

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Diseño de un sistema de posicionamiento para interiores, desarrollado en el sistema operativo Android, basado en señales Wi-Fi, con fines turísticos realizado en el edificio Maxwell de la USFQ.

Luis Alfredo Ponce Guevara  
Edison Ramiro Taco Lasso

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones

Quito  
Noviembre de 2011

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Ciencias e Ingeniería Politécnico**

**HOJA DE APROBACIÓN TESIS**

**Diseño de un sistema de posicionamiento para interiores, desarrollado en el sistema operativo Android, basado en señales Wi-Fi, con fines turísticos realizado en el edificio Maxwell de la USFQ.**

**Luis Alfredo Ponce Guevara  
Edison Ramiro Taco Lasso**

Carlos Loza, MsC  
Director de la Tesis .....

Omar Aguirre, MsC  
Miembro del Comité de Tesis .....

Fernando Romo, PhD  
Miembro del Comité de Tesis .....

Luis Miguel Prócel, MsC  
Miembro del Comité de Tesis .....

© Derechos de autor  
Luis Alfredo Ponce Guevara  
Edison Ramiro Taco Lasso  
2011

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y desarrollar dos aplicaciones basadas en la plataforma Android que sean capaces de identificar la posición de un usuario en el tercer piso del edificio Maxwell en la Universidad San Francisco de Quito.

El primer método llamado Huella, escanea las potencias recibidas en cada punto de la zona a cubrir, para posteriormente comparar la potencia que le llega al dispositivo con cada una de las muestras almacenadas previamente en una base de datos, y a partir de esto determinar la posición del usuario

La otra aplicación, llamada Matriz H utiliza un modelo de pérdidas de trayectoria para determinar la distancia que existe entre el *router* y el dispositivo móvil, llamada pseudorange. A partir de este resultado y con el algoritmo usado en el sistema GPS, llamado Matriz H, se crea una matriz con coeficientes que dependen de la ubicación del *router* y del usuario dando una ponderación para cada pseudorange y a partir de este resultado se determina el desplazamiento del usuario a desde su última posición.

Se realizaron varias pruebas para cada uno de los algoritmos como son: error en la distancia calculada en un entorno ideal, con movimiento y con interferencia.

## ABSTRACT

This project aims to design and develop two applications based on the Android platform to be able to identify the position of a user on the third floor of Maxwell building at the University San Francisco de Quito.

The first method called *Footprint* scans the received power in each point of the area to cover, these samples are stored on the device, then the system compares the previous powers with the new ones that scan the device, to determine the position of the user.

The other application, called *Matrix H* uses a path loss model to determine the distance between the router and the mobile device, called the pseudorange. From this result and the algorithm used in GPS system, called matrix H, the system determines the position of the user.

Several tests were conducted, for each of the algorithms used in this project, such as: error in the calculated distance in an ideal environment, with movement and interference.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 SISTEMAS USADOS PARA LOCALIZACIÓN</b> .....	<b>3</b>
3.1.1 RFID (Radio Frequency IDendification).....	3
3.1.2 Infra-Rojo.....	6
3.1.3 GPS (Global Positioning System) .....	8
3.1.4 Localización por celdas de telefonía Móvil.....	10
3.1.5 Bluetooth (802.15).....	11
3.1.6 Wifi (802.11) .....	13
3.1.7 WiMAX (802.16) .....	15
<b>3.2 POSICIONAMIENTO MEDIANTE GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) ....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN USADAS CON SISTEMAS INALÁMBRICOS.</b>	<b>23</b>
3.3.1 RSSI (Received Signal Strength Indicator) .....	24
3.3.2 TOA (Time Of Arrival) .....	25
3.3.3 AOA (Angle Of Arrival) .....	27
<b>3.4 MODELOS DE PERDIDA DE TRAYECTORIA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5 SISTEMA OPERATIVO ANDROID</b> .....	<b>34</b>
3.5.1 Programación en plataformas Android.....	38
3.5.2 Java en dispositivos móviles.....	46
3.5.3 Programación orientada a la navegación en Android.....	49
<b>3.6 SITUACIÓN DEL TURISMO EN EL PAÍS</b> .....	<b>52</b>
<b>4. DESARROLLO DEL SISTEMA</b> .....	<b>54</b>
<b>4.1 DISEÑO DEL SISTEMA</b> .....	<b>64</b>
4.1.1 Método de la Huella.....	65
4.1.2 Método Matriz H.....	67
<b>4.2 IMPLEMENTACIÓN</b> .....	<b>88</b>
4.2.1 Programación en Android método Huella.....	90
4.2.2 Programación en Android método Matriz H. ....	93
<b>5. PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	<b>97</b>
<b>5.1 PRUEBAS DE DISPERSIÓN DE LA POTENCIA</b> .....	<b>97</b>
<b>5.2 PRUEBAS DE VELOCIDAD DE RESPUESTA DEL DISPOSITIVO MÓVIL ....</b>	<b>102</b>
<b>5.3 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN EN UN ENTORNO IDEAL</b> .....	<b>103</b>
5.3.1 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN MÉTODO HUELLA .....	103
5.3.2 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN MÉTODO MATRIZ H.....	107
<b>5.4 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PRESENCIA DE PERSONAS</b> .....	<b>109</b>
5.4.1 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PERSONAS, MÉTODO HUELLA .....	109
5.4.2 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PERSONAS, MÉTODO MATRIZ H.....	111
<b>5.5 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN VELOCIDAD CONSTANTE DEL USUARIO</b> .....	<b>112</b>
5.5.1 Pruebas de error de posición a velocidad constante método Huella .....	112
5.5.2 Pruebas de error de posición a velocidad constante método Matriz H.....	114
<b>5.6 RESUMEN DE PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	<b>115</b>

5.6.1 Comparación con trabajos similares .....	122
6. CONCLUSIONES .....	125
7. RECOMENDACIONES .....	126
Bibliografía .....	127
<i>INDICE DE FIGURAS:</i> .....	130
ANEXOS .....	132
ANEXO 1A .....	132
ANEXO 1B .....	133
ANEXO 1C.....	135
ANEXO 1D .....	136
ANEXO 1E.....	139
ANEXO 2A .....	143
ANEXO 3A .....	144
ANEXO 3B .....	153
ANEXO 3C.....	153
ANEXO 3D .....	153
ANEXO 4A .....	154
ANEXO 4B .....	160
ANEXO 4C.....	160
ANEXO 4D .....	161
ANEXO 4E.....	161
ANEXO 4F.....	162
ANEXO 5A .....	163
ANEXO 5B .....	165
ANEXO 5C.....	167
ANEXO 5D .....	169
ANEXO 5E.....	171
ANEXO 5F.....	173
ANEXO 5F.....	175





## **1. INTRODUCCIÓN**

Desde hace 17 años determinar la posición de un objeto, persona o vehículo para uso no militar, es posible debido al sistema de posicionamiento global (GPS), el cual funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre la tierra, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie, alcanzando precisiones de hasta 2.5 m en el plano horizontal. En la actualidad, el campo de los teléfonos móviles ha tenido un gran desarrollo, es así que la mayoría de teléfonos inteligentes lanzados al mercado vienen dotados de sistema GPS. Aprovechando el gran desarrollo de aplicaciones para teléfonos móviles, y el hecho de que la mayoría de turistas que ingresan al país poseen móviles con sistema operativo Android, este proyecto tiene como objetivo desarrollar dos sistemas basados en la plataforma Android que permitan determinar la posición de un usuario en el tercer piso del edificio Maxwell, usando una red Wi-Fi, los cuales dependiendo de la posición, activen la información pertinente, resaltando por medio de audio guías lugares importantes dependiendo de la ubicación del usuario. Una desventaja del posicionamiento mediante GPS es que se necesita línea de vista con al menos cuatro satélites para poder calcular la posición, es decir está limitado a funcionar tan solo en espacios abiertos. Debido a este

inconveniente, el objetivo de este proyecto de tesis es la determinación de posición en lugares cerrados por medio de una red 802.11 (Wi-Fi), la cual es una tecnología que ha empezado a expandirse rápidamente, permitiendo a los consumidores establecer sus propias redes inalámbricas. Para determinar la posición de un usuario móvil en lugares cerrados, se utilizan varios métodos. Algunos utilizan propiedades físicas de la señal, mientras otros utilizan el tiempo que le toma a la señal alcanzar su destino.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar dos sistemas basados en la plataforma Android que permitan determinar la posición de un usuario en lugares cerrados usando una red Wi-Fi, los cuales dependiendo de la posición, activen la información pertinente

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar dos modelos de posicionamiento con redes Wi-Fi adecuado para las necesidades del proyecto.
- Investigar sobre programación en sistemas operativos Android.
- Crear software de prueba de posicionamiento a través de redes Wi-Fi, basado en la plataforma Android.

- Realizar pruebas en edificio Maxwell de la Universidad San Francisco y recopilar datos relevantes obtenidos de dichas pruebas.
- Realizar correcciones al software de prueba y complementarlo con una audioguía.
- Realizar pruebas de rendimiento en el celular.
- Comparar los dos sistemas y analizarlos cualitativa y cuantitativamente.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 SISTEMAS USADOS PARA LOCALIZACIÓN**

“Un sistema de seguimiento y localización consiste básicamente en la combinación de las tecnologías de posicionamiento, para la localización geográfica de las unidades móviles, un medio de comunicación para transmitir y recibir información entre las unidades móviles y el centro de control, y finalmente un software con capacidad de procesamiento de cartografía.” (Carcavilla)

##### **3.1.1 RFID (Radio Frequency Identification)**

RFID es una tecnología ampliamente usada para identificación y rastreo electrónico de personas y objetos, usado frecuentemente en interiores. Las redes RFID están compuestas por tres partes: etiqueta de radiofrecuencia, lector de etiquetas RFID y un servidor con una base de datos

con la información de cada etiqueta. Como se representa en la Figura 1.

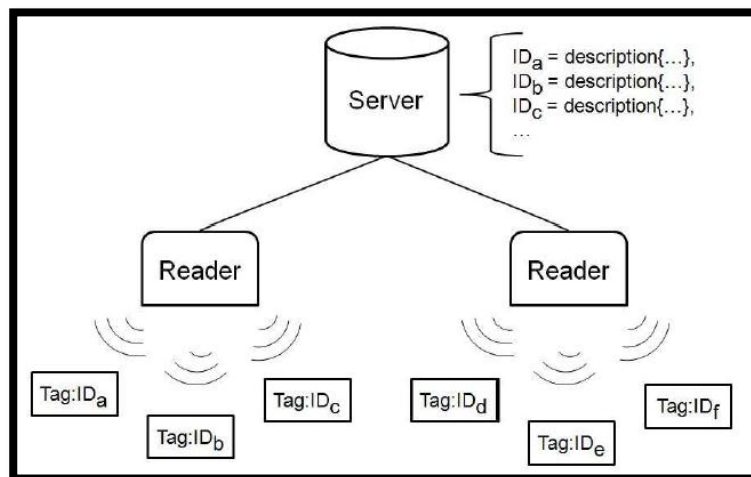


Figura 1: Arquitectura de un sistema clásico RFID

Todas las etiquetas de RFID usan energía de radio frecuencia para comunicarse con los lectores, existen tres métodos de alimentación que son: activa, pasiva y semipasiva. En el método activo la etiqueta cuenta con una batería incrustada, la cual continuamente alimenta su circuito de comunicación RF, con esto el lector puede transmitir señales de baja potencia y la etiqueta puede responder con señales de alto nivel; una etiqueta activa puede contar con funcionalidades adicionales como memorias y sensores. (Bouet y dos Santos) Las etiquetas pasivas no cuentan con una fuente de energía interna, la antena del lector genera un campo magnético el cual induce un voltaje en una bobina del circuito de la etiqueta con el cual es alimentado y este refleja la señal recibida para establecer

la comunicación con el lector (Hallberg y Nilson), este tipo de etiquetas son de menor tamaño y costo que las activas, pero tienen funcionalidades muy limitadas. El último tipo de etiquetas RFID son las semipasivas, estas se comunican con el lector de igual manera que las pasivas pero contienen una batería interna que constantemente alimenta su circuito y demás funcionalidades.

Los lectores de RFID cuentan con dos interfaces, la una para comunicarse con las etiquetas en el área de cobertura del lector, y la segunda para comunicarse con el servidor generalmente por medio de IEEE 802.11 o 802.3. (Bouet y dos Santos)

El rango de los sistemas RFID varía dependiendo de la funcionalidad para la que fue diseñado, este llega a distancias de hasta 20m, la diferencia es causada por diferente uso de potencia y de frecuencia. No existe un estándar de frecuencias para RFID sin embargo las más usadas son: menores a 135 kHz, 400 a 1000 MHz en UHF y 2450 MHz en Microondas.

El uso de RFID dentro del campo de posicionamiento para interiores, no ha sido muy desarrollado debido al alto costo de implementación que este representa; un ejemplo en el cual usan RFID para un sistema de localización es "cricket", un proyecto desarrollado por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) el cual alcanzó una precisión de hasta 2 cm.

(Díaz y Ambrona). El posicionamiento de RFID puede ser explicado de la siguiente manera: Las etiquetas de RFID deben ser instaladas en el camino de forma que maximicen el área de cobertura; para una buena precisión en el posicionamiento es necesario contar una extensa base de datos de la localización de cada etiqueta instalada y el objeto a ser localizado o rastreado debe contar con un lector RFID. (Hae, Sibum y Heejae)

### **3.1.2 Infra-Rojo**

Las redes de infrarrojos permiten la comunicación entre dos nodos usando una serie de LEDs (Diodos emisores de luz) para ello, el protocolo más usado está dado por la IrDA (Infrared Data Association) el cual era comúnmente usado en dispositivos móviles para comunicaciones de cortas distancias punto a punto. La tecnología del IrDA consume muy poca energía debido a que usa una técnica llamada "sniffing" la cual consiste en mantener a los equipos en modo de espera durante dos o tres segundos hasta que establezca una comunicación.

Debido a que el infrarrojo consiste en la comunicación a través de la luz, existen varias limitaciones en cuanto al rango y al ángulo en comparación con otros sistemas. El rango es por lo menos de un metro y en algunos casos de hasta dos metros, también existe una versión de menor

potencia en donde el rango típico es de veinte a treinta centímetros, por el momento el rango es muy corto sin embargo distancias de hasta 10 metros están en desarrollo. Con respecto al ángulo el transmisor y receptor tienen bastantes limitaciones, llegan a tener un máximo de treinta grados de apertura en el transmisor y quince grados en el receptor. La capa física del IrDA está dividida en tres tasas de datos que son de 2.4 kbps a 115.2 kbps, 1.552 Mbps y 4 Mbps. Un factor que puede interferir con la capa física del IrDA es la luz de fondo. Sin embargo una ventaja de este tipo de comunicación es la ausencia de interferencia electromagnética (Hallberg y Nilson)

Por lo general un sistema de posicionamiento basado en Infra-rojo no utiliza sólo esta tecnología, debido a las limitaciones antes mencionadas, por lo tanto se realizan sistemas híbridos los cuales utilizan Infra-rojo con radiofrecuencia

Debido a los varios inconvenientes discutidos anteriormente como el poco alcance y la necesidad de tener línea de vista para establecer una comunicación obliga a que esta tecnología no sea viable por sí sola para el posicionamiento de objetos por la gran cantidad de sensores que serían necesarios. (Díaz y Ambrona)

### **3.1.3 GPS (Global Positioning System)**

Desde hace varios siglos el ser humano se ha interesado en conocer su posición geográfica dentro de la tierra. Durante este tiempo han existido diferentes técnicas de navegación que han ayudado a la transportación aérea y marítima tales como la brújula, radares, satélites, constelaciones etc. Los sistemas de navegación basados en satélites empezaron a comienzos de los años 70, antes de GPS existieron tres sistemas: U.S. Navy Navigation Satellite System, U.S. Navy's Timation y U.S. Air Force Project 621B. El programa GPS fue aprobado en Diciembre de 1973 y su primer satélite fue lanzado en 1978, para agosto de 1993 GPS ya contaba con 24 satélites en órbita y en Febrero de 1994 la agencia federal de aviación declaró a AGPS lista para su uso en el espacio aéreo. El sistema GPS consta de tres partes fundamentales que son: SS (Space Segment), CS (Control Segment) y US (User Segment)

Control Segment: Basicamente este segmento mantiene la integridad tanto de los satélites como de los datos que ellos transmiten; el Segmento de Control Master se encuentra ubicado en la base aérea Falcon en Colorado y es el nodo central de control de los satélites 24 horas al día, 7 días a la semana y 365 días del año. Los datos del estado de los satélites son enviados constantemente a esta estación para su control y monitoreo.



