J. y Moya G., “Sistemas infrarrojos de comunicaciones inalámbricas”, México, Año 2002.
- [GARCIA 07] Garcia E., Aguilera E., Vidal R y Paradells J. “Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs”, España. Año 2007
- [GUERRERO 12] Fabio Guerrero, “Introducción a los Sistemas Móviles Introducción a los Sistemas Móviles de Cuarta Generación de Cuarta Generación”, Colombia 2012.
- [GWON 04] Gwon Y. y Jain R., “Error Characteristics and Calibration-free Techniques for Wireless LAN-based Location Estimation”, Estados Unidos, Año 2004.
- [HERNANDEZ 04] Hernandez L. y Martín A., “Codificación de información mediante códigos de barras”, España, Año 2004.
- [HUIDOBRO 04] Huidobro J. M., “RFID. Etiquetas inteligentes”, Universia, España 2004.
- [HUIDOBRO 09] Huidobro J. M., “Código QR”, Universia, España 2009.
- [IEEE 11] Organización IEEE, “IEEE Standard for Information technology Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: IEEE 802.11 Wireless Network Management”, Estados Unidos rev 2011.
- [INTERFACES 12] Posso B., “Tema 6: Introducción a las Bases de datos y al lenguaje PHP”, Colombia 2012.
- [LADD 02] Ladd A., Bekris K., Rudys A., Marceau G., Kavraki L. y Wallach D., “Robotics-Based Location Sensing using Wireless Ethernet”, Estados Unidos, Año 2002.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [MEIER 09] Meier Reto, “Professional Android Application Development”, Wiley Publishing Inc., Estados Unidos, Año 2009.
- [MOUSTAFA 03] Moustafa Y., Ashok A. y Udaya S., “WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions”, Computer Society, Estados Unidos, Año 2003.
- [ONTSI 09] ONTSI y AETIC, “La tecnología RFID: Usos y Oportunidades”, Año 2009.
- [OUTEMZABET 08] Outemzabet S. y Nerguizian Ch., “Accuracy Enhancement of an Indoor ANN-based Fingerprinting Location System Using Kalman Filtering”, Canadá, Año 2008.
- [PRASI 02] Prasithsangaree P., Krishnamurthy P. y Chrysanthi P., “On indoor position location with wireless LANs”, Estados Unidos, Año 2002.
- [RADAR 00] Bahl P. y Padmanabhan V., “RADAR: An In – Building RF – based User Location and Tracking System”, Año 2000.
- [ROBERTS 06] Roberts, C.M., “Radio frequency identification (RFID), Computers & Security, Año 2006.
- [ROOS 02] Roos T., Myllymäki P., Tirri H., Misikangas P. y Sievänen J., “A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation”, International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 9, No. 3, Año 2002.
- [TAN 06] Tan P., Steinbach M. y Kumar V., “Introduction to Data Mining”, Cap. 8, Estados Unidos, Año 2005.
- [TUMMALA 05] Dinesh Tummala, “Indoor Propagation Modeling At 2.4 Ghz For IEEE 802.11 Networks”, Estados Unidos 2005.
- [WELCH 06] Welch G., Bishop G., “An introduction to the Kalman Filter”, Estados Unidos Año 2006.
- [@CISCO 13] <http://www.cisco.com/en/US/products/ps9931/index.html>
Cisco → Página oficial de equipos para telecomunicaciones y sistemas marca Cisco, aquí puede encontrarse información técnica, comercial de los dispositivos ofrecidos por esta compañía así como tutoriales y servicio al cliente.
- [@CLARIN 03] <http://edant.clarin.com/diario/2003/01/27/t-508580.htm>
Diario digital Clarín → Nota: Diario digital argentino.
- [@CPPREF 12] <http://en.cppreference.com/w/cpp>
C++ Reference → Nota: Esta página ofrece información sobre C++, explica los conceptos básicos y muestra las diferentes librerías con las que cuenta este lenguaje.

- [@CPROG 11] <http://www.cprogramming.com/>
Cprogramming→ Nota: Página que permite aprender lo necesario para programar en C y C++, mediante tutoriales, descargas y prácticas.
- [@CREF 12] <http://en.cppreference.com/w/c>
C++ Reference→ Nota: Esta página ofrece información sobre C, explica los conceptos básicos y muestra las diferentes librerías con las que cuenta este lenguaje.
- [@DLINK 13] <http://www.dlink.com/es/es/home-solutions/connect/routers/dir-300-wireless-g-router>
Dlink. Building networks for people→ Página oficial de la marca Dlink en España, posee información técnica y comercial de los dispositivos que ellos ofrecen.
- [@DEVEAP 13] http://developer.apple.com/library/mac/#documentation/Cocoa/Conceptual/ProgrammingWithObjectiveC/Introduction/Introduction.html#//apple_ref/doc/uid/TP40011210
Mac Developer Library→ Nota: Página dedicada a formar desarrolladores para MAC, mediante tutoriales, lecturas y foros.
- [@DEVEANBD 13] <http://developer.android.com/reference/android/database/sqlite/package-summary.html>
Desarrolladores Android→ Nota: Página oficial para desarrolladores, en ésta se ofrecen herramientas y tutoriales para quienes están interesados en diseñar aplicaciones Android. En este caso el link conlleva a encontrar información acerca de las bases de datos y sqlite.
- [@DEVEANO 13] <http://developer.android.com/guide/topics/data/data-storage.html#db>
Desarrolladores Android→ Nota: Página oficial para desarrolladores, en ésta se ofrecen herramientas y tutoriales para quienes están interesados en diseñar aplicaciones android. En este caso el link conlleva a encontrar información acerca de las opciones de almacenamiento que ofrece Android.
- [@ECLIPSE 13] <http://www.eclipse.org/>
Eclipse Foundation→ Nota: Página oficial de la fundación Eclipse en la que se encuentra el software de desarrollo y tutoriales para el buen uso de las herramientas que aquí se brindan.
- [@ECURED 13] http://www.ecured.cu/index.php/Servidores_Web
EcuRed→ Nota: Página que contiene un estudio sobre servidores web; su historia, definiciones, servidores más utilizados entre otra información disponible.
- [@EMOL 08] <http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2008/01/14/288709/micros-oft-trabaja-en-crear-consolas-digitales-para-carros-de-supermercado-inteligentes.html>
Emol. Ciencia y tecnología→ Nota: Diario digital chileno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [@GARTNER 13] <http://www.gartner.com/newsroom/id/1622614>
Gartner→ Nota: Sitio oficial de esta firma. Muestra los servicios que ofrece, resultados de estudios realizados y diferentes eventos propios de la compañía.
- [INELMATIC 13] www.inelmatic.com/web/files/downloads/filtrodekalmann.pdf
Inelmatic→ Esta página pertenece a un grupo de proveedores de dispositivos electrónicos y servicios al consumidor por contrato de automatización, medicina, campo militar y otros de alta tecnología.
- [@JAVA 13] http://www.java.com/en/download/faq/whatis_java.xml
Java→ Nota: Página encargada de la distribución de java como plataforma, en ésta se encuentra información que permite profundizar en el tema.
- [@LGMOBILE 13] <http://www.lg.com/es/telefonos-moviles/lg-E510-Optimus-Hub>
<http://www.lg.com/es/telefonos-moviles/lg-E610-Optimus-L5>
LG Life'sGood→ Página oficial versión española de la marca LG, en donde se encuentra toda la información técnica y comercial de los productos ofrecidos por ellos.
- [@ONBARCODE 13] http://www.onbarcode.com/qr_code/
Onbarcode→ Nota: Onbarcode es un proveedor líder en el mercado de los generadores, controles y componentes de los lectores de código de barras para ASP.NET, Windows Forms, WPF, así como Java, Android e iOS (iPhone, iPad) a través de las principales plataformas de desarrollo empresarial.
- [@PHP 13] <http://www.php.net/>
PHP página oficial→ Nota: En esta página se encuentra toda la información que requiere una persona para aprender el lenguaje PHP; tutoriales, documentación y videos.
- [@PHYTON 13] <http://www.python.org/>
Phyton→ Nota: Página oficial de Phyton, ofrece noticias, descargas, documentación y foros en la comunidad.
- [@QR CODE 10] <http://www.qrcode.com/en/aboutqr.html>
QR Code→ Nota: Página que ofrece información sobre los códigos QR como características, estándares.
- [@RFIDPOINT 07] <http://www.rfidpoint.com/casos-de-exito/gs1-lanzo-el-primer-supermercado-inteligente-de-latinoamerica/>
RFID point; la comunidad de RFID en Latinoamérica→ Nota: Es una comunidad dedicada a tratar temas relacionados con RFID, tales como lanzamientos o casos de éxito de productos que trabajan con este tipo de tecnología.
- [@SANTOTOME 11] <http://santotome.tucorrientes.com/noticia/18954>
Diario digital: Tu corrientes Santo Tomé→ Nota: Diario digital argentino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [@SQL 13] <http://www.sql.org>
Organización SQL→ Nota: Esta página busca construir un recurso que ayude a aquellos que usan o que quieran hacer uso de una base de datos SQL; encontrar los recursos y materiales de referencia que están buscando: un tutorial de SQL, manual, introducción, proveedor de alojamiento SQL entre otras ayudas.
- [@TCLTK 13] <http://www.tcl.tk/>
Tcl-Tk→ Nota: Página oficial para desarrolladores de Tcl, contiene información respecto el lenguaje, ejemplos y una comunidad en la que se realizan foros para permitir aprender de otras personas.
- [@TECHOPEDIA 10] <http://www.techopedia.com/definition/2953/mobile-application-mobile-app>
Techopedia→ Nota: Página web que define conceptos y/o elementos informáticos, además ofrece tutoriales en diversos temas como servidores y bases de datos.
- [@TUDISCOVERY 13] <http://www.tudiscovery.com/imagenes/galleries/historia-de-los-telefonos-celulares/>
Tu Discovery→ Nota: En esta página encontrarás programas de televisión, juegos, videos, foros, aventuras, ciencia, tecnología, crimen, investigación, misterios, mundo natural, gente, carros, historia, experiencia y mucho más.
- [@VISUALBASIC 13] <http://www.vbtutor.net/>
Vbtutor→ Nota: En esta página se encuentran recursos para aprender a programar en el lenguaje de programación Visual Basic.
- [@WIFIPLANET 08] <http://www.wi-fiplanet.com/reviews/article.php/3786056/Review-ZyXEL-NWA-3160.htm>
Wi-fi Planet→ Nota: En esta página se encuentran revisiones en cuanto a la información técnica y comercial de algunos puntos de acceso que se encuentran en el mercado, también se encuentran tutoriales sobre la seguridad y manejo de redes *Wi-fi*.
- [@XATACA 06] <http://www.xataka.com/otros/el-ciber-carrito-entra-en-pruebas>
Xataka: Apasionado por la tecnología→ Nota: Página dedicada a mostrar las noticias principales relacionadas con dispositivos tecnológicos, tales como tablets, ordenadores, celulares entre otros.
- [@ZEROZERO 06] <http://www.zeroonezero.com/glossary/mobile-phone-applications.html>
Dynamic Digital AdvertisingGlossary→ Nota: Maneja vocabulario informático.
- [@ZXINGCODE 13] <https://code.google.com/p/zxing/>
Zxing ("ZebraCrossing")→ Nota: Página en la que se puede encontrar toda la información sobre este proyecto, código, implementaciones y foros.

ANEXOS

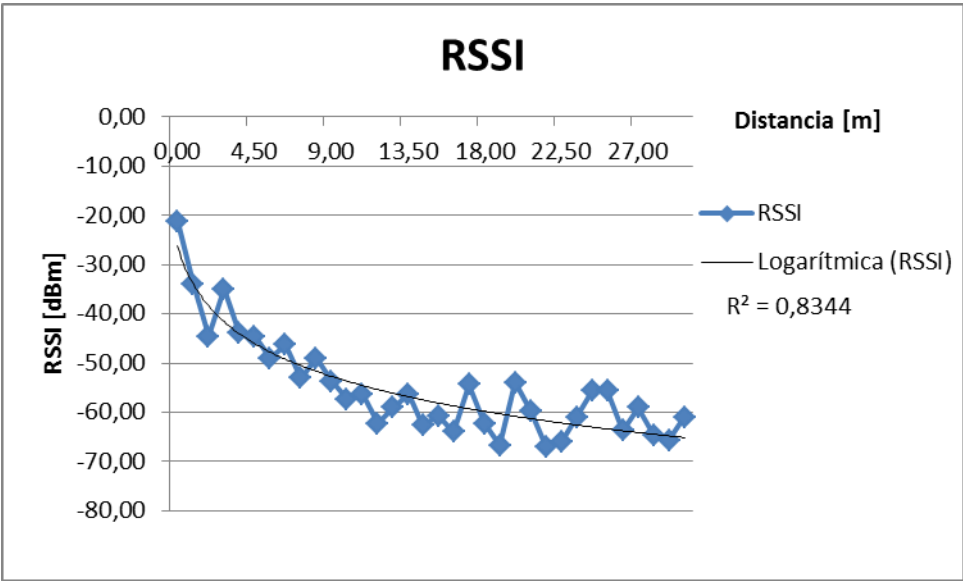
Anexo1. Contenido del CD Anexo

- A. Carpeta artículos o literatura consultada en formato PDF.
- B. Copia de la versión final de este documento en formato PDF.
- C. Presentación utilizada como guía para la sustentación de este trabajo de grado.