Space Segment: está compuesto de la constelación 24 satélites divididos en 6 órbitas, incluyendo unidades operacionales de respaldo e inoperables. Cada órbita tiene un ángulo de  $55^\circ$  con respecto a la línea equinoccial, entre cada órbita existen  $60^\circ$  de separación y el radio de órbita de los satélites de 26560 Km y rota 2 veces a la tierra en un día sideral. La energía eléctrica que requieren los satélites para su funcionamiento al adquieren a través de 2 paneles solares ubicados a sus costados

User Segment: se refiere simplemente a todos los usuarios finales, los cuales han adquirido cualquier tipo de receptor ya sea comercial, profesional o militar. El sistema puede ser utilizado sin temor ya que el cálculo de las coordenadas en donde se encuentra el usuario es realizado totalmente por el receptor por lo que la posición no será difundida o conocida por otro usuario o sistema. En el sistema GPS para civiles se puede llegar a obtener precisión de hasta 15 mts; mientras que receptores militares pueden llegar a ofrecer precisión de hasta 20 centímetros. (Tsui)

Existen otros sistemas de posicionamiento global que están siendo desarrollados, como el sistema Galileo en la Unión Europea y GLONASS en Rusia, los cuales son compatibles con GPS. (Xu)

### **3.1.4 Localización por celdas de telefonía Móvil**

Actualmente existen tres tecnologías dominantes en el mundo que son: Interim Standard 136 (IS-136), Interim Standard 95 (IS-95) y GSM. El IS-136 es un sistema de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), que permite el acceso simultáneo a un canal por parte de varios usuarios organizados en distintas ranuras de tiempo. El IS-95 es un sistema de acceso Múltiple por División de Código (CDMA) en el cual los usuarios acceden a un canal compartiendo la misma frecuencia pero con diferentes códigos permitiendo un mejor uso del espectro. La tecnología GSM, usada masivamente en el Ecuador, se basa en la conmutación de circuitos de alta velocidad para la transmisión de voz combinando ranuras de tiempo para cada canal.

Las técnicas de posicionamiento en la telefonía celular pueden ser basadas en la red o en la estación base. Las técnicas basadas en la red son similares a las técnicas usadas por la norma 802.11; las cuales se estudiarán con mayor detenimiento en el siguiente capítulo.

Existen tres técnicas principales para posicionamiento basadas en la estación móvil: la primera es la diferencia observada de tiempo (E-OTD, Enhanced Observed Time Difference), este método calcula la posición a partir del tiempo de ida y arribo, llamada RTT (Round Trip Time), el cual se obtiene a partir del TOA (Time of Arrival) de tres o

más estaciones base, el dispositivo móvil calcula su propia posición midiendo el tiempo que le toma a una señal recorrer dos veces la distancia a tres o más estaciones base. La segunda técnica es, período vacío de recepción OTD de arribo (IPDL-OTDOA, Idle Period Downlink OTD of Arrival), el cual consiste en una triangulación a partir del tiempo desde o hacia tres o más estaciones base, en un área dentro del UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) en UMTS. En el esquema de diversidad ortogonal de transmisión, existe un tiempo de diferencia entre la transmisión y la recepción, este es el tiempo a partir del cual se calcula la distancia a la UTRAN. El último método es GPS Asistido (GPS-A) el cual utiliza dispositivos adicionales a la red de telefonía móvil en conjunto con los datos obtenidos de satélites GPS para determinar de forma más precisa la posición de un dispositivo móvil, de hecho este método es el más preciso de los tres. (Prócel, Prócel y Jativa)

### **3.1.5 Bluetooth (802.15)**

Bluetooth es una tecnología de radiofrecuencia de corto alcance, baja potencia y bajo costo, originalmente desarrollada como reemplazo del cable para conectar dispositivos como teléfonos móviles, auriculares, PDA's, computadoras portátiles y equipos de sonido. Bluetooth usa bandas libres ISM (Industrial Scientific and Medical), la

banda más usada es de 2.4 a 2.4835 GHz con 79 canales disponibles; la tecnología Bluetooth implementa saltos de frecuencia para evitar interferencia con ondas de radio de otras fuentes, estos saltos se realizan en un orden pseudoaleatorio 1600 veces por segundo. Las especificaciones de Bluetooth tienen 3 niveles de potencia que son: 100 mW, siendo la más común la última. Una de las características más destacables es que tiene incorporada varias seguridades de encriptación y autenticación para el enlace.

Bluetooth posee rangos típicos que van desde los 5m hasta los 100m dependiendo de la potencia del dispositivo, a la fecha la distancia más común a cubrir por las unidades es de 5m de radio, es decir de clase 3, la cual tiene una potencia máxima permitida de 0 dBm con un rango aproximado de 5 m.

Los sistemas de posicionamiento más comunes se dan en móviles, donde la potencia es limitada y por lo tanto es importante tener sistemas que ahorren potencia, Bluetooth está diseñado para consumir poca potencia lo cual lo hace idóneo para este contexto. Bluetooth tiene diferentes modos de conservación de energía dependiendo de cómo se utilice el dispositivo, también existe la posibilidad de negociar la potencia de transmisión entre los equipos a comunicarse para alcanzar el más bajo consumo de energía posible manteniendo su comunicación, sin embargo el consumo de energía sigue

siendo un problema a superar con esta tecnología. (Hallberg y Nilson)

Lamentablemente la mayoría de dispositivos móviles tienen tecnología Bluetooth clase 3 en la cual la baja resolución en niveles de potencia y la corta distancia que cubre no llega a ser viable un sistema de localización, sin embargo investigaciones demuestran que usando esta tecnología los tiempos de adquisición de la posición son cortos con respecto a otras tecnologías.

### **3.1.6 Wifi (802.11)**

Las tecnologías inalámbricas se están volviendo cada vez más importantes para la comunicación, la tecnología IEEE 802.11 se ha difundido rápidamente, permitiendo a los consumidores configurar sus propias redes inalámbricas.

Wifi (Wireless Fidelity) es el nombre popular para el estándar de comunicaciones inalámbricas 802.11 para redes locales. Las redes Wifi operan usando un espectro de uso libre en la banda de 2.4 GHz los dos estándares 802.11x más importantes son 802.11b el cual opera a 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz y 802.11a el cual opera hasta 54Mbps en la banda libre de 5GHz, otro estándar 802.11x incluye 802.11g el cual nos entrega velocidades desde 22 hasta 54 Mbps en las bandas de 2.4 y 5 GHz. (Lehr y McKnight)

La capa física del 802.11a está basada en una transmisión OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), la cual opera en las bandas U-NII. Por otro lado el estándar 802.11b especifica una nueva capa física, llamada CCK (Complementary Code Keying), para soportar tasas de datos mayores. Existen varias características únicas del estándar 802.11b, las cuales valen la pena mencionar tales como: el uso de códigos Walsh con códigos complementarios para la transmisión de datos M-arios ortogonales. (Pahlavan y Krishnamurthi)

El estándar 802.11n es la última generación de WiFi ofreciendo mejoras significativas en velocidad, rango y confiabilidad en comparación con las versiones anteriores de WiFi. El estándar 802.11n es compatible con 802.11 b/g ya que usa el mismo rango de frecuencias. (Wifi Alliance)

El posicionamiento local es realizado utilizando diferentes propiedades, algunas usan propiedades físicas de la señal, mientras que otras usan el tiempo que le toma a la señal alcanzar su nodo de destino. Estos métodos se explican con mayor detalle en el capítulo 3.3 TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN USADAS CON SISTEMAS INALÁMBRICOS (Bose y Heng Foh). En la actualidad varias empresas han desarrollado sistemas de posicionamiento mediante WiFi, una de ellas es Ekahau, la cual ha realizado un motor de procesamiento de las señales en el método llamada "WiFi Mapping" el cual consiste en almacenar la potencia de la señal en diferentes

puntos y comparándola con la obtenida en dicho lugar donde se encuentre el terminal se podrá obtener la zona donde se encuentra el usuario. (Jimenez)

### **3.1.7 WiMAX (802.16)**

WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) es un sistema de comunicación digital inalámbrico, el cual puede proveer accesos de banda ancha en distancias de hasta 50 Km para estaciones fijas, y de 5 a 15 Km para estaciones móviles. WiMax soporta fácilmente tasas similares a las de WiFi. En enero del 2003 la IEEE aprobó el estándar 802.16a, el cual cubre bandas de frecuencia entre 2 GHz y 11GHz, el subrango de frecuencias en 11 GHz permite realizar enlaces sin línea de vista (NLOS) la cual hace de WiMax una tecnología adecuada para conexiones de última milla donde los obstáculos como árboles y edificios están siempre presentes.

La configuración más común consiste en una estación base instalada en un edificio o torre que comunica en una configuración punto multipunto a los usuarios finales. El estándar 802.16 posee un rango de hasta 48 Km con celdas típicas de 6.5 a 9.5 Km. (Canto, Rivamar y Soto) Entre las ventajas de Wimax están su tasa de transmisión de hasta 75 Mbps, menores costos de la implementación de la

infraestructura y escalabilidad en la red, permite al operador crecer en función de la demanda potencial, sin necesidad de preocuparse por la interoperabilidad de sus equipos. (Escobar, De la Rosa y Gaviño)

El estándar 802.16a define tres opciones principales para su radio enlace:

*SC-A:Single Carrier Channel, OFDM: 256 Sub - Carrier Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM-A: 2048 Sub - Carrier Orthogonal Frequency Division Multiplexing.* El ancho de banda son ajustables desde 1.25 MHz hasta 20 MHz. Wimax hace uso de modulación adaptativa lo que significa que el transmisor automáticamente cambia a una técnica de modulación más robusta en condiciones adversas, el estándar OFDM de WiMAX define nueve sistemas diferentes de modulación usando BPSK, QPSK, 16-, 64- y 256 QAM y ocupando diferentes anchos de banda. (Finneran)

Sin embargo, como ya se había mencionado antes, debido al alcance tan grande en el tamaño de la celda no se puede pensar en establecer un sistema de localización usando esta tecnología.

### **3.2 POSICIONAMIENTO MEDIANTE GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)**

El Sistema de Posicionamiento Global, GPS, por sus siglas en inglés, es basado en tecnología satelital. La técnica fundamental de GPS es medir los rangos entre el receptor y



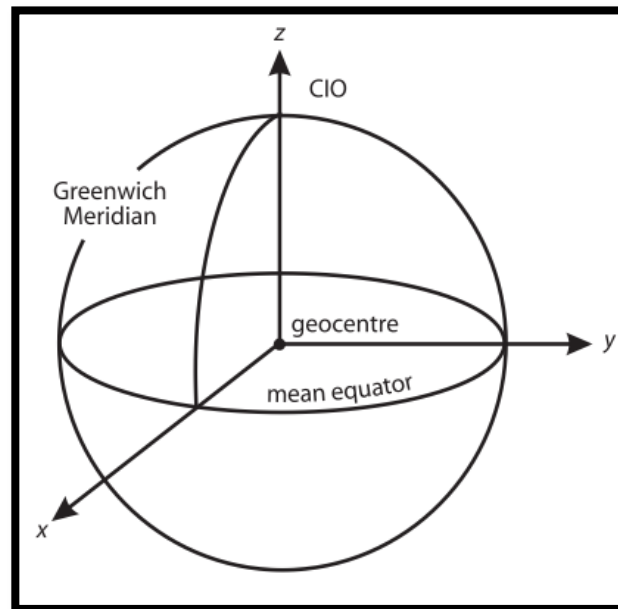
unos cuantos satélites observados simultáneamente. Las posiciones de los satélites son transmitidas con la señal de GPS al usuario. La posición del receptor se determina a través de varias posiciones conocidas de los satélites en vista, y las distancias medidas entre el receptor y los satélites. (Xu)

GPS fue diseñado para exteriores, debido a que la señal que llega de los satélites es extremadamente débil, la potencia total radiada de cada satélite es tan solo 27 W, situados a más de 20000 Km de altura, la potencia recibida es de aproximadamente 100 attoWatts (atto es  $10^{-18}$ ) y cuando el receptor se mueva a un espacio interior la señal disminuye rápidamente, de 10 a 100 veces en una casa y de 100 a 1000 veces en grandes edificios. (Van Diggelen)

El principio detrás de GPS es bastante complejo, ya que incluye conocimientos de electrónica, mecánica de orbitas, ciencias de la atmósfera, geodesia, teoría de la relatividad, matemáticas e ingeniería de software. A continuación se explica la base del funcionamiento del sistema GPS:

Es conveniente usar un sistema de coordenadas fijo, para esto se ha establecido el sistema ECEF (Earth-Centred Earth-Fixed) también conocido como CTS (Conventional Terrestrial System), el cual es un sistema cartesiano  $(x,y,z)$ , con su origen en el centro de masa de la Tierra. Su eje z apunta

hacia el norte, su eje x corta a la esfera de la Tierra a  $0^\circ$  de latitud (Ecuador) y  $0^\circ$  de longitud (Greenwich), como se indica en la Figura 2. (Xu)



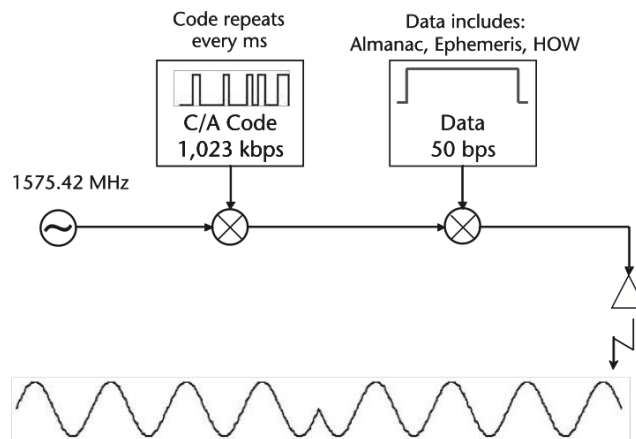
**Figura 2: Sistema de Coordenadas**

La señal requerida, de los datos del satélite, es conocida como datos de efemérides, y describe la órbita del satélite y su reloj. El algoritmo de procesamiento básico se lo puede dividir en los siguientes tres pasos:

1. Medir los rangos entre el usuario y los diferentes satélites en vista.
2. Calcular la posición de los satélites. (usando los datos de efemérides)
3. Resolver las ecuaciones que relacionan la posición de los satélites y los rangos para obtener como resultado la posición del usuario.

En resumen el paso 1 y 2 se explican a continuación: para determinar la posición del usuario el sistema GPS emplea el método de tiempo de llegada (TOA). Esta medida representa el tiempo que tarda en alcanzar al receptor la señal enviada por un satélite, conociendo la velocidad de propagación de la señal en el medio es posible determinar la distancia entre el emisor y el receptor. En el contexto de GPS la efemérides es el modelo de órbita que sigue el satélite; no es una tabla de números sino parámetros de una ecuación. Cada satélite envía su efemérides cada 30 segundos, la cual también incluye parámetros del reloj, también se la llama datos de navegación.

La parte fundamental en la señal GPS son los códigos C/A (Coarse / Acquisition) y los datos modulados en la banda L1, la cual tiene una frecuencia central de 1575.42 Mhz, estas son las señales disponibles de todos los satélites GPS para usuarios civiles. Existen receptores GPS con doble recepción de frecuencia para usar también la señal L2, la cual da mayor precisión en el posicionamiento usado para propósitos militares y profesionales. El código C/A es generado exactamente a 1.023 Mhz y se repite cada 1 ms, cada satélite GPS tiene su propio código C/A el cual se identifica con una correlación que ocurre en el receptor. (Van Diggelen)



**Figura 3: Señal GPS en el satélite**

El cálculo de la posición se lo va a explicar con más detalle debido a que es parte fundamental del método Matriz H usado en este proyecto, como se explica en el capítulo 4.1.2. Para determinar el posicionamiento del usuario, el sistema GPS se basa en la medida de la distancia entre el satélite y el receptor, como se explicó anteriormente estas distancias se obtienen midiendo el tiempo que se demora la señal en alcanzar el receptor, para lograr esto el reloj del receptor debería estar sincronizado con el reloj del satélite, sin embargo no es posible sincronizar 2 relojes a la perfección, pero esta desincronización se puede calcular a partir de las distancias estimadas a los satélites. La distancia aparente medida por el receptor es conocida como pseudorange como se indica la Figura 4

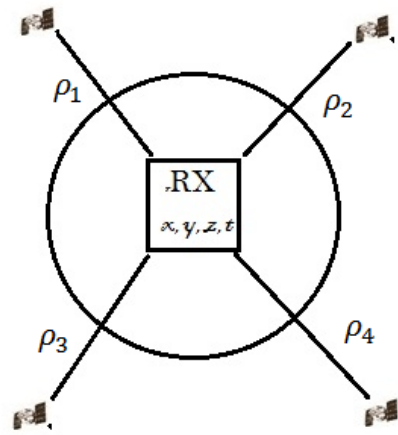


Figura 4: Pseudorangos en el sistema GPS

Donde  $\rho_j$  a la distancia medida, llamada pseudorango, calculada entre el satélite  $j$  y el usuario; por lo tanto existirán igual número de pseudorangos como satélites en vista, para estimar la posición se necesitan como mínimo cuatro satélites en vista, ya que es necesario resolver cuatro incógnitas con cuatro ecuaciones:

Ecuación 1

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \sqrt{(x_{s1} - x_u)^2 + (y_{s1} - y_u)^2 + (z_{s1} - z_u)^2} - \delta t_u \\ \rho_2 &= \sqrt{(x_{s2} - x_u)^2 + (y_{s2} - y_u)^2 + (z_{s2} - z_u)^2} - \delta t_u \\ \rho_3 &= \sqrt{(x_{s3} - x_u)^2 + (y_{s3} - y_u)^2 + (z_{s3} - z_u)^2} - \delta t_u \\ \rho_4 &= \sqrt{(x_{s4} - x_u)^2 + (y_{s4} - y_u)^2 + (z_{s4} - z_u)^2} - \delta t_u\end{aligned}$$

En donde  $x_{sj}$  representa la posición en el eje  $x$  del satélite  $j$ ,  $y_{sj}$  representa la posición en el eje  $y$  del satélite,  $z_{sj}$  representa la posición en el eje  $z$  del satélite y  $\delta t_u$  es la distancia producida por la desincronización.

Ecuación 2

$$\rho_j = \sqrt{(x_{sj} - x_u)^2 + (y_{sj} - y_u)^2 + (z_{sj} - z_u)^2} - \delta t_u$$

La solución a estas ecuaciones es compleja y exige cierto tiempo de cálculo, para simplificar su resolución y permitir que los receptores procesen en tiempo real se utiliza una aproximación de primer orden, obtenida a partir del desarrollo de las Series de Taylor. Supongamos que se conoce la última posición del usuario  $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ , el objetivo es encontrar la nueva posición como indica la siguiente figura.

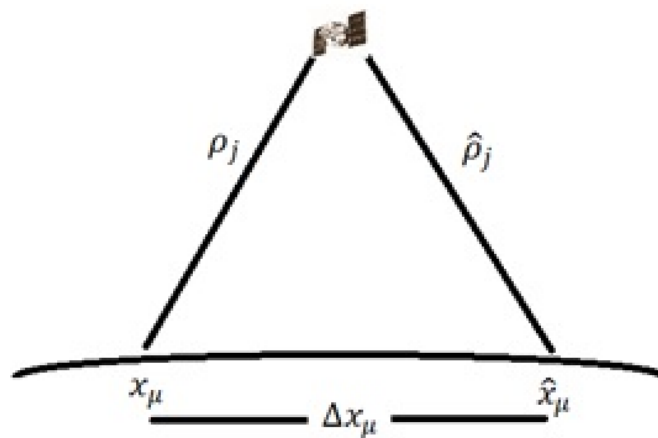


Figura 5: Ejemplo pseudorango en una dimensión

En donde se conoce la última posición del usuario  $\hat{x}_u$  y su pseudorango  $\hat{\rho}_u$  para a partir de estos valores calcular la nueva posición del usuario  $x_u$  y su desplazamiento  $\Delta x_u$  en este ejemplo de una dimensión. Para resolver la posición del usuario en tres dimensiones es necesario resolver la siguiente ecuación matricial.

Ecuación 3

$$\overline{\Delta \rho} = \overline{H} \overline{\Delta x}$$

$$\overline{\Delta x} = \overline{H}^{-1} \overline{\Delta \rho}$$

En donde:

Ecuación 4

$$\overline{\Delta\rho} = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \end{bmatrix} \quad \Delta\rho = \hat{\rho}_j - \rho_u$$

Ecuación 5

$$\bar{H} = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} a_{xj} &= \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{yj} &= \frac{y_j - \hat{y}_u}{\hat{r}_j} \\ a_{zj} &= \frac{z_j - \hat{z}_u}{\hat{r}_j} \end{aligned}$$

$$\hat{r}_j = \sqrt{(x_j - \hat{x}_u)^2 + (y_j - \hat{y}_u)^2 + (z_j - \hat{z}_u)^2}$$

Ecuación 6

$$\overline{\Delta r} = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c\Delta t_u \end{bmatrix} \quad \Delta x_u = x_u - \hat{x}_u$$

De la Ecuación 6 se despeja  $x_u$  lo que indica la nueva posición del usuario en el eje x y se realiza lo mismo para cada eje respectivamente.

### **3.3 TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN USADAS CON SISTEMAS INALÁMBRICOS**

La posición de una estación móvil puede ser determinada de la siguiente manera:

### **3.3.1 RSSI (Received Signal Strength Indicator)**

El protocolo de operación MAC en el estándar IEEE 802.11 está basada en CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance). Para implementar este protocolo en la capa física es necesario medir un parámetro llamado RSSI; el cual es un valor numérico entero con un rango admisible de 0 a 255 (1 byte) que cuantifica la energía RF medida por los circuitos de una tarjeta de red inalámbrica. Cada fabricante escoge su rango de medidas con 256 diferentes niveles, por lo tanto cada productor tiene ya especificado su valor máximo de RSSI, por ejemplo Cisco escoge medir 101 valores separados de energía de RF y su RSSI máximo es de 100, mientras que Atheros usa un valor máximo de RSSI de 60.

Hay que tomar en cuenta que no se ha mencionado las unidades de medida de energía típicas de RF que son dBm o mW. RSSI es un valor entero arbitrario definido en el estándar 802.11 con el propósito de ser usado internamente por la tarjeta inalámbrica. Por ejemplo cuando un adaptador desea transmitir un paquete, este debe ser capaz de detectar si el canal está libre o no, si el valor de RSSI está por debajo de un límite, entonces la tarjeta sabe que el canal está vacío.

Debido a que los valores de RSSI son enteros, deben incrementar y disminuir de forma discreta. Por ejemplo la marca "Symbol" provee 32 escalones, mientras que Cisco



provee 101 en un rango que va de 0 a RSSI máximo (dado por el fabricante) por lo tanto es importante recalcar que los valores de potencia en dBm o mW cambiaran también de forma discreta. (WildPackets)

El incremento de transmisores wireless para espacios cerrados ha despertado el interés en investigadores de cómo se puede explotar los datos de la potencia recibida para obtener información de una posición relativa de un receptor con respecto a un número determinado de transmisores, conociendo de antemano la posición de estos. A pesar de que la medida del RSSI fue creada para dar información a las capas de protocolo de alta comunicación acerca del estado del enlace de comunicación hoy en día es muy usada con propósitos de posicionamiento; debido a que la información se la obtiene prácticamente de forma gratuita. (Portoti y Corucci)

### **3.3.2 TOA (Time Of Arrival)**

Es un sistema que se basa en el hecho de que una señal electromagnética tarda un tiempo en recorrer de transmisor a receptor, este sistema mide el tiempo de arribo de las señales, y en base a este dato puede determinar la posición en dos o tres dimensiones. Esta aproximación es la base del sistema de posicionamiento GPS. El sistema básico del TOA resuelve la ecuación de distancia es igual a velocidad por

tiempo,  $d = v * t$ , como se puede apreciar en la ecuación anterior, existe una relación lineal entre el tiempo de propagación y distancia recorrida, a partir del teorema de Pitágoras se obtiene la siguiente formula:

Ecuación 7

$$v(t_i - t) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$$

Donde  $x_i, y_i, z_i$  son la posición de las estaciones base (en el caso de 802.11, los Access Points),  $v$  en este caso es la velocidad de la luz y las variables a encontrar  $x, y, z, t$  definen la posición del usuario en el sistema de coordenadas definido, se necesitan 4 o más estaciones bases para determinar estas 4 variables, como se muestra en la Figura 6. (Anónimo)

Adicionalmente existe la técnica de DToA (Differential Time of Arrival) la cual es similar TOA pero en este caso se usan 2 señales, cada una con velocidades de propagación diferentes; por ejemplo una de las señales puede ser de radio mientras que la otra acústica, otro caso común es usar una señal de radio con una señal infra-roja. La ventaja del DToA respecto del TOA es que se puede reducir el error ya que se obtiene una resolución temporal mayor al medir primero el tiempo de forma relativa frente a la medida absoluta del TOA. (Díaz y Ambrona)

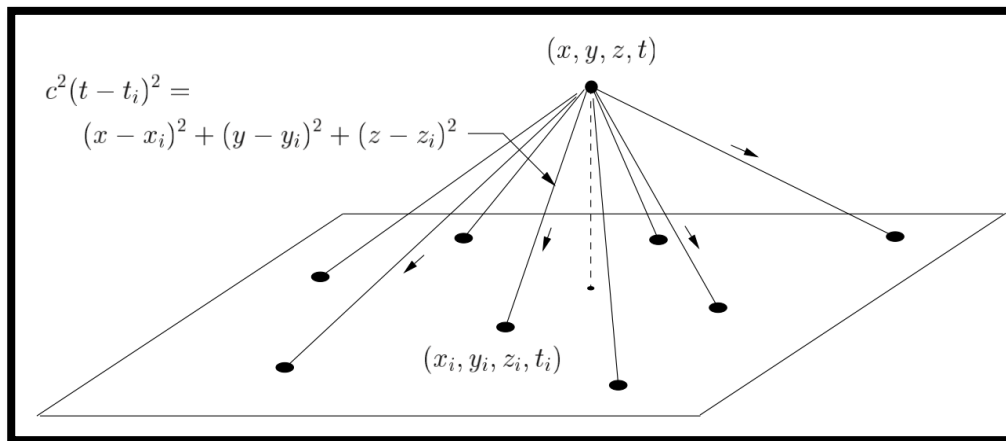


Figura 6: Geometría de la Técnica de Localización TOA

### 3.3.3 AOA (Angle Of Arrival)

Las técnicas AoA (Angle of Arrival) son comunes en el procesamiento de señales con arreglos. En lugar del uso de una sola antena, se despliegan varias antenas de forma que se pueda inferir el ángulo de llegada de la señal. Después de esto, la estimación de la localización se basa en la triangulación de estos ángulos. Aunque el sistema es bastante preciso, también es verdad que los dispositivos 802.11 no incluyen arreglos de antenas, sino una, o como mucho dos, y por esta razón no se puede implementar un sistema de localización basado en AoA sin hardware adicional. (Díaz y Ambrona)

AOA es definido como el ángulo entre la dirección de propagación de la onda incidente y una dirección de referencia, la cual es conocida como "orientación". El receptor mide la dirección de la señal recibida, desde el

transmisor usando antenas direccionales o un arreglo de antenas. Si la precisión de la dirección el ancho del lóbulo es  $\pm\alpha$ , la medida del ángulo de arribo en el receptor va a restringir la posición del transmisor alrededor de la línea de vista con un ángulo ensanchado de  $2\alpha$ . Dos medidas de AOA proveerán una posición fija como se muestra en la Figura 7: Técnica de AOA para geolocalización. La precisión de la posición estimada depende de donde fue colocada el transmisor con respecto al receptor; en caso de que el móvil se encuentre entre las dos estaciones fijas de tal forma que los 3 formen una línea recta, las medidas del AOA no van a ser capaces de proveer una posición fija, a consecuencia de este problema usualmente se necesitan más de dos estaciones fijas para obtener una posición precisa.

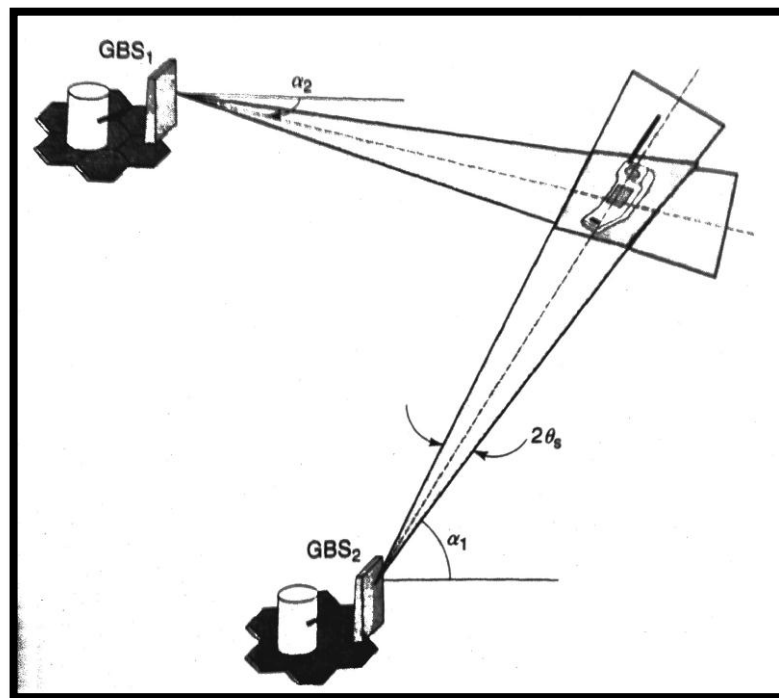


Figura 7: Técnica de AOA para geolocalización

Para redes con macro-celdas, donde las principales dispersión están localizadas alrededor de la estación móvil y lejos de las estaciones fijas este método puede proveer una posición con precisión aceptable, sin embargo existen grandes errores de posicionamiento si la línea de vista está bloqueada y el AOA de una componente de la señal reflejada o dispersada es usada para estimar la dirección de la estación fija, por lo tanto en interiores en donde objetos como paredes y muebles bloquean la mayoría de veces la línea de vista, no es recomendable usar esta técnica; en adición a este problema el costo de implementación en interiores no sería rentable, ya que se necesitan antenas costosas. (Pahlavan y Krishnamurthi)

### **3.4      *MODELOS DE PERDIDA DE TRAYECTORIA***

Modelo de pérdida de trayectoria representa la atenuación en dB del nivel de señal entre la potencia transmitida y la potencia recibida; estas pérdidas ocurren por la propagación en el espacio libre, reflexión, difracción y dispersión.

Un factor importante para cálculos de cobertura de señal para cualquier ambiente es el modelo de pérdida de trayectoria, el cual relaciona la pérdida de la intensidad de la señal y la distancia entre las dos terminales. Usando el modelo de pérdida de trayectoria los ingenieros de radiofrecuencia calculan el área de cobertura de estaciones

base inalámbricas y puntos de acceso, así como la distancia máxima entre dos terminales.

Existen tres tipos de modelo de pérdida de trayectoria que son: empíricos, semi-determinísticos y determinísticos. El modelo empírico está basado en datos medidos con ciertos parámetros y propiedades estadísticas, su implementación es simple, sin embargo no es muy preciso. Semi-determinístico está basado en la unión de modelos empíricos y determinísticos. Modelos determinísticos son muy precisos pero no se pueden aplicar a varios sitios en general, requiere una cantidad enorme de datos geométricos sobre el lugar a ser estudiado y demanda un gran recurso computacional. (Ranvier)

Los modelos de pérdida de trayectoria se dividen dependiendo del área a la que van a cubrir las estaciones base, siendo las siguientes las más usadas:

- *Modelo de pérdida de trayectoria para Megaceldas:*  
Estas se usan para comunicaciones que abarcan celdas de gran distancia, cubriendo hasta cientos de kilómetros, son usadas en su mayoría por satélites (usualmente en órbitas cercanas a la tierra) las pérdidas en este modelo usualmente son las mismas que la de propagación en el espacio libre, sin embargo las características de desvanecimiento son un poco

diferentes, la ecuación de pérdidas en el espacio libre es la siguiente:

**Ecuación 8**

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Donde  $P_r$  y  $P_t$  es la Potencia recibida y transmitida en vatios respectivamente,  $G_t$  y  $G_r$  son las ganancias de las antenas del receptor y transmisor y  $d$  es la distancia entre transmisor y receptor.

- *Modelo de perdida de trayectoria para Macroceldas:*  
Las áreas para macroceldas cubren pocos kilómetros hasta las decenas de kilómetros. Debido a que tradicionalmente estas celdas corresponden a estaciones bases asociadas con telefonía celular, la frecuencia de operación es de 900 Mhz. Se han realizado varias pruebas para macroceldas en varias ciudades, la más popular corresponde a Okumura el cual determino un conjunto de curvas de perdida de trayectoria en función de la distancia de 1968 para un rango de frecuencias entre 100 Mhz y 1920 Mhz. Okumura también incluyó la altura de la antena de la estación base y la altura de la antena del móvil debido a que identifico que eran parámetros importantes. Masaharu Hata creó modelos empíricos que se ajustan bastante a las medidas tomadas por Okmura para una separación mayor a 1 Km entre transmisor y

receptor. El modelo Okumura Hata representa la siguiente ecuación

**Ecuación 9**

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d)$$

Donde  $L_p$  es la pérdida de trayectoria en dB,  $f_c$  es la frecuencia de la portadora en Mhz,  $h_b$  y  $h_m$  son la altura de las antenas transmisora y receptora respectivamente medida en metros y  $a$  es una constante que varía dependiendo de la frecuencia de la portadora y del área de cobertura.

- *Modelo de Path Loss para Microceldas:* Son celdas que cubren unos pocos cientos de metros hasta 1 Km. Las características de propagación son algo complejas debido a que la señal de propagación son afectadas por reflexiones de edificios, el piso y dispersión de vehículos cercanos.
- *Modelo de Path Loss para Picoceldas:* Las Picoceldas cubren edificios o partes de un edificio con coberturas entre 30 y 100 mts, usualmente las picoceldas son usadas por WLAN, sistemas PBX inalámbricos y ordenadores. Para este tipo de áreas se dividen en tres tipos principales modelos: Modelo de Atenuación Multipiso este modelo toma en cuenta la atenuación causada por los pisos y la incluye como



una constante independiente de la distancia como se muestra en la siguiente fórmula

**Ecuación 10**

$$L_p = L_o + nF + 10 \log(d)$$

Donde F representa la atenuación debido a cada piso, para interiores a frecuencias de 900 Mhz y 1.7 Mhz el valor de F es de 10 a 16 dB respectivamente.

Modelo JTC: En el modelo anterior la relación entre la perdida de trayecto y el número de pisos es lineal, sin embargo resultados mostrados por W. Honcharenko, H. Bertoni y J. Dailing no concuerdan con esta afirmación. Existen estudios técnicos que demuestran que esta relación no es lineal. Dando como resultado la siguiente fórmula que toma en cuenta este factor.

**Ecuación 11**

$$L_p = A + L_f(n) + B \log(d) + X$$

Donde  $L_f(n)$  representa una función relacionada a la perdida de potencia con respecto al número de pisos n y X es una variable aleatoria log-normal que representa el desvanecimiento de sombra.

Modelo de pérdida usando Materiales de Edificios: Esta fórmula toma en cuenta por el cual la onda debe atravesar dando como resultado la siguiente fórmula

## Ecuación 12

$$L_p = L_o + 20 \log(d) \sum m_{type} w_{type}$$

Donde  $m_{type}$  se refiere al número de partes del material que obstruye la señal y  $w_{type}$  la pérdida en dB atribuida a este material.