Anexo2. Caracterización de los Puntos de Acceso

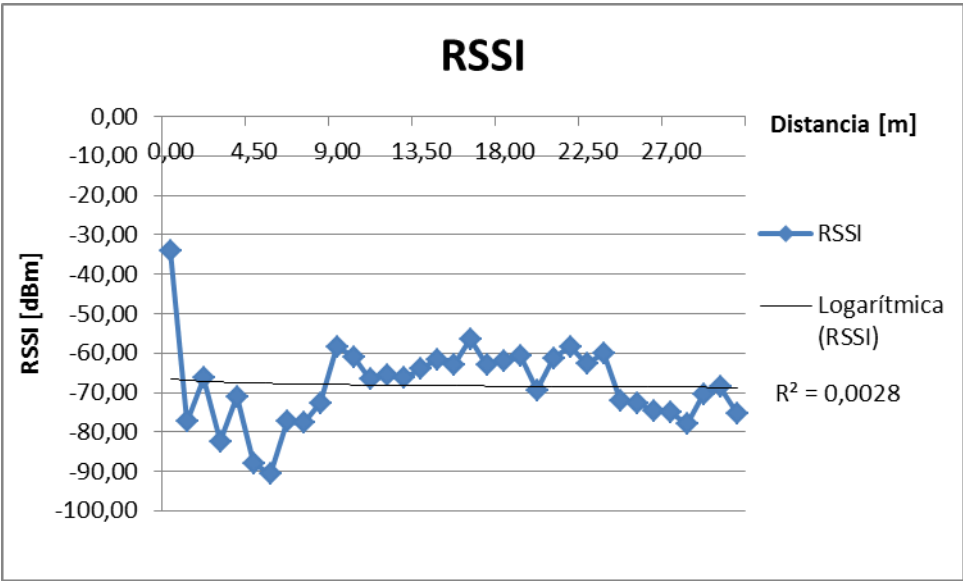
A. Resultados de la caracterización del punto de acceso Cisco DPC 2425, con MAC 00:22:3a:e3:d8:f7

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]		Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]
0	0,00	-21,33		17	15,30	-60,67
1	0,90	-34,00		18	16,20	-64,00
2	1,80	-44,67		19	17,10	-54,33
3	2,70	-35,00		20	18,00	-62,33
4	3,60	-44,00		21	18,90	-66,67
5	4,50	-44,67		22	19,80	-54,00
6	5,40	-49,00		23	20,70	-59,67
7	6,30	-46,33		24	21,60	-67,00
8	7,20	-53,00		25	22,50	-66,00
9	8,10	-49,00		26	23,40	-61,00
10	9,00	-53,67		27	24,30	-55,67
11	9,90	-57,33		28	25,20	-55,67
12	10,80	-56,33		29	26,10	-63,67
13	11,70	-62,33		30	27,00	-59,00
14	12,60	-59,00		31	27,90	-64,67
15	13,50	-56,33		32	28,80	-65,67
16	14,40	-62,67		33	29,70	-61,00



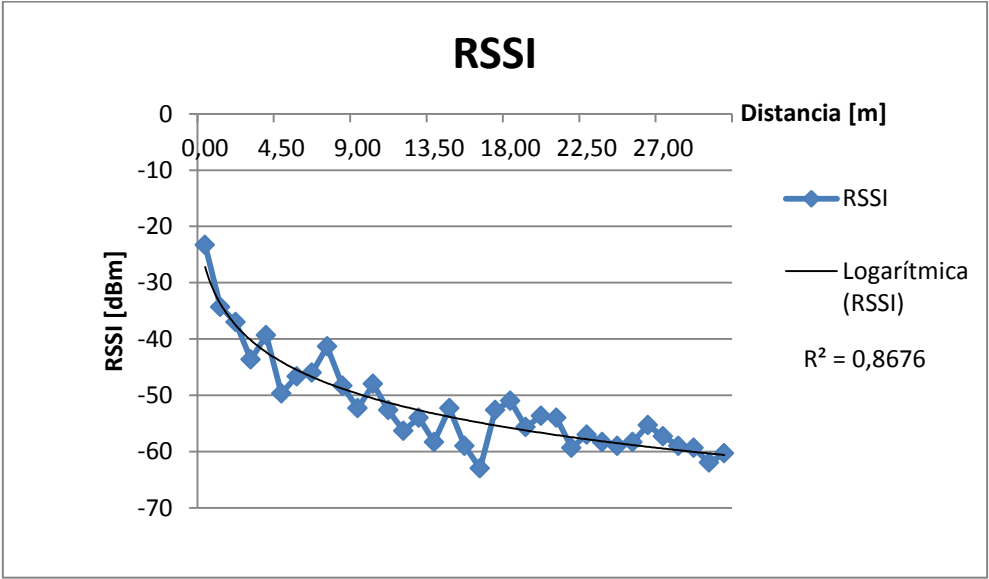
B. Resultados de la caracterización del punto de acceso Linksys WRVS4400 N, con MAC PPIEE 1.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]		Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]
0	0,00	-34,00		18	16,20	-56,33
1	0,90	-77,33		19	17,10	-63,00
2	1,80	-66,33		20	18,00	-62,00
3	2,70	-82,33		21	18,90	-60,67
4	3,60	-71,00		22	19,80	-69,33
5	4,50	-88,00		23	20,70	-61,33
6	5,40	-90,67		24	21,60	-58,33
7	6,30	-77,33		25	22,50	-62,67
8	7,20	-77,67		26	23,40	-60,00
9	8,10	-72,67		27	24,30	-72,00
10	9,00	-58,33		28	25,20	-72,67
11	9,90	-61,00		29	26,10	-74,67
12	10,80	-66,67		30	27,00	-75,00
13	11,70	-65,67		31	27,90	-78,00
14	12,60	-66,33		32	28,80	-70,33
15	13,50	-64,00		33	29,70	-68,67
16	14,40	-61,67		34	30,60	-75,33
17	15,30	-63,00				



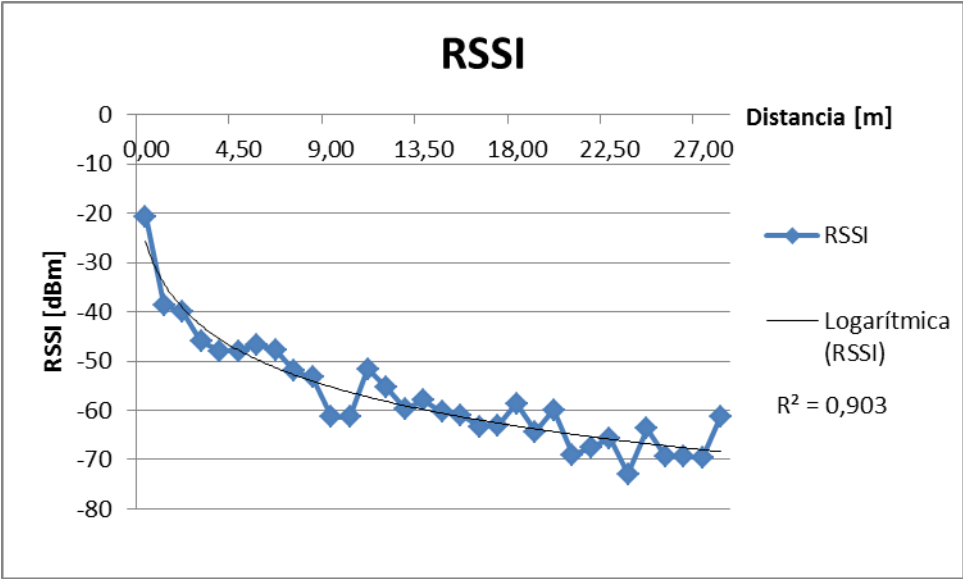
C. Resultados de la caracterización del punto de acceso Linksys WRVS4400 N, con MAC PPIEE 2.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]		Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]
0	0,00	-23		18	16,20	-63
1	0,90	-34		19	17,10	-53
2	1,80	-37		20	18,00	-51
3	2,70	-44		21	18,90	-56
4	3,60	-39		22	19,80	-54
5	4,50	-50		23	20,70	-54
6	5,40	-47		24	21,60	-59
7	6,30	-46		25	22,50	-57
8	7,20	-41		26	23,40	-58
9	8,10	-48		27	24,30	-59
10	9,00	-52		28	25,20	-58
11	9,90	-48		29	26,10	-55
12	10,80	-53		30	27,00	-57
13	11,70	-56		31	27,90	-59
14	12,60	-54		32	28,80	-59
15	13,50	-58		33	29,70	-62
16	14,40	-52		34	30,60	-60
17	15,30	-59				