### 3.5 SISTEMA OPERATIVO ANDROID

Android es un sistema operativo basado en GNU/Linux, un núcleo de sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma, diseñado originalmente para teléfonos inteligentes, sin embargo con el tiempo se ha extendido a otros dispositivos tales como tabletas, notebooks, computadoras, televisores, reproductores mp3 etc. Este sistema operativo es desarrollado por la "Open Handset Alliance", un consorcio que actualmente cuenta con 84 fabricantes y desarrolladores de hardware, software y compañías de telecomunicaciones, con el principal objetivo de promocionar estándares abiertos para dispositivos móviles, liderado por Google la cual compró la empresa Android Inc., fundada en 2003, en 2005. (Google Inc.)

Entre los principales integrantes fundadores de la Open Handset Alliance se encuentran: Broadcom Corporation, HTC, Intel, LG, Motorola, Nvidia, Qualcomm, Samsung Electronics, Sprint Nextel, T-Mobile y Texas Instruments; en 2008 se

unieron otras 14 empresas siendo las más conocidas en el mercado las siguientes: Atheros Communications, Garmin Ltd, Huawei Technologies, Sony Ericsson, Toshiba Corp. y Vodafone. Tabla 1: Miembros del Consorcio Open Handset Alliance, obtenida de la página web oficial de la Open Handset Alliance, contiene los 84 miembros del consorcio.

OPERADORAS MÓVILES	FABRICANTES DE TELEFONOS MÓVILES	COMPAÑÍAS DE SEMICONDUCTORES	COMPAÑÍAS DE SOFTWARE	COMPAÑÍAS DE COMERCIALIZACIÓN
Bouygues Telecom	Acer Inc.	AKM Semiconductor Inc	Ándago Ingeniería S.L.	Accenture
China Mobile Communications Corporation	Alcatel mobile phones	Audience	ACCESS CO., LTD.	Aplix Corporation
China Telecommunications Corporation	ASUSTeK Computer Inc.	ARM	Ascender Corp.	Borqs
China United Network Communications	CCI	Atheros Communications	Cooliris, Inc.	Intrinsyc Software International
KDDI CORPORATION	Dell	Broadcom Corporation	eBay Inc.	L&T Infotech
NTT DOCOMO, INC.	Foxconn International Holdings Limited	CSR Plc.	Google Inc.	Noser Engineering Inc.
SOFTBANK MOBILE Corp.	FUJITSU LIMITED	Cypress Semiconductor Corporation	LivingImage LTD.	Sasken Communication Technologies Limited
Sprint Nextel	Garmin International, Inc.	Freescale Semiconductor	Myriad	SQLStar International Inc.
T-Mobile	Haier Telecom (Qingdao) Co., Ltd.	Gemalto	MOTOYA Co., Ltd.	TAT - The Astonishing Tribe AB
Telecom Italia	HTC Corporation	Intel Corporation	Nuance Communications, Inc.	Teleca AB
Telefónica	Huawei Technologies	Marvell Semiconductor, Inc.	NXP Software	Wind River

TELUS	Kyocera	MediaTek, Inc.	OMRON SOFTWARE Co, Ltd.	Wipro Technologies
Vodafone	Lenovo Mobile Communication Technology Ltd.	MIPS Technologies, Inc.	PacketVide o (PV)	-
-	LG Electronics, Inc.	NVIDIA Corporation	SkyPop	-
-	Motorola, Inc.	Qualcomm Inc.	SONiVOX	-
-	NEC Corporation	Renesas Electronics Corporation	SVOX	-
-	Pantech	ST-Ericsson	VisualOn Inc.	-
-	Samsung Electronics	Synaptics, Inc.	-	-
-	Sharp Corporation	Texas Instruments Incorporated	-	-
-	Sony Ericsson	Via Telecom	-	-
-	Toshiba Corporation	-	-	-
-	ZTE Corporation	-	-	-

Tabla 1: Miembros del Consorcio Open Handset Alliance

El lanzamiento al público de Android fue el 5 de noviembre del 2007 y fue anunciado por el consorcio Open Handset Alliance. (Open Handset Alliance)

Desde su lanzamiento han existido varias actualizaciones de la versión original del sistema operativo Android, con nombres basados en postres, entre los últimos lanzamientos tenemos los siguientes:

- *2.3 Gingerbread*: redefine la interfaz de usuario, mejora el teclado, el rendimiento de juegos, adhiere nuevas características como copiar y pegar, agrega soporte nativo para telefonía de voz por IP (VoIP),

más sensores como giroscopios, barómetros y múltiples cámaras.

- *3.0 Honeycomb*: se creó orientado a tabletas, soportando dispositivos con pantallas más grandes, introduciendo muchas nuevas características de interfaz de usuario y además soporta procesadores multi núcleo así como aceleradores de hardware para gráficos.
- *3.1 Honeycomb*: lanzado en mayo del 2011, adhiere soporte para tener más dispositivos de entrada, transferencia vía USB y se mejora el soporte para redes Wi-Fi.
- *3.2 Honeycomb*: anunciado al mercado en julio de 2011, adhiriendo optimizaciones para un rango amplio de tamaños de pantallas, nuevo modo de compatibilidad de pantalla "zoom-to-fill", carga archivos media directamente de tarjetas SD.
- *4.0 Ice Cream Sandwich*: lanzado al mercado el 19 de octubre de 2011 con nuevas características como reconocimiento de rostros para desbloqueo, unificación de contactos basados en redes sociales, búsqueda de mails offline, mejoramiento de multitareas y añaden captura de pantalla nativa, esta es la última versión que existe de Android y su código fuente fue lanzado el 14 de noviembre de 2011.

Antes de estas versiones las cuales son las más populares, Android lanzó otras versiones como: 1.5 Cupcake, 1.6 Donut, 2.0 Eclair y 2.2 Froyo. (Chandrasekhar)

La mayoría de dispositivos con sistema operativo Android traen por defecto la aplicación llamada Android Market, la cual es una tienda en línea de software desarrollado por Google para los dispositivos Android, Google remunera a los desarrolladores con el 70% del precio de las aplicaciones.

Debido a que este sistema ha alcanzado tanta popularidad sobre todo en desarrolladores, Android superó en ventas a su principal competidor el iPhone en mayo de 2010, sin embargo los dispositivos con iOS incrementaron sus ventas en un 1%, lo cual demuestra que Android se está tomando el mercado de RIM, fabricantes de dispositivos BlackBerry. (Whitney) En julio de 2011 se hizo pública la noticia de que se activan unos 550000 dispositivos Android cada día. (Citycom News)

### ***3.5.1 Programación en plataformas Android***

El sistema operativo Android, basado en el núcleo Linux, se compone de aplicaciones que se ejecutan en lenguaje de programación Java, orientadas a objetos sobre el núcleo de bibliotecas de Java en una máquina virtual Dalvik con compilación en tiempo de ejecución. El sistema operativo está compuesto por 12 millones de líneas de código, incluyendo 3 millones de líneas de XML, 2,8 millones de

líneas de lenguaje C, 2,1 millones de líneas de Java y 1,75 millones de líneas de C++.

El SDK (Software development kit) kit de desarrollo de software, compila el código creado en Java junto con los datos y archivos de recurso, en un paquete Android con extensión .apk, todo el código en un solo archivo .apk es considerado como una aplicación.

El sistema operativo Android es un sistema Linux multi-usuario, en el cual cada aplicación es un diferente usuario, por defecto el sistema asigna a cada aplicación un único ID de usuario, el sistema establece permisos para todos los archivos en la aplicación para que solo el usuario con el ID asignado pueda acceder a estos archivos. Cada proceso tiene su propia máquina virtual, por lo tanto cada aplicación se ejecuta aisladamente de las otras aplicaciones. Por defecto cada aplicación se ejecuta en su propio proceso Linux, Android empieza el proceso cuando algún componente de la aplicación necesita ser ejecutado, luego termina el proceso cuando ya no necesita ser usado o cuando el sistema necesita recuperar memoria para otras aplicaciones, en este sentido Android implementa el principio de "privilegios mínimos", esto quiere decir que cada aplicación por defecto tiene acceso solo a componentes que requiere para hacer su trabajo y a nada más, sin embargo existen maneras de compartir datos entre aplicaciones, por ejemplo una aplicación puede

solicitar permisos para acceder a datos del dispositivo como mensajes SMS, contactos, cámara, Bluetooth y más.

Existen cuatro diferentes tipos de componentes de las aplicaciones y cada tipo sirve para un diferente propósito, los siguientes son los cuatro tipos:

- *Actividades:* Una actividad representa una única pantalla con interfaz de usuario, por ejemplo la aplicación de mail puede tener una actividad que muestre la lista de nuevos mails, otra actividad para escribir un nuevo mail y otra actividad para leer los mails. Aunque las actividades trabajen en conjunto, dentro de la aplicación de mail, cada una es independiente de las otras. Una aplicación diferente puede iniciar cada una de estas actividades, siempre que la aplicación de mail se lo permita, por ejemplo la aplicación de la cámara puede empezar una actividad en la aplicación del mail que redacte un nuevo mail con la foto tomada por la cámara como archivo adjunto.
- *Servicios:* Un servicio es un componente que corre en un segundo plano para realizar operaciones de largo alcance o para realizar un trabajo de procesos remotos, un servicio no provee una interfaz de usuario. Un ejemplo de servicio es la música que sigue sonando de fondo mientras el usuario está



usando una diferente aplicación, o el uso de la red de datos de otra aplicación.

- *Proveedores de Contenido:* un Proveedor de Contenido administra un conjunto compartido de datos de la aplicación, se puede almacenar los datos en un sistema de archivo, una base de datos SQLite, la web o en cualquier otra locación de almacenamiento permanente a la que tenga acceso la aplicación. A través del proveedor de contenidos, otras aplicaciones pueden consultar o modificar los datos, siempre y cuando el proveedor de contenidos lo permita.
- *Receptores Broadcast:* es un componente que responde a todo el sistema de transmisión de anuncios, existen muchos anuncios que origina el sistema como por ejemplo de batería baja, captura de una imagen, mensaje que indican que se ha descargado un archivo.

Tres de los cuatro componentes: actividades, servicios y receptores broadcast; son activadas por textos asíncronos llamados "Intents", los cuales enlazan componentes individuales en tiempo de ejecución sea que pertenezcan a la propia aplicación o a otras aplicaciones, se puede pensar en los Intents como mensajes que solicitan una acción de otros componentes. Por ejemplo un Intent puede transmitir una

solicitud para que una actividad muestre una imagen o abra una página web.

El cuarto componente, proveedor de contenido, no se activa mediante Intents, es activado mediante una petición de un ContentResolver. El ContentResolver maneja todas las transacciones con el proveedor de contenidos.

Existen diferentes métodos para activar a cada tipo de componente.

Para empezar una actividad, o para asignarle una nueva tarea a realizar, se lo hace pasando el Intent a `startActivity()` o `startActivityForResult()`, el segundo se lo usa cuando se desea que la actividad devuelva un resultado.

Para activar un servicio, o darle nuevas instrucciones, se pasa un Intent a `startService()`.

Se puede iniciar un broadcast pasando un Intent a métodos como `sendBroadcast()`, `sendOrderedBroadcast()`, o `sendStickyBroadcast()`.

Se puede realizar una consulta a un proveedor de contenidos llamando a `query()` en un ContentResolver.

Para que un sistema Android pueda empezar el componente de aplicación, el sistema debe saber que el componente existe, para esto tiene que leer el archivo `AndroidManifest.xml`, la aplicación debe declarar todos sus componentes en este archivo el cual debe estar en la raíz del directorio de la aplicación.

El archivo Manifest declara otras instrucciones además de los componentes de la aplicación, como:

- Identifica cualquier permiso de usuario que requiera la aplicación, como acceso a internet y accesos de lectura.
- Declara el mínimo nivel API requerido por la aplicación, basado en los APIs que esta usa.
- Declara las características tanto de hardware como de software usadas o requeridas por la aplicación, como cámara, servicios bluetooth o gestos multi-táctiles en la pantalla.
- Las librerías de API que necesita la aplicación y que no están incluidas en las APIs del framework de Android como la librería de Google Maps. (Google Inc.)

A continuación se va a explicar en detalle el componente *Actividad*, debido a que es el más importante de los cuatro componentes ya mencionados.

Una aplicación está compuesta por múltiples actividades que están relacionadas entre sí, cada actividad puede empezar otra actividad para que realice una acción diferente. Generalmente en una aplicación se especifica a una actividad como "main", la cual es presentada al usuario al momento de abrir por primera vez el programa. Cada vez que se llama a una nueva actividad, la actividad anterior es

detenida, pero el sistema preserva esta actividad en la pila de fondo ("back stack"). La pila utiliza el mecanismo de cola "last in, first out" por lo tanto cuando el usuario presiona la tecla "Atrás" la actividad anterior sale de inmediato de la pila, destruyendo la actividad actual. Cuando una actividad es detenida porque se llamó a una nueva actividad, para notificar al sistema este cambio se usa los *métodos de ciclo de vida de la actividad*, existen varios métodos que pueden recibir una actividad debido a cambios en su estado como: `onCreate`, `onRestart`, `onStart`, `onResume`, `onPause`, `onStop`, y `onDestroy`: los mismos que se explican a continuación:

- `onCreate()`: llamado cuando se crea la actividad por primera vez, aquí es donde se debe programar la interfaz de usuario, crear views, variables de datos, procesos para la aplicación, etc. Siempre debe ser seguido por `onStart()`.
- `onRestart()`: usado después de que una actividad ha sido parada, justo antes de que vuelva a iniciar. Siempre debe ser seguido por `onStart()`.
- `onStart()`: llamada justo antes de que la actividad se vuelva visible para el usuario. Seguida por `onResume()` si la actividad pasa a primer plano, o `onStop()` si se oculta.

- `onResume()`: llamada justo antes de que el usuario empiece a interactuar con la actividad. En este punto la actividad está en el tope de la pila, con el usuario ingresando a ella. Siempre seguido de `onPause()`.
- `onPause()`: llamado cuando el sistema está apunto de reiniciar otra actividad. Este método es usado generalmente para reservar los cambios no almacenados, parar animaciones y otros procesos que pueden estar consumiendo recursos. Las operaciones en `onPause()` tienen que realizarse bastante rápido . Seguido por `onResume()` si la actividad vuelve a la mostrarse al usuario, o por `onStop()` si se convierte en invisible para el usuario.
- `onStop()`: Llamada cuando la actividad ya deja de ser visible para el usuario, esto puede pasar porque ha sido destruida o porque otra actividad ha sido reactivada. Seguido por `onRestart()` si la actividad está regresando para interactuar con el usuario o por `onDestroy()` si no se va a usar mas esta actividad.
- `onDestroy()`: llamado antes de que la actividad sea destruida. Este es el último método que la actividad va a recibir. Puede ser llamado porque la actividad está finalizando, es decir se llama a `finish()`, o porque el

sistema lo está finalizando temporalmente por necesidad de espacio. (Google Inc)

La Figura 8: Ciclo de Vida de una Actividad, indica en un cuadro sinóptico el ciclo de vida de una actividad:

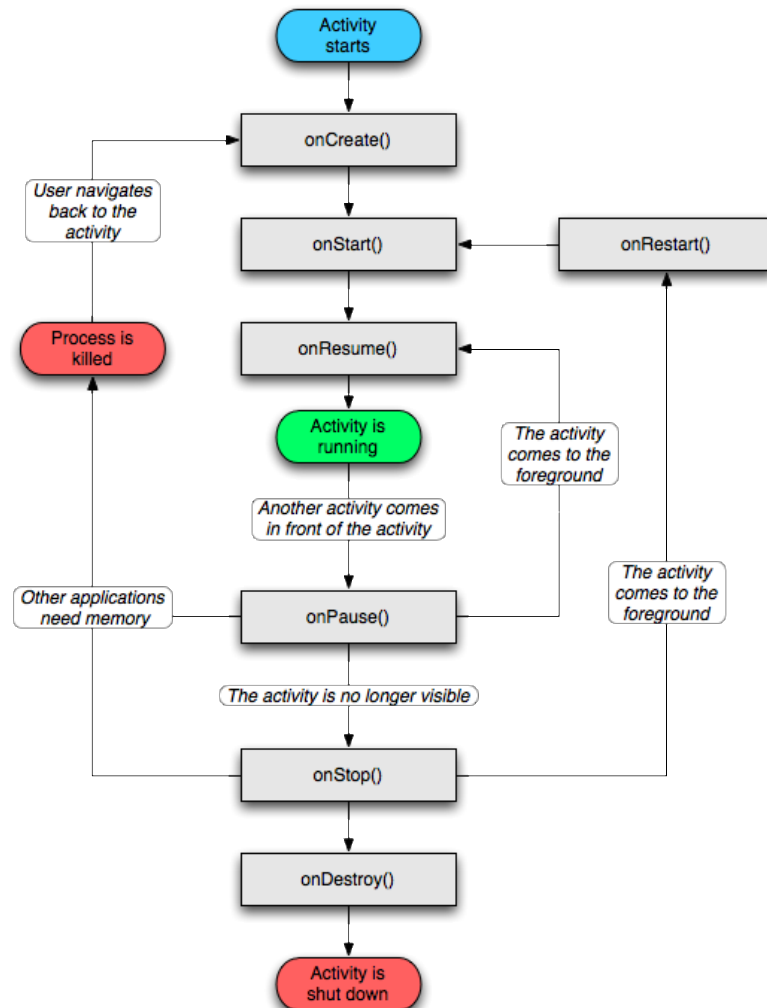


Figura 8: Ciclo de Vida de una Actividad

### 3.5.2 Java en dispositivos móviles

El lenguaje Java fue lanzado en 1990 y la edición para móviles (J2ME) en 1999, la tardanza de nueve años se debió a que a finales de la década pasada fue cuando los teléfonos

móviles comenzaron a incluir aplicaciones extra como agendas, pequeños juegos, etc.

El primer dispositivo móvil en soportar Java fue el asistente personal Palm que marco toda una época en cuando a dispositivos móviles. Hoy ha perdido buena parte de la aceptación que tenía debido a la irrupción de los teléfonos móviles cuyos fabricantes optaron por sistemas operativos distintos al de Palm como Symbian, Linux o Windows Mobile sin embargo todos estos sistemas operativos soportan Java de forma nativa.

El hecho de que todos los dispositivos móviles soporten la máquina virtual Java es una enorme ventaja a la hora de elegir un lenguaje para programar aplicaciones móviles. Sin embargo esto no significa que una aplicación correrá de la misma forma independientemente del terminal, hay que tener en cuenta la cantidad de memoria que una aplicación consume a más de los problemas de compatibilidad en hardware como el tamaño de pantallas, botones, etc.

Los desarrolladores ante tanta gama de dispositivos móviles han trabajado en la compatibilidad de cada uno de los teléfonos con cada una de las aplicaciones por lo que al momento de crear una interface para nuestra aplicación los botones que tienen por defecto cada uno de los teléfonos funcionan e interactúan con nuestra aplicación de forma

nativa independientemente de su ubicación en el dispositivo como son: menú, salir, atrás, home, etc.

Para probar las aplicaciones programadas contamos con emuladores provistos por los principales fabricantes como Nokia, Sony Ericcson, Samsung, Siemens, HTC, etc. Estos emuladores nos permiten ver y usar en nuestra computadora un programa tal cual se vería en un teléfono o dispositivo móvil. Esto ahorra y facilita la creación de una aplicación pero sobre todo se puede jugar con la compatibilidad de nuestra aplicación con los dispositivos y sus diferentes características.

Desde los sitios web de los fabricantes podremos registrarnos y obtener acceso a emuladores de las distintas series. Por ejemplo si probamos un programa para un emulador de la serie 60 de Nokia, este funcionará bien para todos los modelos de dicha serie.

El lenguaje Java brinda muchas herramientas al momento de crear cualquier tipo de aplicación. Programas de acceso a base de datos remotas que residan en la empresa o en el hogar. (File Maker) Todo tipo de juegos. Los juegos en equipos móviles tienen un protagonismo fundamental. Sin embargo hoy en día existen lenguajes orientados específicamente al diseño de juegos, programas de control del hogar a través del dispositivo móvil, programas de administración: agendas, libro de notas, etc. (Mena)



Java para dispositivos móviles es un conjunto de aplicaciones que permiten a los desarrolladores mejorar y enriquecer a los dispositivos móviles de cualquier rango de precio. Actualmente Java corre en 4.500 millones de teléfonos sin tener un competidor a la vista.

El núcleo principal de Java es Java Platform Micro Edition la cual provee un robusto y flexible ambiente para aplicaciones en: teléfonos móviles, televisiones, e-readers, blue rays, impresoras.

### ***3.5.3 Programación orientada a la navegación en Android***

Hoy en día la mayoría de teléfonos celulares vienen dotados con un receptor GPS por lo que el celular puede presentar en un mapa el lugar en el que se encuentra el usuario, esto ha dado la facilidad para que exista una gran oferta en lo que es software de direccionamiento por voz desde un punto inicial hacia el punto de destino deseado; sin embargo hay varios servicios que se pueden ofrecer con la información de posicionamiento, por ejemplo se puede crear un chat que permita la comunicación entre personas que se encuentran geográficamente cerca, o etiquetar fotos con el lugar que fueron tomadas, asimismo crear rutas de deportes de aventura o bicicleta y compartirlas.

Como se mencionó previamente, GPS no es la única forma de determinar la posición de un usuario, también existe triangulación por celdas, sistema Galileo, puntos Wifi

reconocidos previamente, etc. Un dispositivo Android puede tener uno o más de estos servicios, simplemente el desarrollador debe pedir estos datos al dispositivo según los servicios disponibles de cada móvil.

La aplicación a ser desarrollada debe tener identificado que método va a ser usado para determinar la posición del usuario; por ejemplo existen aplicaciones que necesitan ser más precisas, otras que necesitan datos como altitud, coordenadas, etc. Android ha reunido todos estos métodos de localización en un conjunto de objetos llamados *LocationProvider*, con diferentes instancias para cada uno de los métodos que provee el sistema operativo. Así mismo la aplicación debe poseer los respectivos permisos para acceder a ese tipo de información e interactuar con los demás servicios del dispositivo. Generalmente una aplicación pregunta al usuario el método para determinar su posición llamando a *GetProviders()* el cual devolverá una lista con los servicios disponibles, o esto puede ser decidido por el dispositivo de acuerdo a los parámetros que el programador haya especificado en su aplicación si llamamos el objeto *Criteria*. Por ejemplo se puede solicitar datos de altura o de precisión lo cual ayudará a determinar el mejor método con *getBestProvider()*.

Finalmente estos métodos devuelven un objeto *Location* con la Latitud y Longitud en grados como un dato tipo *Double*.

También se pueden solicitar datos como direcciones longitudinales con respecto al Norte o datos de velocidad y altura. Al momento que exista movimiento los datos pueden ser adquiridos cada determinado lapso de tiempo dependiendo del método elegido, por ejemplo GPS necesita establecer una comunicación con los satélites antes de determinar la posición, también se puede actualizar la posición dependiendo de la distancia que el dispositivo se haya movido o crear una alerta dependiendo del lugar en donde se encuentre.

Sin embargo una vez ya determinada la posición esta debe ser presentada en una imagen que le permita al usuario reconocer el lugar en donde se encuentra y así el sistema está integrado con la actividad ya muy conocida que es Google Maps, la cual ya ofrece servicios de búsqueda de lugares cercanos, restaurantes, ciudades, direcciones, etc. las cuales se comunican con la base de datos de Google; esta actividad tiene integrada controles como zoom, capas, botones de localización, los cuales se pueden incluir en la aplicación por medio de *MapView*, y modificarlo al gusto del programador si así es necesario. (Mark)



Figura 9: Aplicación Google Maps en un teléfono Android

### **3.6 SITUACIÓN DEL TURISMO EN EL PAÍS**

De acuerdo con cifras de la Organización Mundial del Turismo (OMT) en 2009, únicamente el 6,38% de los turistas internacionales del mundo llegó al continente americano. De ellos, solo el 37,09% vino a Sudamérica. Y tan solo el 4,83% de los turistas que vinieron a Sudamérica visitó el Ecuador. Eso representa, a nivel mundial, el 0,11% de los 880 millones de turistas internacionales de ese año en el mundo. (Organización Mundial de Turismo) Según las estadísticas más recientes emitidas por el Ministerio de Turismo del Ecuador, en el período enero-diciembre de 2010 la entrada de extranjeros al país se incrementó en un 8,1% con respecto al año anterior: pasó de 968 499 visitantes a 1 047 098. (M. D. ECUADOR, ENTRADAS Y SALIDAS EN EL ECUADOR 2007-2011)

Según *Comportamiento del Turismo: Diciembre 2010*, documento publicado por el Ministerio de Turismo, el principal origen de los turistas que llegan al Ecuador es el

continente americano; se destacan los siguientes países: Estados Unidos (23,79%), Colombia (19,48%) y Perú (14,73%). El segundo continente que aporta más visitantes al Ecuador es Europa; provienen principalmente de: España (5,64%), Alemania (2,39%), Gran Bretaña (2,14%) y Francia (1,94) (M. D. ECUADOR, COMPORTAMIENTO DEL TURISMO)

El Estado ecuatoriano ha proyectado al turismo como área estratégica de desarrollo junto con el petróleo, la minería, las telecomunicaciones, la generación de energía, la pesquería agroindustrial y la red vial. El Gobierno Nacional ha hecho un incremento presupuestario en el sector turístico: el Presupuesto General del Estado contempló en 2010 un valor de 33 828 410,16 dólares destinados al sector turístico. (M. D. ECUADOR)

Según las *Estadísticas Turísticas Agosto 2011*, publicadas en el sitio web del Ministerio de Turismo del Ecuador, en el primer trimestre del año 2011 los ingresos por turismo, en relación con el total de ingresos por exportaciones de producto principal, se encuentran en quinto lugar, antecedidos por: petróleo crudo, plátano, camarón y derivados del petróleo. En el primer trimestre de 2011, el turismo representó un ingreso de 214,5 millones de dólares, es decir se incrementó en el 13,43% con relación al primer trimestre de 2010, cuyo ingreso fue de 189,1 millones de

dólares. (M. D. ECUADOR, ESTADISTICAS TURISTICAS AGOSTO 2011) "El turismo en el Ecuador se revela como un sector en constante crecimiento que emplea de forma directa a 153 295 personas". (CENSO) Según las estadísticas emitidas por el MINTUR, los ingresos que generó el turismo en 2009 fueron de 667,3 millones de dólares, mientras que en 2010, se elevaron a 786,6 millones de dólares, lo que significa un incremento del 17,87%. (M. D. ECUADOR, ESTADISTICAS TURISTICAS AGOSTO 2011) En 2010 se invirtieron 173,4 millones de dólares en 12 proyectos destinados a mejorar la infraestructura aeroportuaria del país.

Quito fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 1978, Quito ostenta este título, igual que otras ciudades del mundo como Sucre, Potosí, Valparaíso, Toledo, Santiago de Compostela, La Habana, Verona, Cusco, Edimburgo y el Vaticano. Quito tiene el centro histórico más grande y mejor restaurado de América Latina, cuyo origen data de mediados del siglo XVI y cuya arquitectura se caracteriza por una simbiosis cultural y formal entre la influencia hispánica y la americana. (UNESCO)

#### **4. DESARROLLO DEL SISTEMA**

Debido a las dificultades de realizar las pruebas necesarias en un lugar turístico, el desarrollo de este proyecto se lo realizó en los pasillos del tercer piso del edificio Maxwell de la Universidad San Francisco de Quito.

Para la presente tesis se utilizó lo siguiente:

- Teléfono móvil LG Optimus One P500, Figura 10, con las siguientes características principales:
  - o Tamaño de la pantalla: 3.2".
  - o Resolución de la pantalla: 320x480 pixeles.
  - o Memoria interna: 170 MB.
  - o Memoria RAM: 512 MB.
  - o Wi-Fi 802.11 b/g.
  - o Bluetooth v2.1
  - o Resolución cámara: 3.15MP.
  - o Sistema Operativo: Android v2.2 (Froyo)
  - o Procesador de 600MHz ARM 11
  - o GPS con soporte de A-GPS.



Figura 10: LG Optimus One P500

- Tres Routers inalámbricos TP-Link TL-WR740N, Figura 11, con las siguientes especificaciones técnicas:
  - o Tasas de datos de has 150 Mbps.
  - o Estándar b,g y algunas características de 802.11 n
  - o Soporta PPPoE, acceso a internet con IP dinámica y estática.
  - o Rango de frecuencias: 2.4-2.4835 GHz.
  - o EIRP: <20dBm
  - o Antena omni direccional con ganancia de 5dBi.





Figura 11: TP-Link TL-WR740N

El primer paso para desarrollar el sistema fue el levantamiento del mapa con sus respectivas dimensiones, el mapa obtenido es el siguiente:

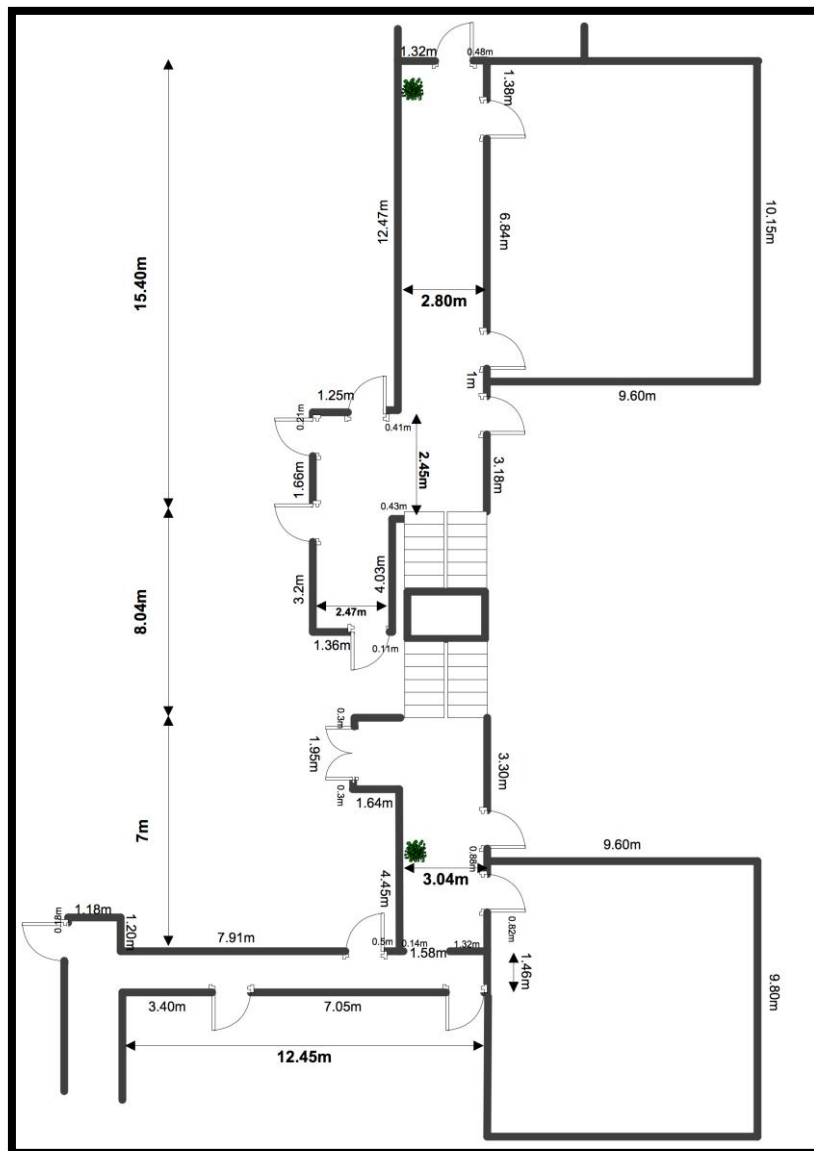


Figura 12: Mapa Maxwell Tercer Piso

Para el presente proyecto contempla dos métodos de posicionamiento, el primero el método de *La Huella*, y el segundo método de *Matriz H*, los cuales se explican con detalle en el capítulo 4.1.1 (pg. 65) y 4.1.2 (pg. 67) respectivamente; para ambos métodos se necesita tomar medidas de las potencias recibidas en los diferentes puntos del mapa, para esto se creó un programa que se encarga de escanear 500 veces la potencia recibida de cada uno de los

tres Routers y despliega en la pantalla la media de estas 500 muestras, con su respectiva desviación estándar.

Inicialmente la ubicación de los tres Routers se la estableció tomando en cuenta que la potencia recibida en el dispositivo móvil sea mayor al umbral de recepción del mismo (-100dBm) en todos los puntos a cubrir por el proyecto, como se indica en la Figura 13: Mapa Maxwell Tercer Piso con primera distribución de routers; los tres routers se ubicaron a una misma altura de 1.04 m debido a que es aproximadamente la altura a la cual se sostiene un dispositivo móvil. El router ubicado en el centro tiene un dirección MAC F4:EC:38:C1:80:66, el cual en adelante se lo denominará como "Router 1"; el router ubicado en la parte superior del mapa, con dirección MAC F4:EC:38:C1:80:24, en adelante se lo denominará como "Router 2" y al Router ubicado en la parte inferior del mapa, con dirección MAC F4:EC:38:C1:80:5C, en adelante se lo denominará como "Router 3".