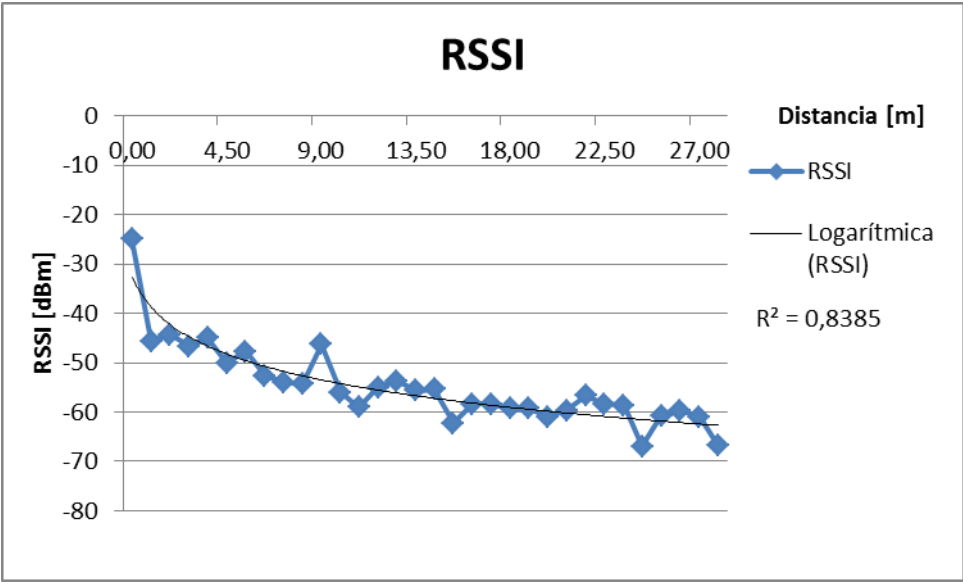
D. Resultados de la caracterización del punto de acceso Zyxel NWA 3160 con MAC 00:19:cb:e5:23:72.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]		Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]
0	0,00	-20,667		16	14,40	-60,333
1	0,90	-38,667		17	15,30	-61,000
2	1,80	-40,000		18	16,20	-63,333
3	2,70	-46,000		19	17,10	-63,000
4	3,60	-48,000		20	18,00	-58,667
5	4,50	-48,000		21	18,90	-64,333
6	5,40	-46,667		22	19,80	-60,000
7	6,30	-47,667		23	20,70	-69,000
8	7,20	-52,000		24	21,60	-67,667
9	8,10	-53,333		25	22,50	-65,667
10	9,00	-61,333		26	23,40	-73,000
11	9,90	-61,333		27	24,30	-63,667
12	10,80	-51,667		28	25,20	-69,333
13	11,70	-55,333		29	26,10	-69,333
14	12,60	-59,667		30	27,00	-69,667
15	13,50	-58,000		31	27,90	-61,333



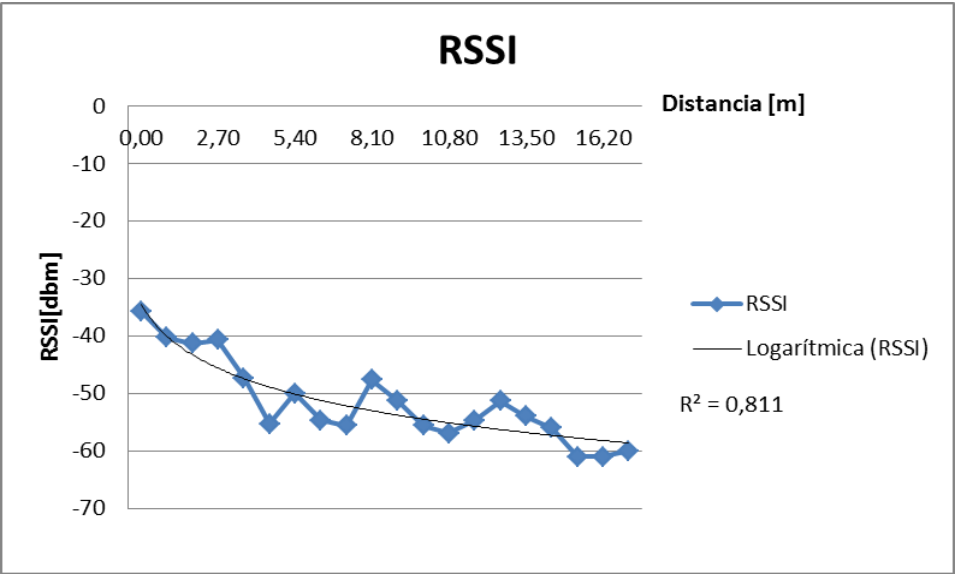
E. Resultados de la caracterización del punto de acceso DlinkDir – 300 con MAC 00:21:91:5f:c6:47.

Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]		Punto	Distancia [m]	RSSI [dBm]
0	0,00	-25,00		16	14,40	-55,33
1	0,90	-45,67		17	15,30	-62,33
2	1,80	-44,33		18	16,20	-58,33
3	2,70	-46,67		19	17,10	-58,33
4	3,60	-45,00		20	18,00	-59,33
5	4,50	-50,00		21	18,90	-59,33
6	5,40	-47,67		22	19,80	-61,00
7	6,30	-52,67		23	20,70	-59,67
8	7,20	-54,00		24	21,60	-56,67
9	8,10	-54,33		25	22,50	-58,33
10	9,00	-46,33		26	23,40	-58,67
11	9,90	-56,00		27	24,30	-67,00
12	10,80	-59,00		28	25,20	-60,67
13	11,70	-55,00		29	26,10	-59,67
14	12,60	-53,67		30	27,00	-61,00
15	13,50	-55,67		31	27,90	-66,67



F. Resultados de la caracterización del punto de acceso DlinkDir – 300 con MAC 00:22:b0:47:56:75.

Punto	Distancia [m]	Rssi [dBm]
0	0,00	-36
1	0,90	-40
2	1,80	-41
3	2,70	-41
4	3,60	-47
5	4,50	-55
6	5,40	-50
7	6,30	-55
8	7,20	-56
9	8,10	-48
10	9,00	-51
11	9,90	-56
12	10,80	-57
13	11,70	-55
14	12,60	-51
15	13,50	-54
16	14,40	-56
17	15,30	-61
18	16,20	-61
19	17,10	-60



Anexo3. Modelo de las bases de datos almacén y UserPpsManager

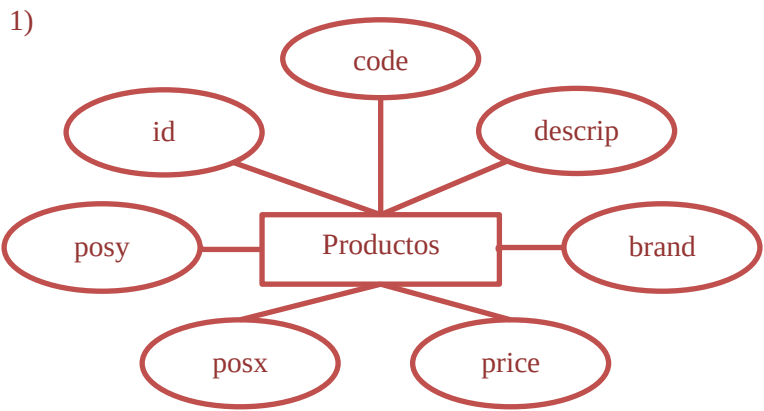
A lo largo de este trabajo se hace énfasis en la base de datos que se encuentra en el servidor web llamada **almacén** y la base de datos que se maneja internamente en la aplicación llamada **UserPpsManager**, además de las diferentes tablas que cada una maneja.