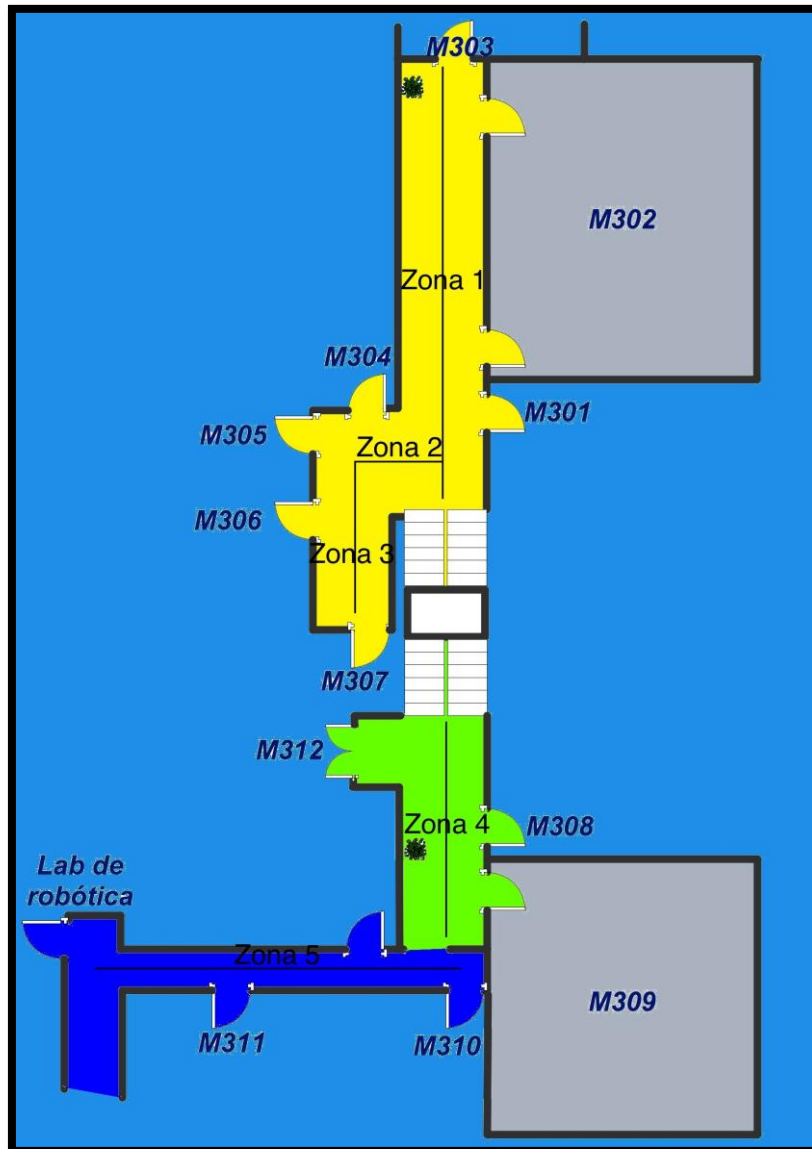


Figura 14: Zonas a cubrir por el proyecto

Para las zonas de la uno a la cuatro se tomaron medidas cada 0.5m, como se indica en fotos del ANEXO 1A, mientras que para la quinta zona se tomó muestras cada metro debido a que se encuentran pocas aulas en un espacio amplio, todas las muestras se las tomó en el centro de todos los pasillos. Para la primera zona se obtuvieron 30 muestras, 8 para la segunda, 11 para la tercera, 16 para la cuarta y 12 para la quinta zona, dando un total de 77 muestras por cada router.

Por cada zona y por cada router se tomaron 5 valores, con el objetivo de no obtener muestras sesgadas, estos valores se los puede ver en la tabla del Anexo 1B.

Se ubicó a los routers 2 y 3 en una segunda posición, *Figura 15: Mapa Maxwell Tercer piso con segunda distribución de routers* debido a problemas presentados en el método de Matriz H, los mismos que se explican en mayor detalle en el capítulo 4.1.2 en la página 67, al igual que en la primera distribución se tomaron muestras cada 0.5 m para las zonas 1 a la 4 y cada metro para la zona 5, en la zona 4 se eliminaron dos muestras debido a que estos puntos ya se los toma en cuenta en la zona 5, adicional a esto se tomaron 5 muestras para el aula M302, 4 para el aula M309 y 3 para las gradas centrales, obteniendo un total de 87 muestras; para observar las muestras obtenidas refiérase al Anexo1C.

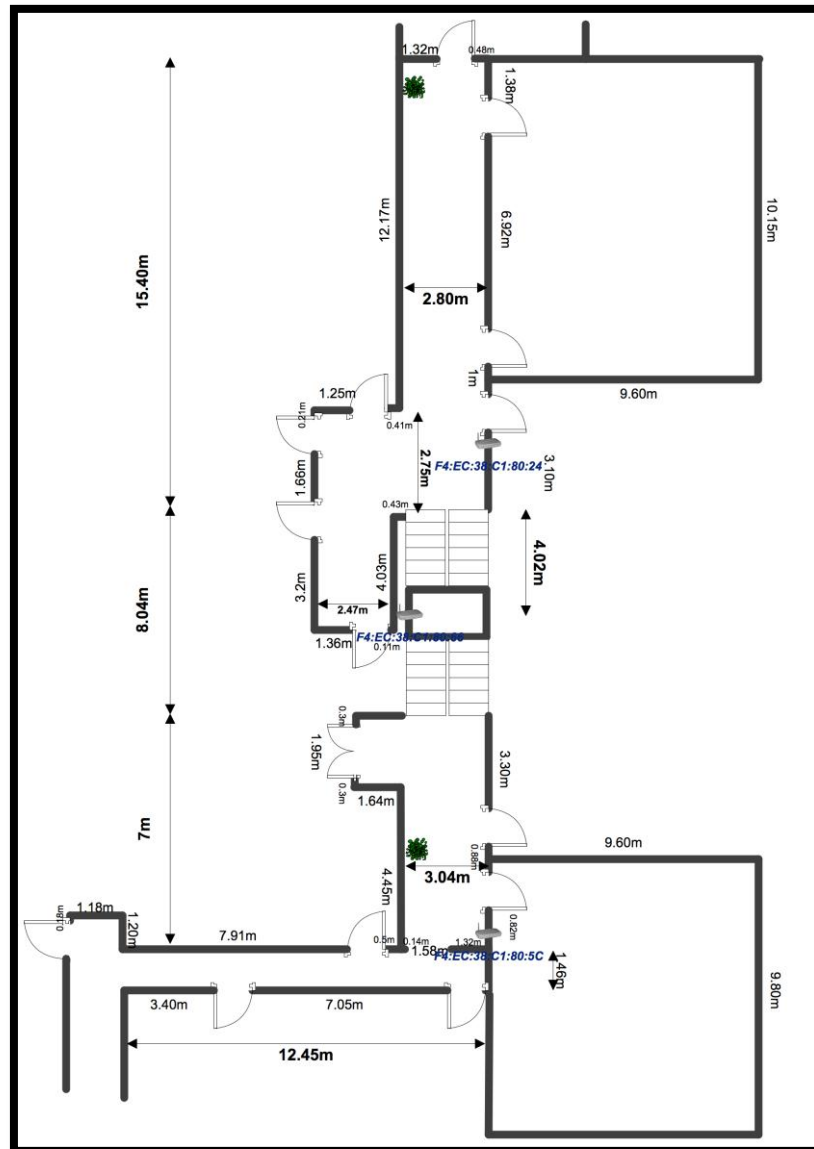


Figura 15: Mapa Maxwell Tercer piso con segunda distribución de routers

En las tablas de los Anexos 1B y 1C, "d\_Router1", "d\_Router2" y "d\_Router3" se refieren a la distancia entre el punto de donde fue tomada la muestra y cada uno de los routers, para la zona 1 "d(m)" se refiere a la distancia medida desde el aula M303 (ubicada en la parte superior del mapa) hasta final de las gradas centrales, para la zona 2 "d(m)" se refiere a la distancia medida desde el aula M305 hasta el punto de intersección entre las zonas 1 y 2, para

la zona 3 "d(m)" se refiere a la distancia medida desde el aula M307 hasta el punto de intersección entre las zonas 2 y 3, para la zona 4 "d(m)" se refiere a la distancia medida desde el final de las gradas centrales hasta el final de la zona 4 y para la zona 5 "d(m)" se refiere a la distancia medida desde el laboratorio de robótica hasta el aula M309.

#### **4.1 DISEÑO DEL SISTEMA**

Para el presente proyecto se implementaron dos métodos de posicionamiento, los cuales son los siguientes:

- El primero y el más común para posicionamiento en interiores es el método de la Huella, el cual consiste de dos fases: la fase inicial o fase de calibración en la cual se almacenan todos los valores de potencia recibida de los diferentes puntos de acceso en una base de datos y la fase de estimación en donde los nuevos valores de las potencias recibidas son comparados con los valores obtenidos en la fase inicial los cuales han sido previamente asignados a un punto en el mapa.
- El segundo método usa en su fase inicial el modelo de pérdidas de trayectoria de Hata-Okumura para estimar la distancia entre los routers y el dispositivo móvil, y en su fase final el algoritmo de la matriz H, usado en los sistemas GPS, para obtener la posición del usuario a partir de las distancias



calculadas previamente, de aquí en adelante a este método de posicionamiento se lo denominará "Matriz H".

#### **4.1.1 Método de la Huella**

Como se indicó antes se realizaron dos distribuciones diferentes de los routers 2 y 3, para ambas ubicaciones se tomaron las muestras de igual manera, es decir cada 0.5m para las zonas de la 1 a la 4 y cada metro para la zona 5, sin embargo para la segunda distribución se tomó en cuenta la posición del usuario en las gradas centrales del tercer piso y las aulas M302 y M309, a pesar de que el número de muestras y el resultado difiere, la metodología usada es la misma. Durante la fase de calibración las potencias recibidas en cada punto del muestreo son almacenadas en el sistema, creando una mapa de potencias, posteriormente, en la fase de estimación, para definir la posición del usuario el nuevo valor escaneado es comparado con los valores almacenados en la base de datos obtenidos previamente en la fase inicial, para finalmente obtener el punto más parecido el cual nos indica la posición calculada en el mapa de potencias. El algoritmo de posicionamiento usado para comparar los valores es el de "Mínima Distancia Euclidiana" el cual usa la siguiente formula calcular la similitud entre dos muestras con n cantidad de routers, como indica la siguiente formula:

## Ecuación 13

$$d = \sqrt{(SS_{ci1} - SS_{m1})^2 + \dots + (SS_{cin} - SS_{mn})^2}$$

Donde  $SS_{cij}$  representa el valor previamente almacenado de la potencia del router  $j$  en el punto  $i$ ,  $SS_{mj}$  representa el valor de la potencia del router  $j$  en la fase de estimación y  $d$  es el valor a comparar para los diferentes puntos, en este caso 77 para la primera distribución de los routers y 87 para la segunda, con el objetivo de encontrar el menor valor de  $d$ , el cual indica las tres potencias almacenadas en la base de datos que más se asemejan a las tres potencias escaneadas en la fase de estimación. (Grossmann y Markus)

Posteriormente para representar la posición del usuario con un punto en el mapa, en la base de datos a cada una de las muestras tomadas en la fase inicial se le asignó un valor de  $x$  e  $y$  en píxeles, para representar la posición del usuario gráficamente en el dispositivo móvil, dependiendo del lugar en el que fue tomada dicha muestra, en donde la distancia de un metro es equivalente a 11 píxeles de la pantalla del dispositivo utilizado, todo este proceso se muestra en la siguiente figura.

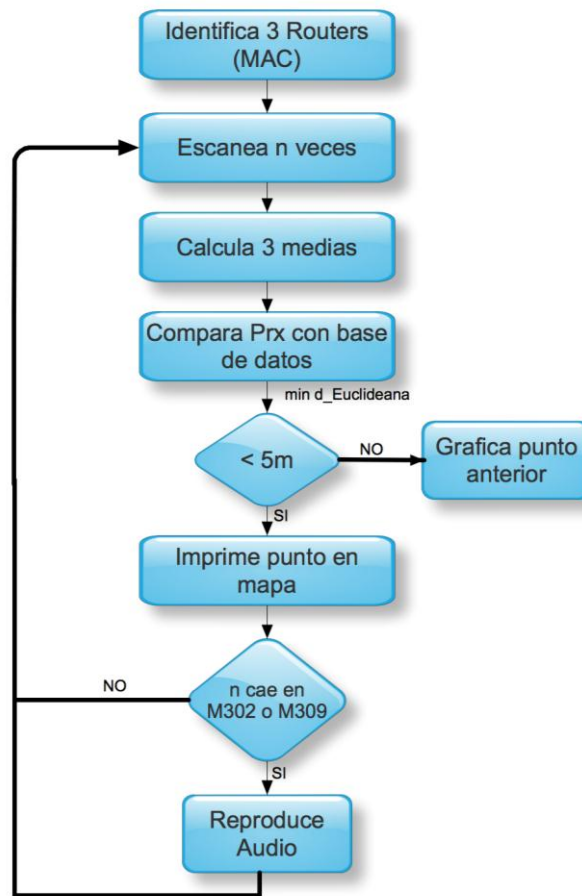


Figura 16: Diagrama de bloques del método huella

Los anexos 1D y 1E representan las medias de las cuatro potencias recibidas de cada router por punto, indicadas en los anexos 1B y 1C respectivamente. Estos datos de los anexos 1D y 1E son las bases de datos de la fase inicial de los programas del método Huella.

#### 4.1.2 Método Matriz H

El método Matriz H se compone de dos secciones que son: 1. Modelo de pérdida de trayectoria y a partir de estos resultados 2. Determinación de la posición usando Matriz H.

1. Modelo de pérdida de trayectoria: en esta primera fase del sistema se calcula las distancias entre los tres routers y el usuario, para obtener esta distancia se utiliza el modelo empírico de pérdida de trayectoria de Hata-Okumura para interiores:

Ecuación 14

$$\log d = \frac{1}{10n} (P_{TX} - P_{RX} + G_{TX} + G_{RX} - X_{\alpha} + 20 \log \lambda - 20 \log(4\pi))$$

donde  $d$  es la distancia estimada entre el transmisor y el receptor,  $P_{TX}$  (dBm) es el nivel de potencia transmitida,  $P_{RX}$  (dBm) es el nivel de potencia medida por el receptor,  $G_{TX}$  (dBi) es la ganancia de la antena del transmisor,  $G_{RX}$  (dBi) es la ganancia de la antena del receptor,  $\lambda$  (m) es la longitud de onda de la señal,  $n$  es una medida de influencia de los obstáculos como paredes, puertas y divisiones, este valor generalmente esta entre 2 y 7 dependiendo del medio en el que se realicen las pruebas; finalmente  $X_{\alpha}$  es una variable aleatoria normal con desviación estándar  $\alpha$ .

Para el caso específico del presente proyecto se utilizaron los siguientes valores:  $P_{TX} = 15 \text{ dBm}$ ,  $G_{TX} = 5 \text{ dBi}$ ,  $\lambda = 0.1228 \text{ m}$  debido a que los routers transmiten a una frecuencia media de 2.44175GHz, valores obtenidos del datasheet del fabricante de los routers, anexo 2A,  $G_{RX} = 2 \text{ dBi}$ , valor promedio de ganancia de antenas para dispositivos

móviles (Bose y Heng Foh), los valores de  $n$  y  $X\alpha$  se obtuvieron a partir de las muestras indicadas en el Anexo 1E, como se muestra en las siguientes figuras obtenidas a partir de la segunda distribución de los routers.

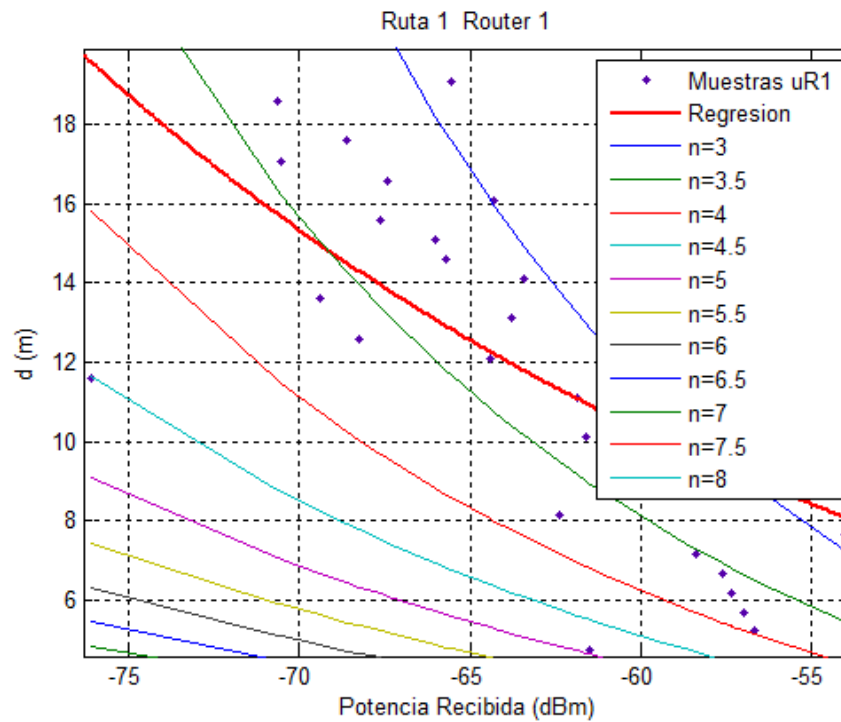


Figura 17: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 1 y modelo de pérdidas con varios  $n$

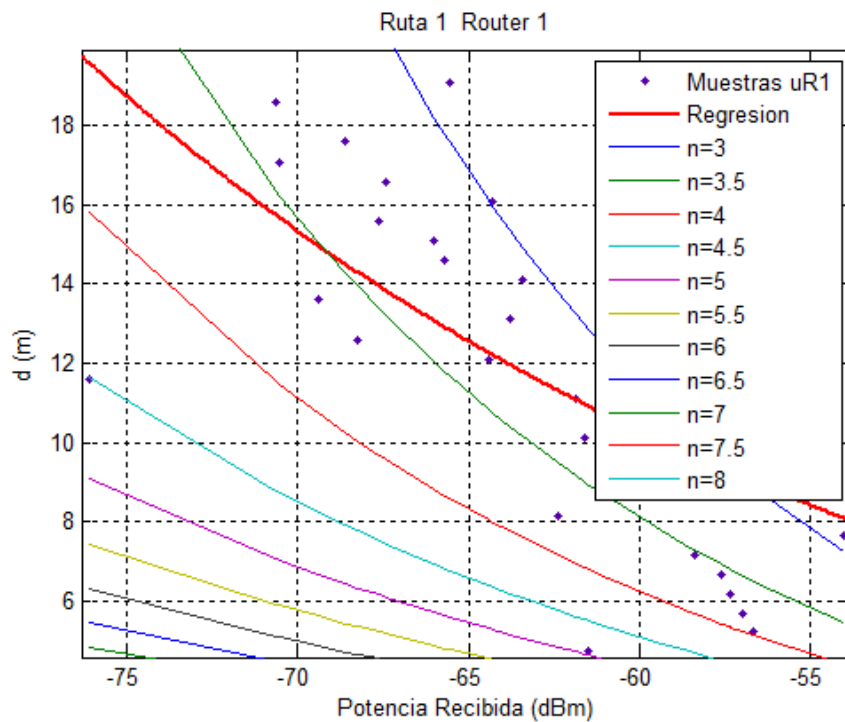


Figura 17 los puntos representan las muestras tomadas de distancia con relación a la potencia recibida del router 1 en la zona 1, la regresión se la obtuvo usando el toolbox Curve Fitting de Matlab de tipo exponencial de la forma  $a * e^{b*x}$ , las otras curvas representan la Ecuación 14 para diferentes valores de  $n$ , usando un  $X_{\alpha} = 0$ ; después de analizar qué valor de  $n$  se ajusta más a la curva de la regresión se procedió a buscar el valor de  $X_{\alpha}$  que mejore este ajuste como se muestra en la Figura 18: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 1.

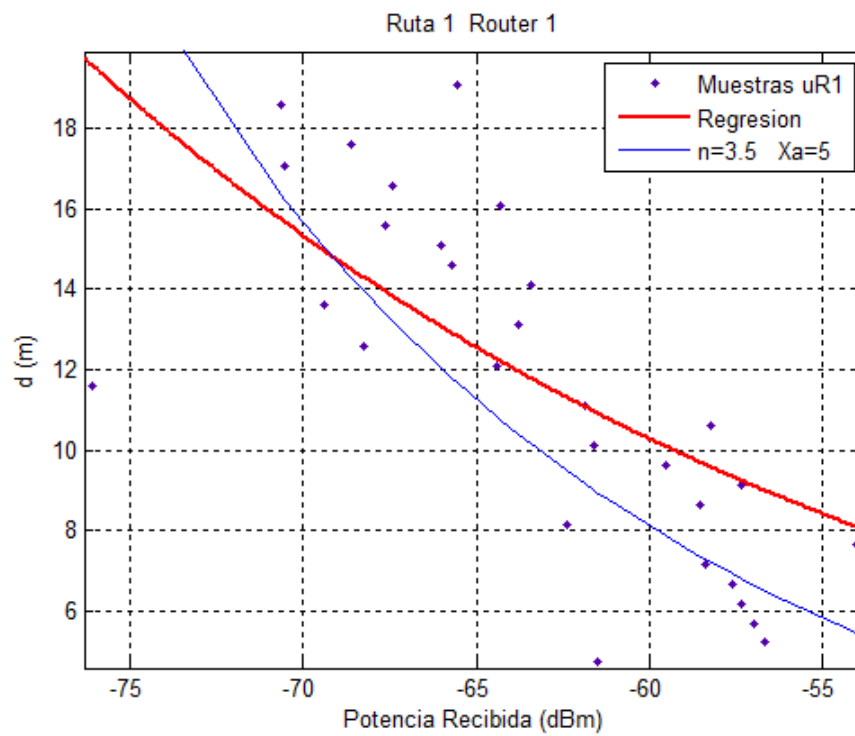


Figura 18: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 1.

Este procedimiento, para encontrar los valores de  $n$  y  $X\alpha$  de la Ecuación 14 que más se ajusten a la regresión obtenida a partir de las muestras, se lo realizó de la misma forma para las diferentes zonas con cada router, como indican las siguientes figuras.

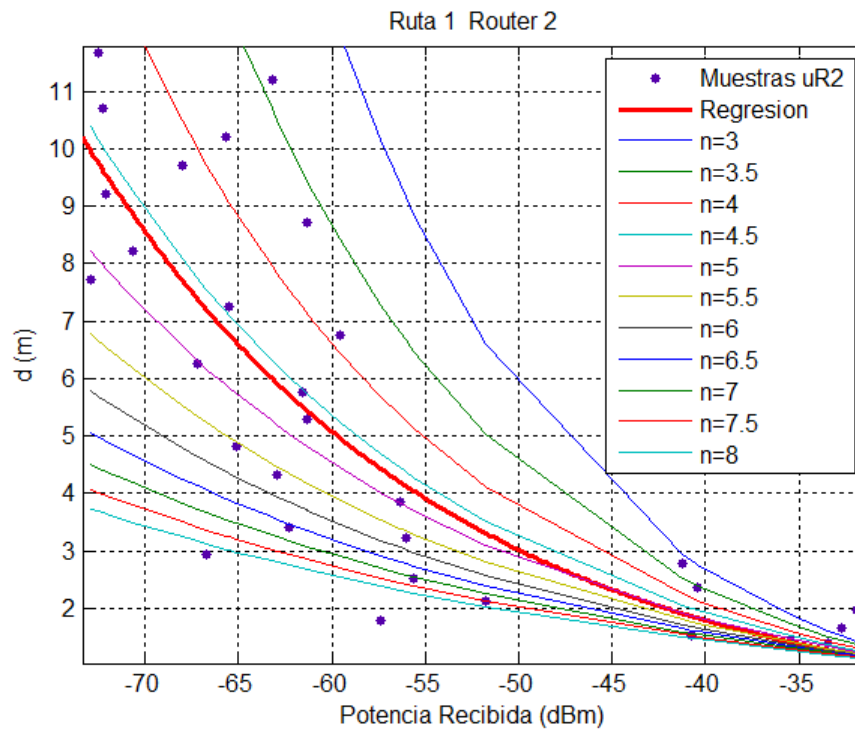


Figura 19: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 2 y modelo de pérdidas con varios  $n$

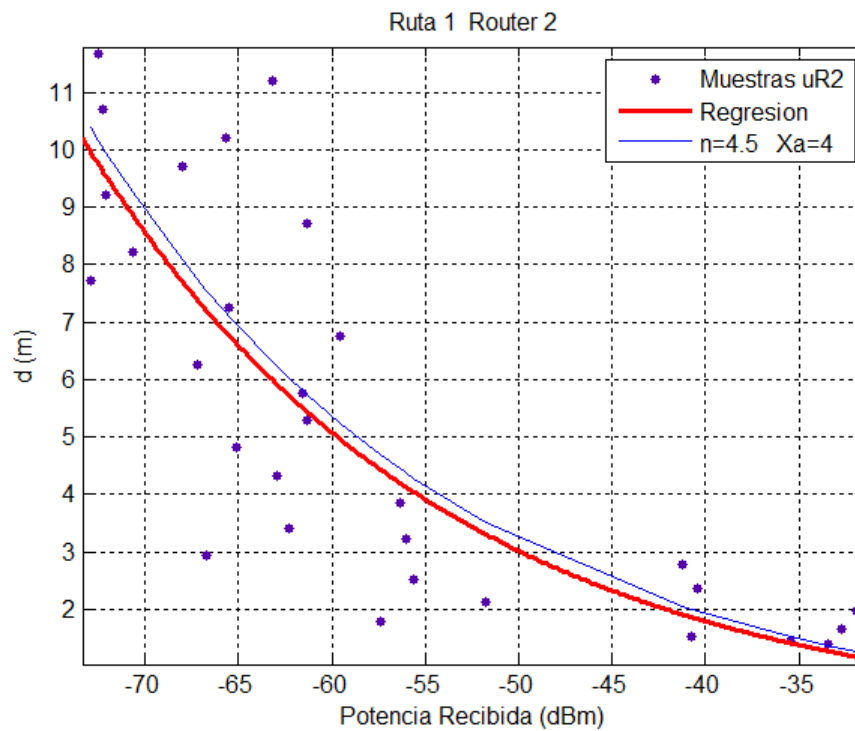


Figura 20: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 2.



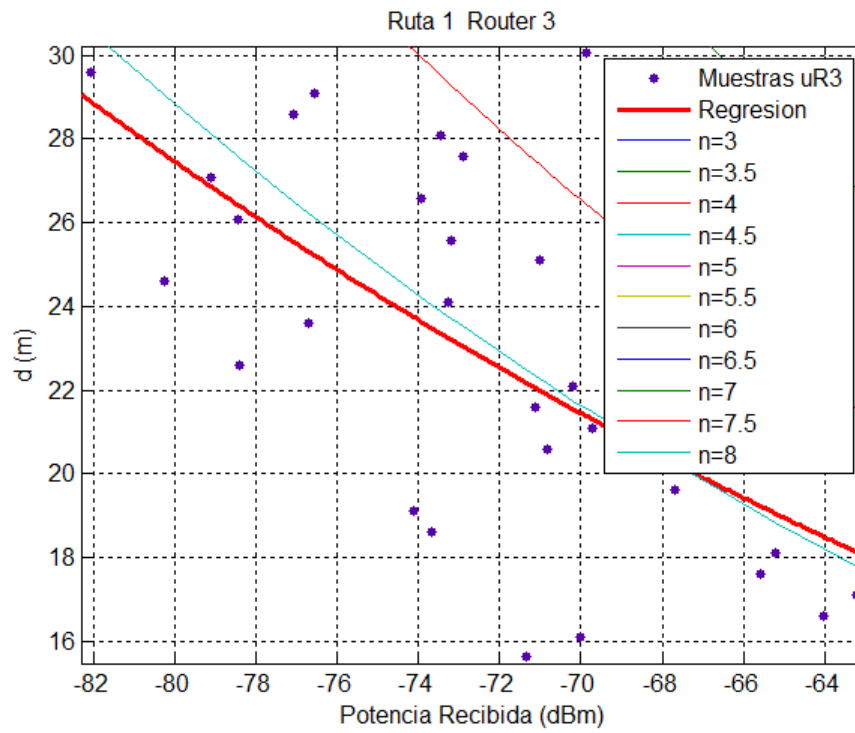


Figura 21: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 3 y modelo de pérdidas con varios  $n$

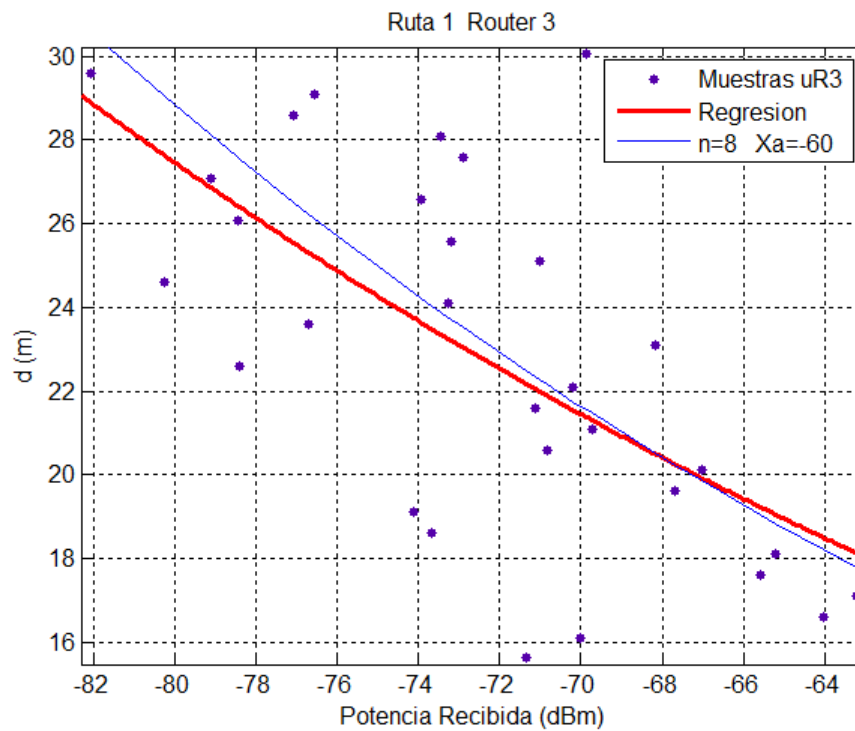


Figura 22: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 3.

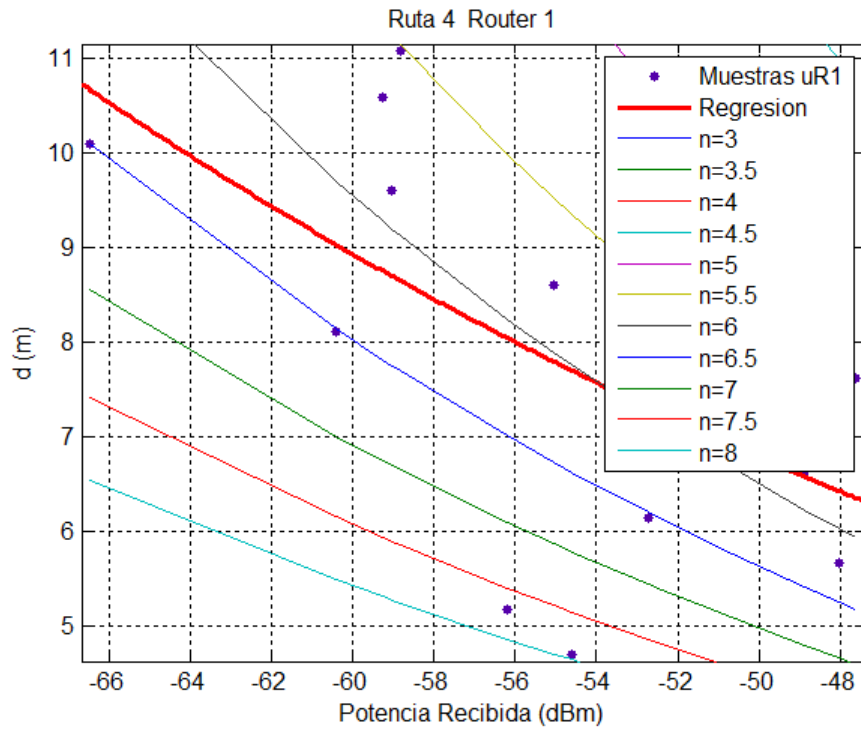


Figura 23: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 1 y modelo de pérdidas con varios n

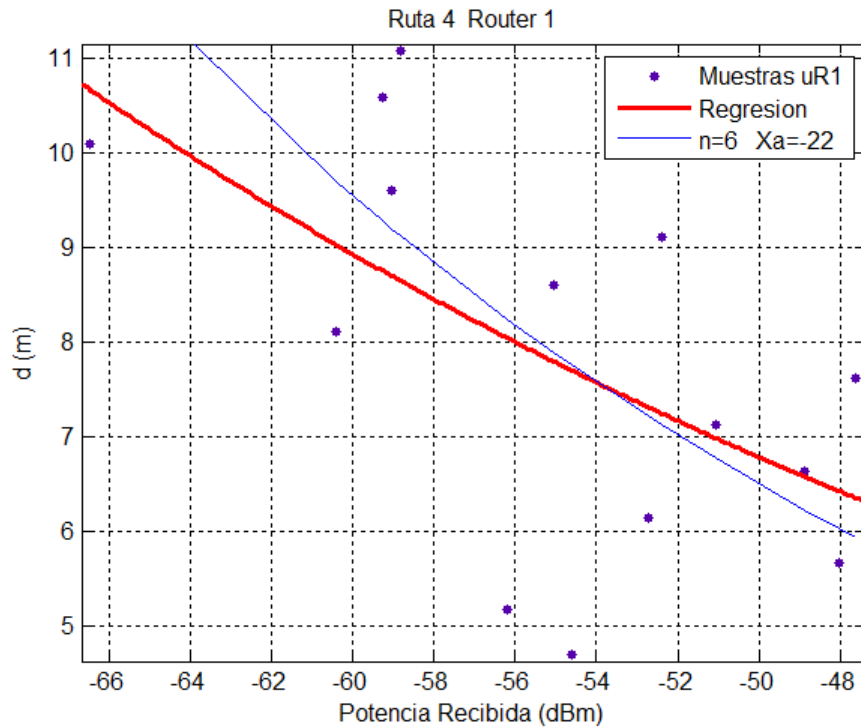


Figura 24: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 4 con el router 1.