En los siguientes numerales se muestran los diagramas Entidad – Atributo para cada una de las tablas mencionadas.

A. Tablas manejadas en la base de datosalmacén.

La primera tabla corresponde a **productos** y cuenta con siete atributos que se describen a continuación:

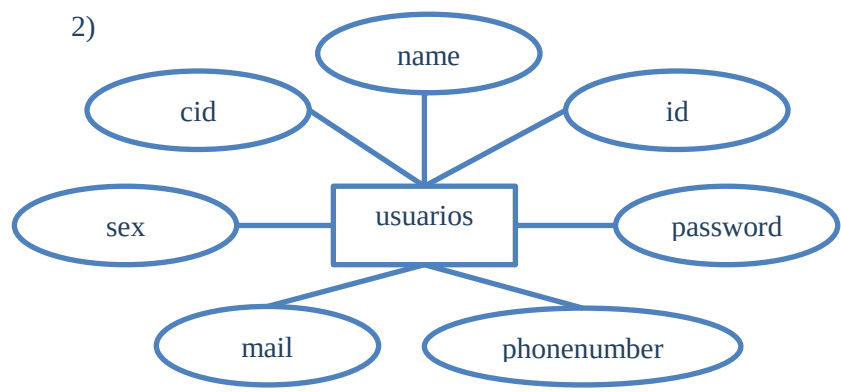
- **Id:** Es la clave primaria de esta tabla.
- **Code:** Almacena todos los valores de códigos QR que se tienen registrados dentro del almacén.
- **Descrip:** Corresponde a la descripción general de los diferentes productos.
- **Brand:** Marca de los productos.
- **Price:** Precio de los productos, es el valor utilizado por la clase Registro para calcular la cuenta total del cliente.
- **Posx:** Posición en el eje x, este valor es utilizado para ubicar el producto en el eje x.
- **Posy:** Posición en el eje y, este valor es utilizado para ubicar el producto en el eje y.



La segunda tabla se llama **usuarios** y cuenta con siete atributos que se describen a continuación:

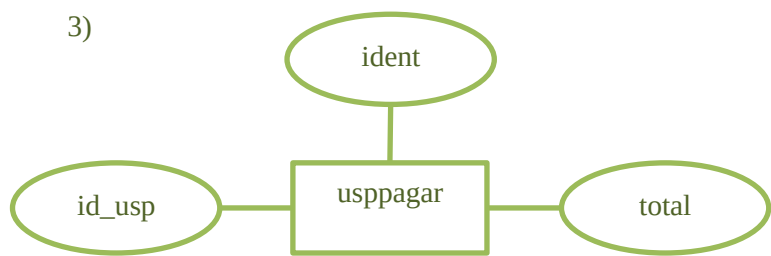
- **cid:** Es la clave primaria de esta tabla.
- **name:** Almacena el nombre del usuario que realiza su registro.
- **id:** Documento de identidad asociado al nombre del usuario registrado.
- **password:** Contraseña asociada al usuario.
- **phonenumber:** Número telefónico del usuario.
- **mail:** Correo electrónico asociado al usuario registrado.
- **sex:** Sexo del usuario.

Los atributos **name** e **id** se relacionan directamente con las tablas **usppagar** y **UserPps** explicadas más adelante.



La tercera tabla se llama **Usppagar** y cuenta con tres atributos que se describen a continuación:

- **id_usp:** Es la clave primaria de esta tabla.
- **ident:** Corresponde al documento de identidad de la persona que ha finalizado su compra y va a realizar el pago de su cuenta. Este dato se obtiene de la tabla **UserPps**.
- **total:** Corresponde al valor de la cuenta del usuario. Este dato se obtiene de la tabla **UserPps**.

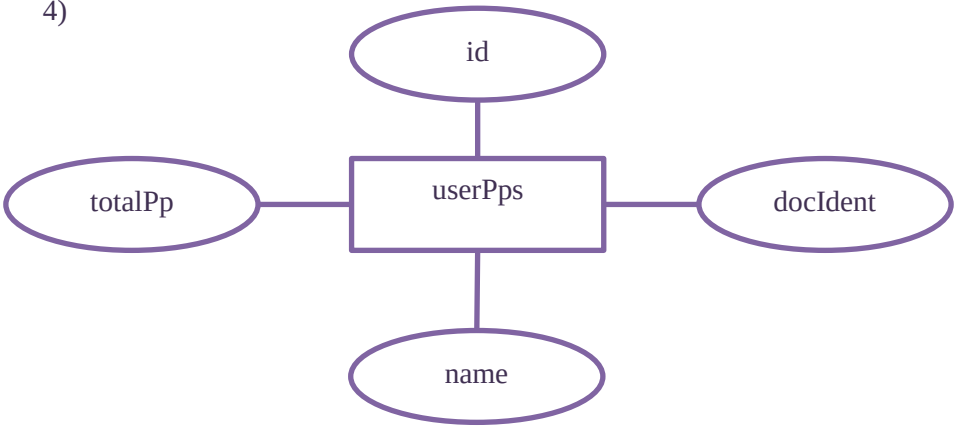


B. Tabla manejada en la base de datos UserPpsManager

La tabla manejada en esta base de datos se llama **UserPps** y cuenta con cuatro atributos que se describen a continuación:

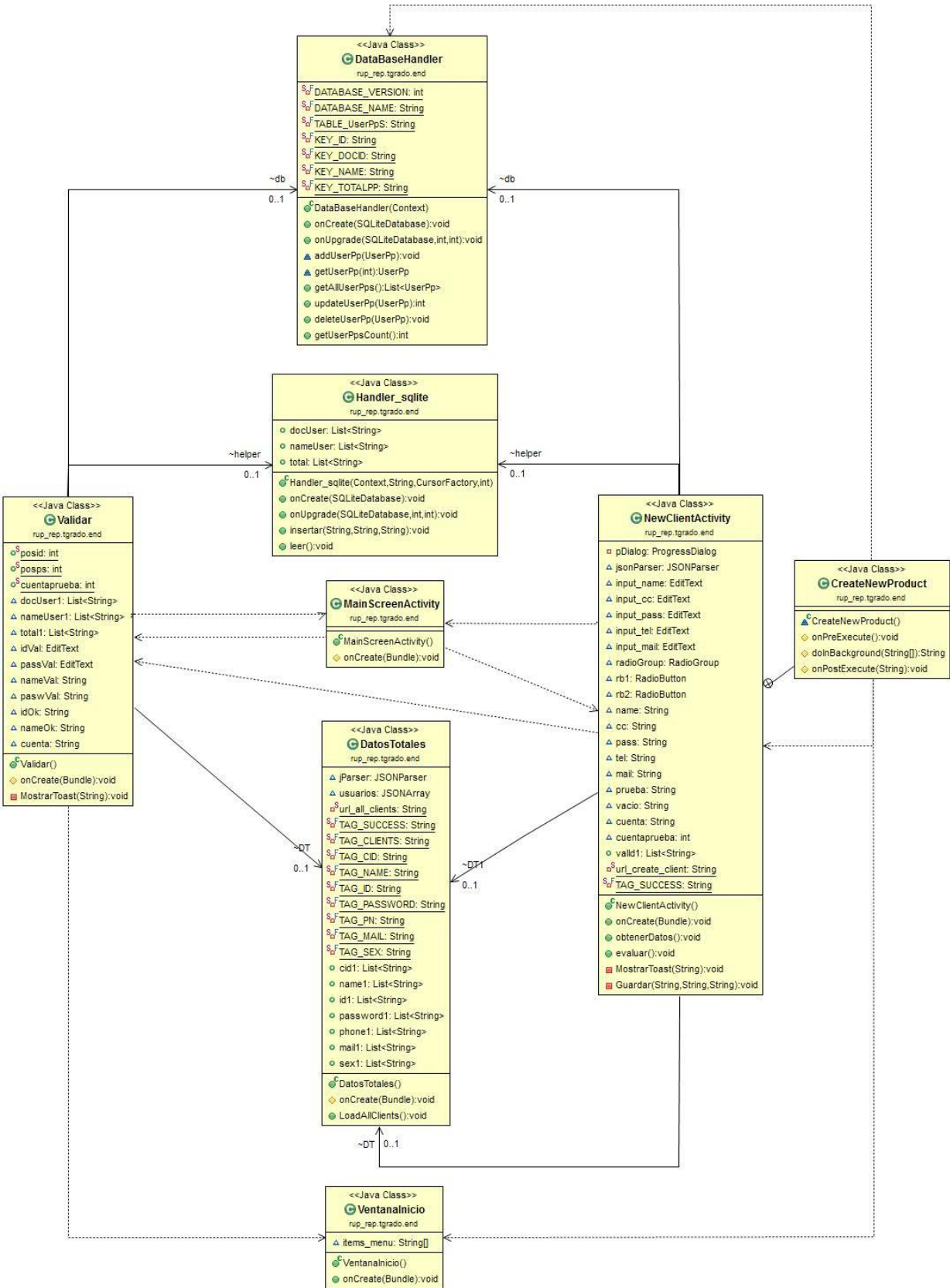
- **id:** Es la clave primaria de esta tabla.
- **docIdent:** Corresponde al documento de identidad de la persona que ha iniciado sesión dentro del almacén, este valor se obtiene de la tabla **usuarios** de la base de datos **almacen**, desde el momento en el que éste valida sus datos.
- **name:** Corresponde al nombre de la persona que ha iniciado sesión dentro del almacén, este valor se obtiene de la tabla **usuarios** de la base de datos **almacen**, desde el momento en el que éste valida sus datos.
- **totalPp:** Este atributo corresponde a la cuenta del usuario, cada vez que éste registra un nuevo producto se actualiza y al final este valor se envía a la tabla **usppagar** de la base de datos **almacen**.

4)

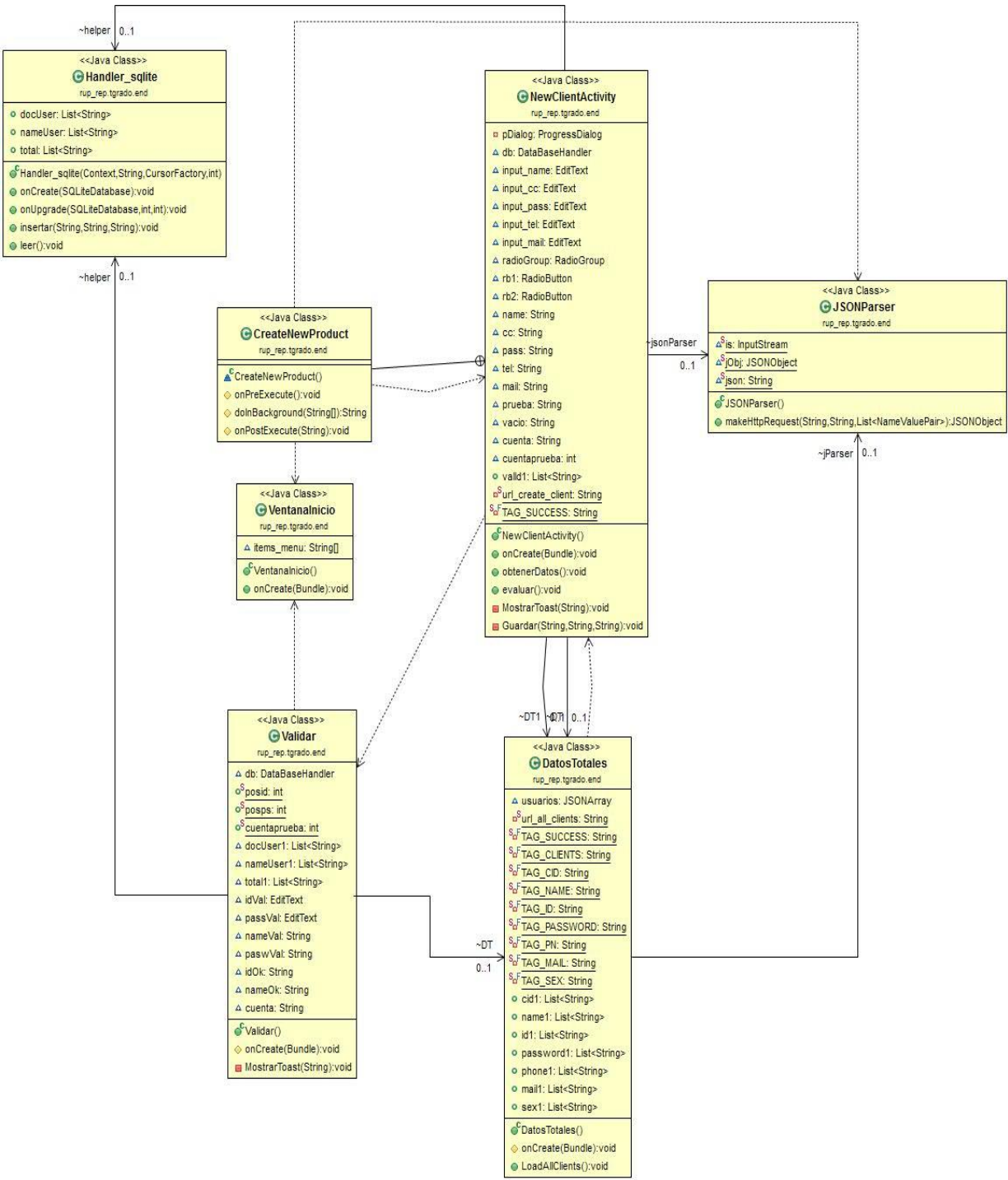


Anexo4. Diagramas de clases de la aplicación desarrollada.

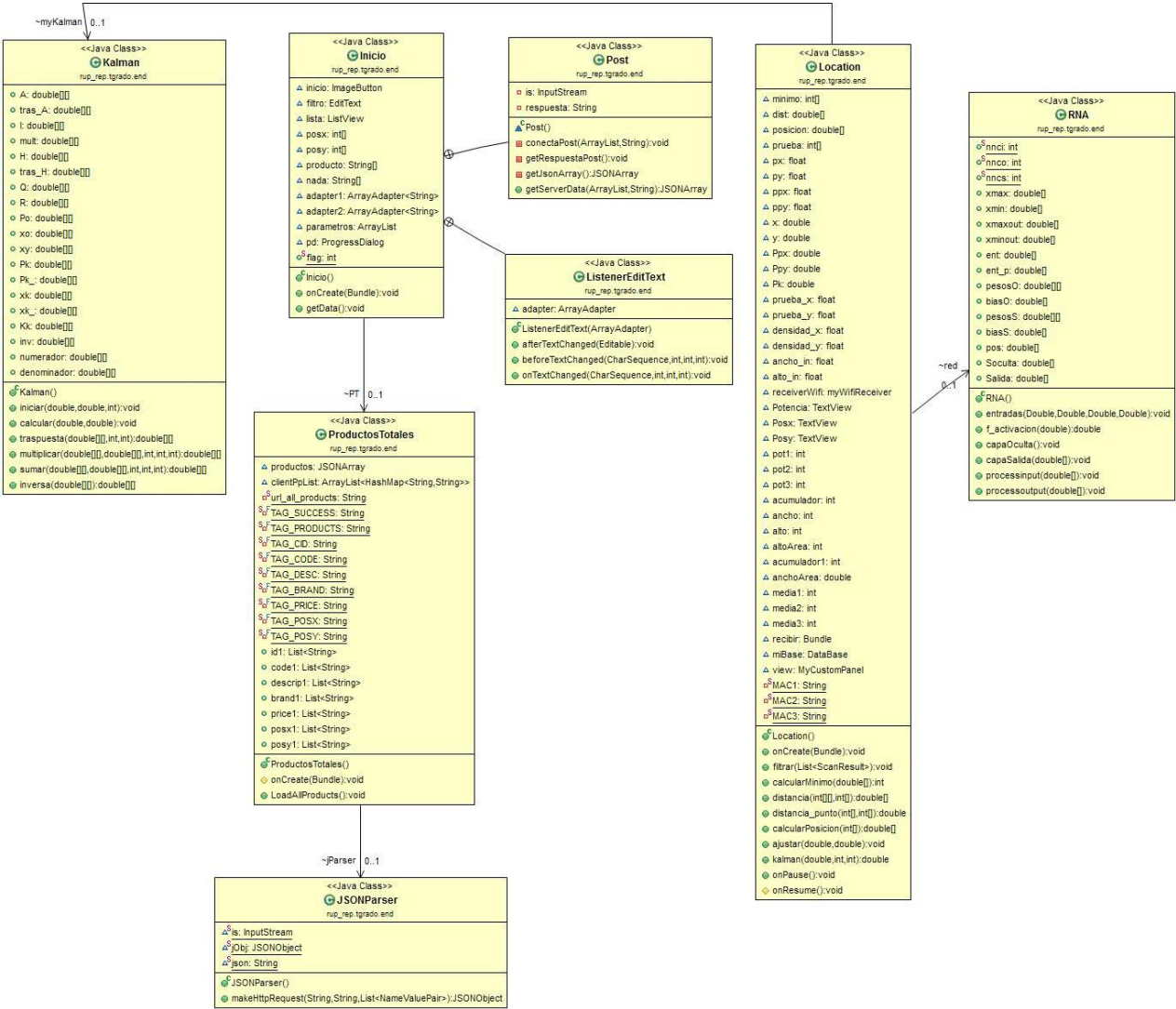
A. Diagrama de clases de la aplicación cuando es ejecutada por primera vez.



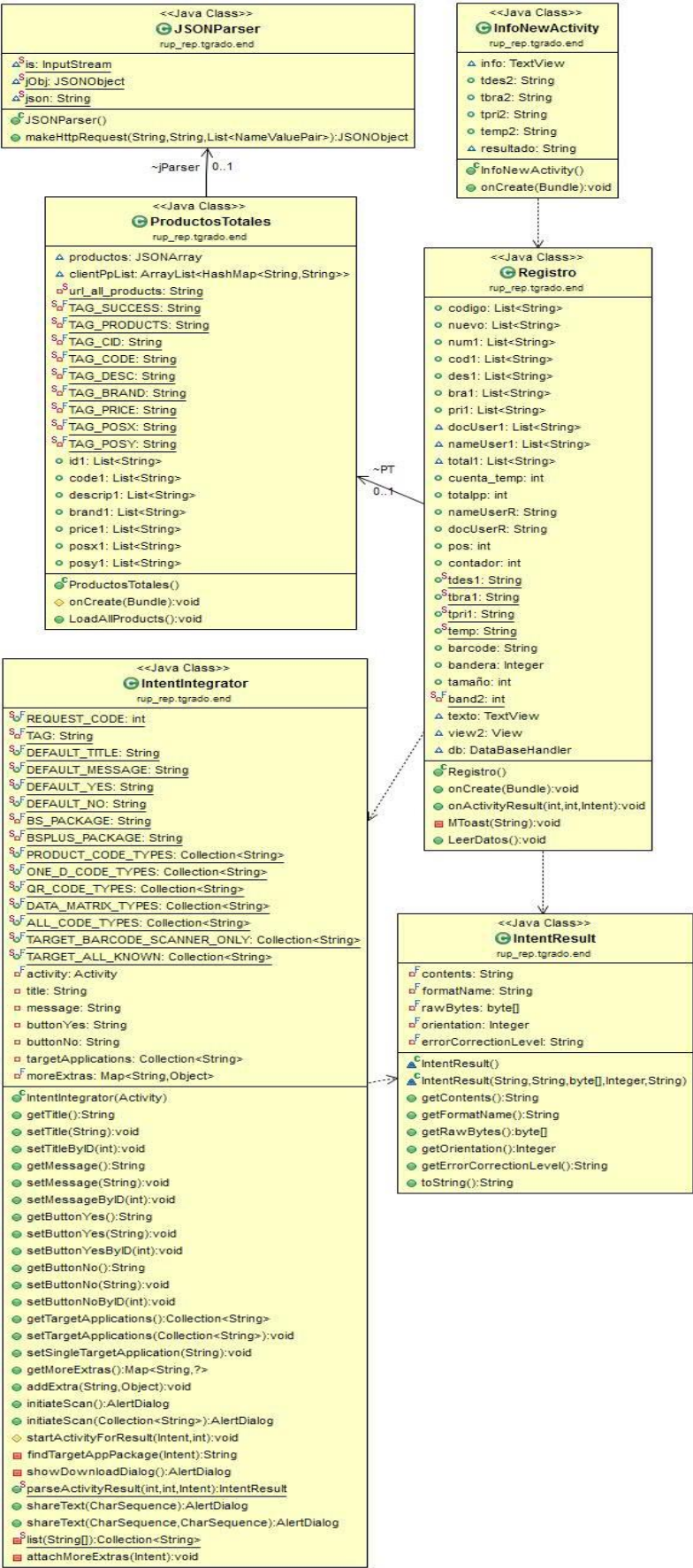
B. Diagrama de clases del subsistema de registro e identificación de usuarios.



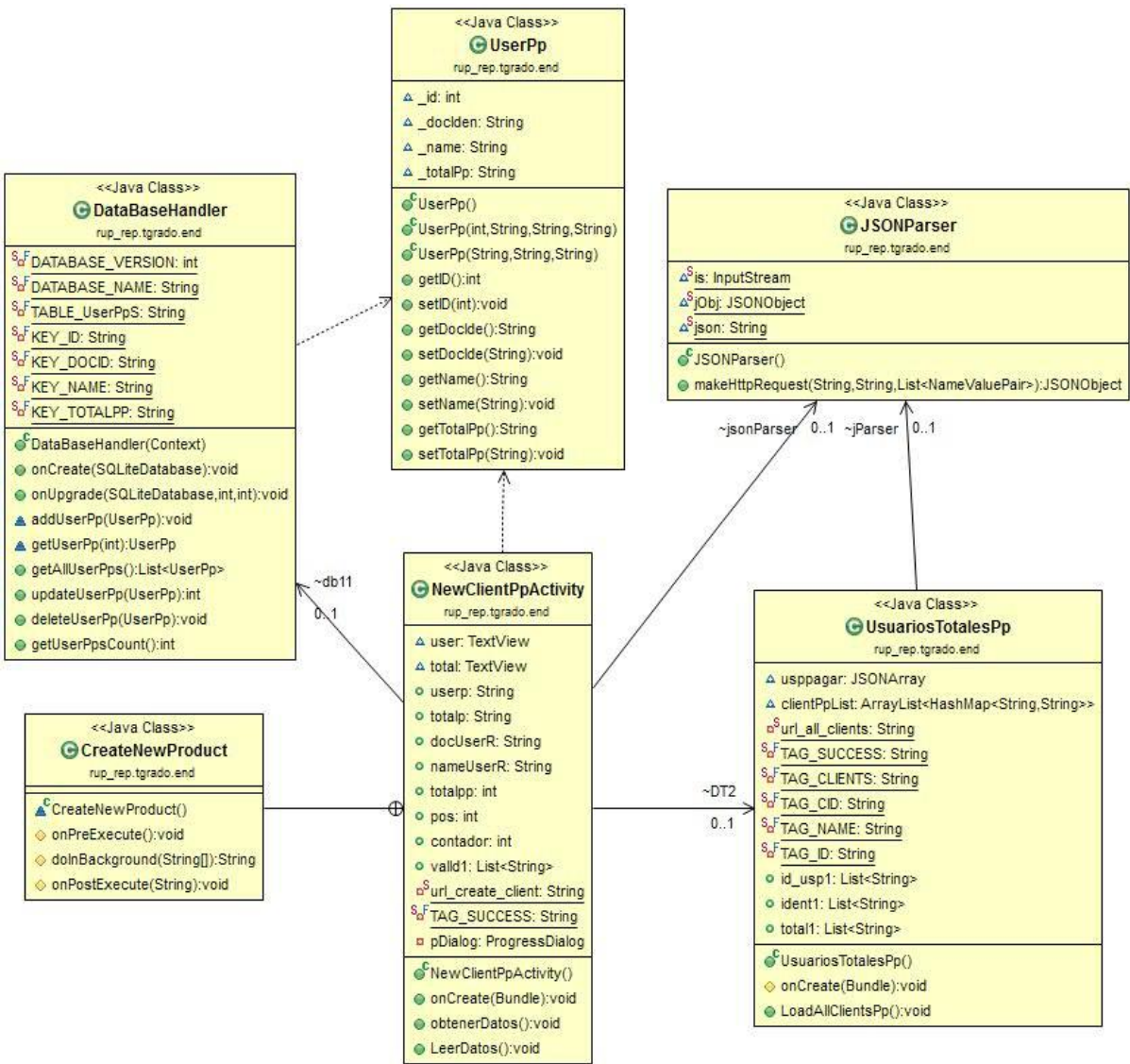
C. Diagrama de clases del subsistema de ubicación.



D. Diagrama de clases del subsistema de registro de productos.



E. Diagrama de clases del subsistema de pago de productos.



Anexo5. Resultados complementarios de las pruebas realizadas en la validación del subsistema de ubicación

F. Validación 1 realizada con cuatro puntos de acceso y los métodos **K-vecinos más próximos** y **Redes Neuronales**.

Error obtenido	K-vecinos más próximos		K-vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	21,15	19,03	10,10	9,09
Mínimo	0,33	0,30	0,33	0,30
Promedio	4,20	3,78	3,31	2,98
Desviación	2,89	2,60	1,58	1,42
Error obtenido	MLP		MLP - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	33,29	29,96	26,48	23,83
Mínimo	0,14	0,12	0,41	0,37
Promedio	10,34	9,31	9,70	8,73
Desviación	6,99	6,29	6,03	5,43

G. Validación 2 realizada con cuatro puntos de acceso y los métodos **K-vecinos más próximos** y **Redes Neuronales**.

Error obtenido	K-vecinos más próximos		K-Vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	18,00	16,20	8,14	7,33
Mínimo	0,47	0,42	0,59	0,53
Promedio	5,00	4,50	3,84	3,46
Desviación	3,67	3,31	1,74	1,56
Error obtenido	MLP		MLP - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	17,10	15,39	13,04	11,73
Mínimo	1,23	1,11	0,20	0,18
Promedio	7,31	6,58	7,80	7,02
Desviación	4,27	3,84	3,17	2,85

H. Validación realizada con cinco puntos de acceso y los métodos **K-vecinos más próximos** y **Redes Neuronales**.

Error obtenido	K-vecinos más próximos		K-vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	10,02	9,02	7,09	6,38
Mínimo	0,85	0,76	1,58	1,42
Promedio	3,51	3,16	3,39	3,05
Desviación	2,71	2,44	2,44	2,19
Error obtenido	RNA		RNA - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	14,49	13,04	12,98	11,68
Mínimo	0,20	0,18	0,38	0,34
Promedio	4,36	3,92	4,00	3,60
Desviación	2,99	2,69	2,76	2,48

I. Validación realizada con tres puntos de acceso y los métodos **K-vecinos más próximos** y **Redes Neuronales**.

Error obtenido	K-Vecinos más próximos		K-Vecinos más próximos - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	17,39	15,65	7,74	6,97
Mínimo	0,53	0,47	0,46	0,42
Promedio	4,75	4,27	3,64	3,27
Desviación	3,00	2,70	1,54	1,39
Error obtenido	RNA		RNA - Kalman	
	[Puntos]	[metros]	[Puntos]	[metros]
Máximo	17,03	15,33	7,17	6,45
Mínimo	0,36	0,32	0,21	0,19
Promedio	4,76	4,28	3,65	3,29
Desviación	2,94	2,65	1,47	1,32