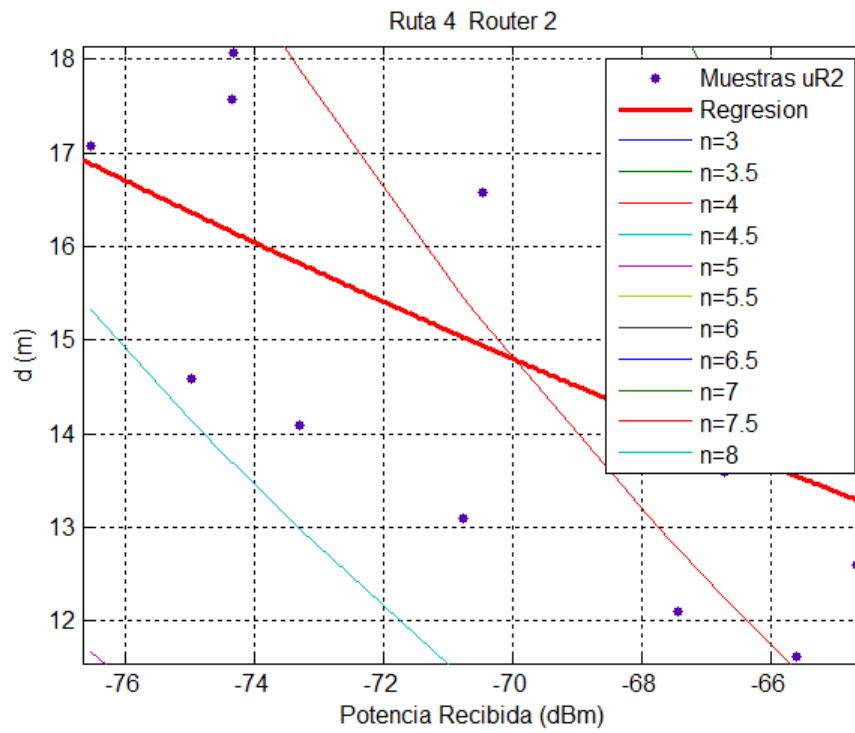


Figura 25: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 2 y modelo de pérdidas con varios n

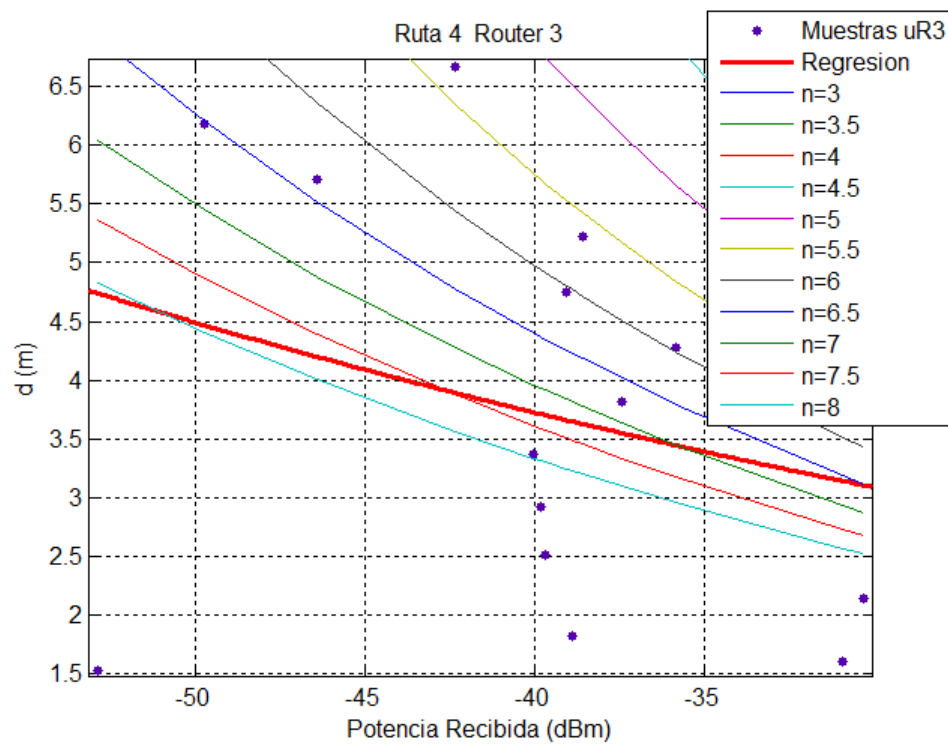


Figura 26: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 3 y modelo de pérdidas con varios n

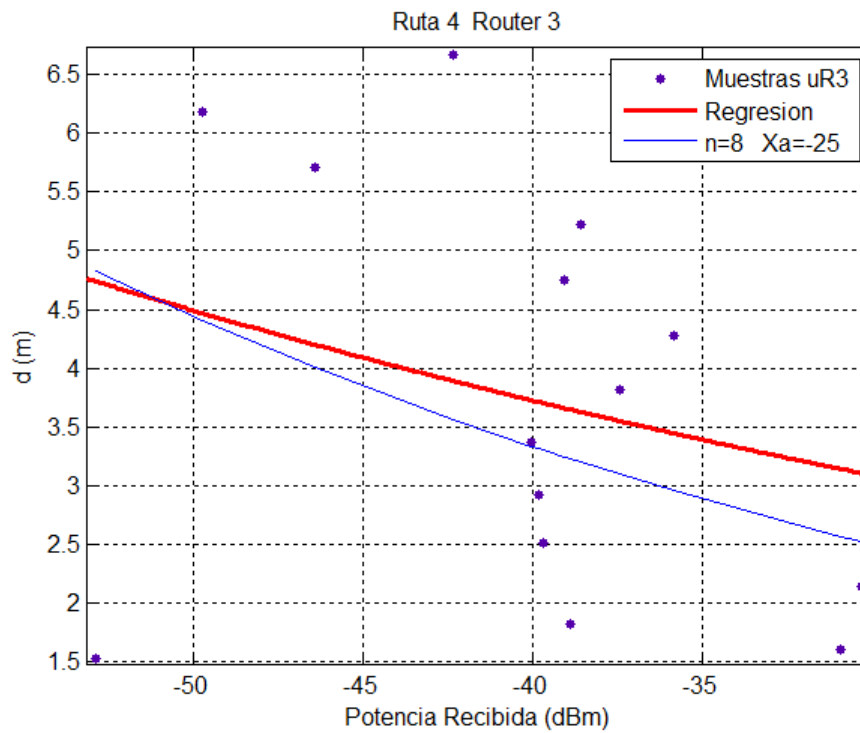


Figura 27: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 4 con el router 3.

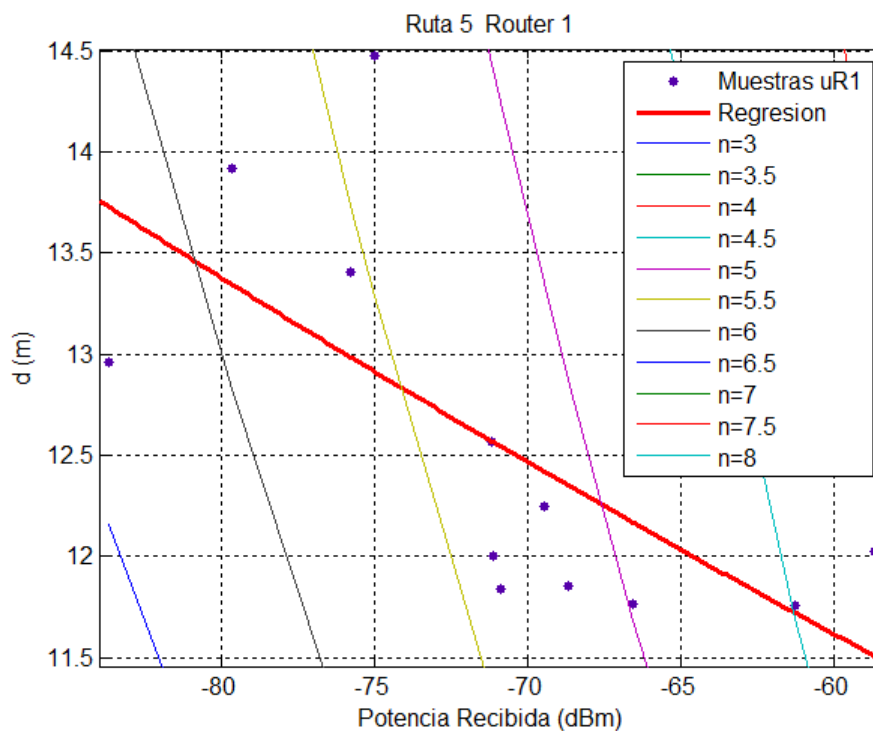


Figura 28: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 1 y modelo de pérdidas con varios  $n$

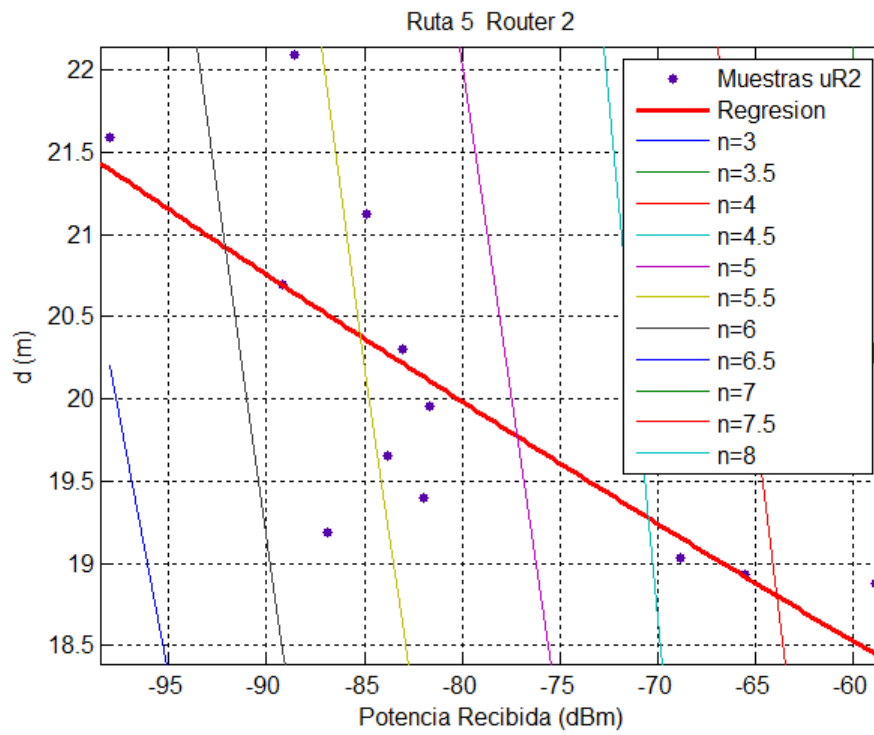


Figura 29: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 2 y modelo de pérdidas con varios  $n$

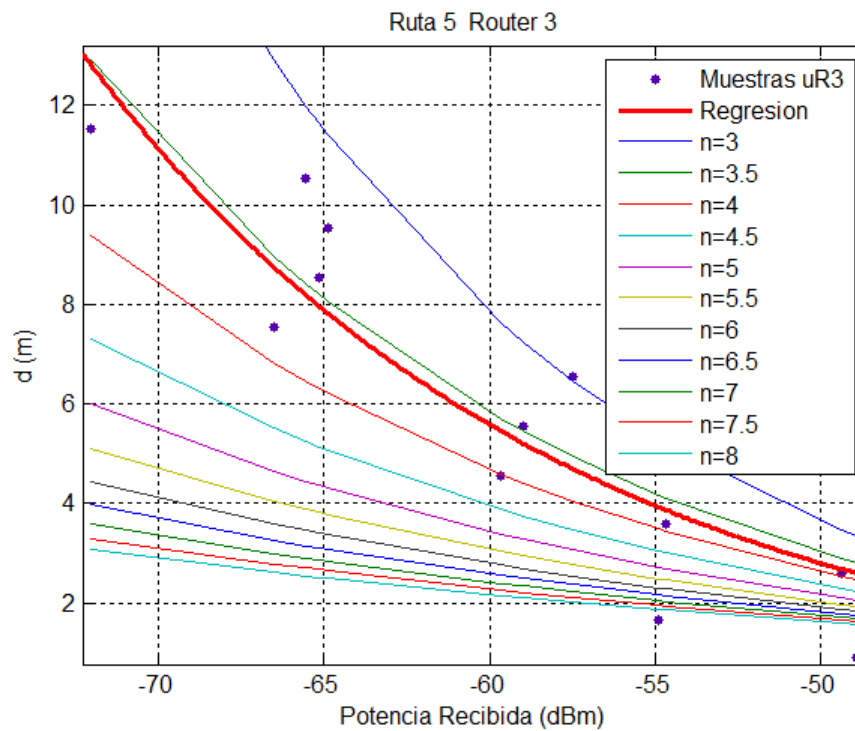


Figura 30: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 3 y modelo de pérdidas con varios  $n$

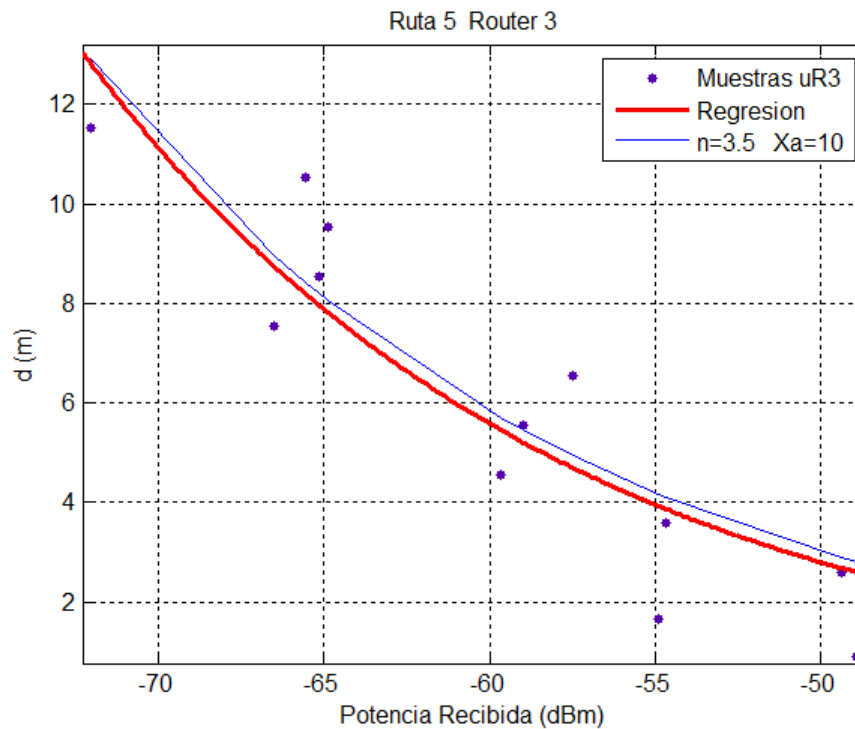


Figura 31: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 5 con el router 3.

Como se puede notar para la Figura 29 y Figura 30 no existe un valor adecuado de  $n$  y  $Xa$  que se ajuste a la regresión obtenida de los datos; cabe recalcar que esto se debe a que no existe línea de vista en la zona 5 con los routers 1 y 2.

Como se menciona en la introducción del capítulo 4 en la página 54, se cambió la distribución de los routers después de haber obtenido los resultados de la Figura 32, Figura 33 y Figura 34 en la zona 2 y la Figura 35, Figura 36 y Figura 37 en la zona 3; los cuales fueron tomados con la primera distribución (Figura 13), en dicha zona como se había mencionado antes no hay un  $n$  y  $Xa$  ya que no tiene línea de vista con ninguno de los routers, por esta razón se decidió

no considerar las zonas 2 y 3 para el método matriz H, cubriendo las zonas 1, 4 y 5 las cuales forman trayectorias en una sola dimensión, considerando que la posición del usuario en la zona 5 es determinada únicamente por el router 3, en la zona 4 por los routers 1 y 3 y en la zona 1 por los routers 1 y 2, por esta razón el dispositivo debe diferenciar en que zona se encuentra para utilizar los routers adecuados.

La forma de diferenciar las zonas 1 y 4 es comparar la potencia recibida de los routers 2 y 3, si la potencia recibida del router 2 es mayor que la del router 3 el dispositivo determina que el usuario se encuentra en la zona 1 caso contrario determina que el usuario se encuentra en la zona 4, por esta razón se decidió cambiar la primera distribución de los routers 2 y 3 ya que en los primeros 9 metros de la zona 1 desde el centro de las gradas, la potencia recibida del router 3 era mayor a la del router 2, se concluyó que este efecto era causado por 2 factores: la distancia del router al centro de las gradas era de 16.18 m, mientras que la del router 1 era de 11.02 m, el otro factor fue la posición del router 3 el cual se encontraba en el centro del pasillo de la zona 4 formando una guía de onda y aumentando la potencia hacia la zona 1, mientras que el router 2 se encontraba pegado a la pared.

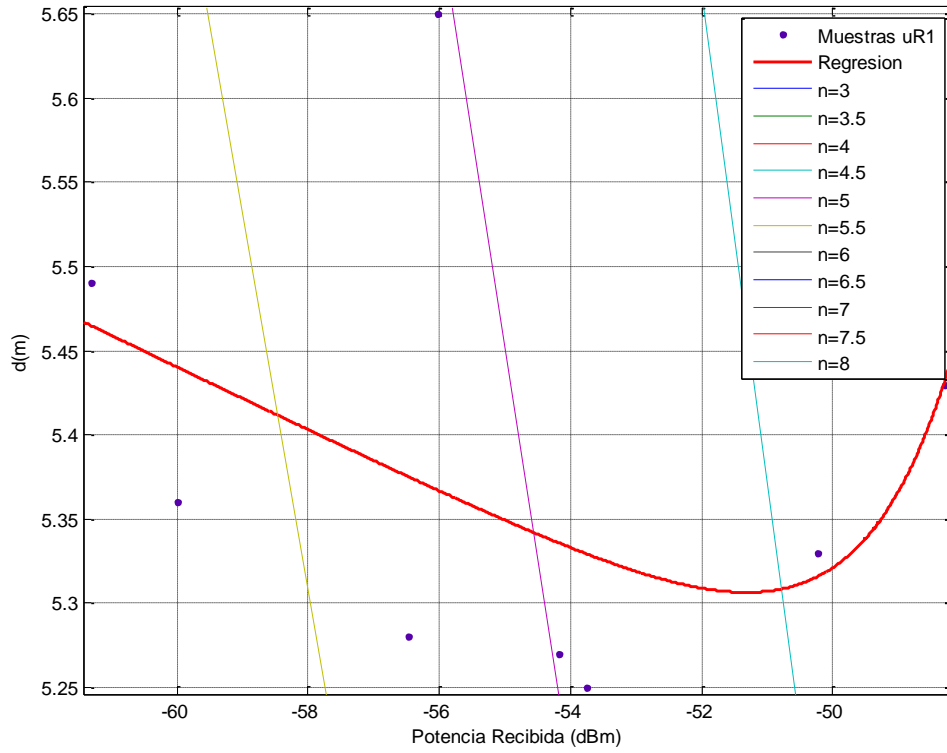


Figura 32: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 1 y modelo de pérdidas con varios n

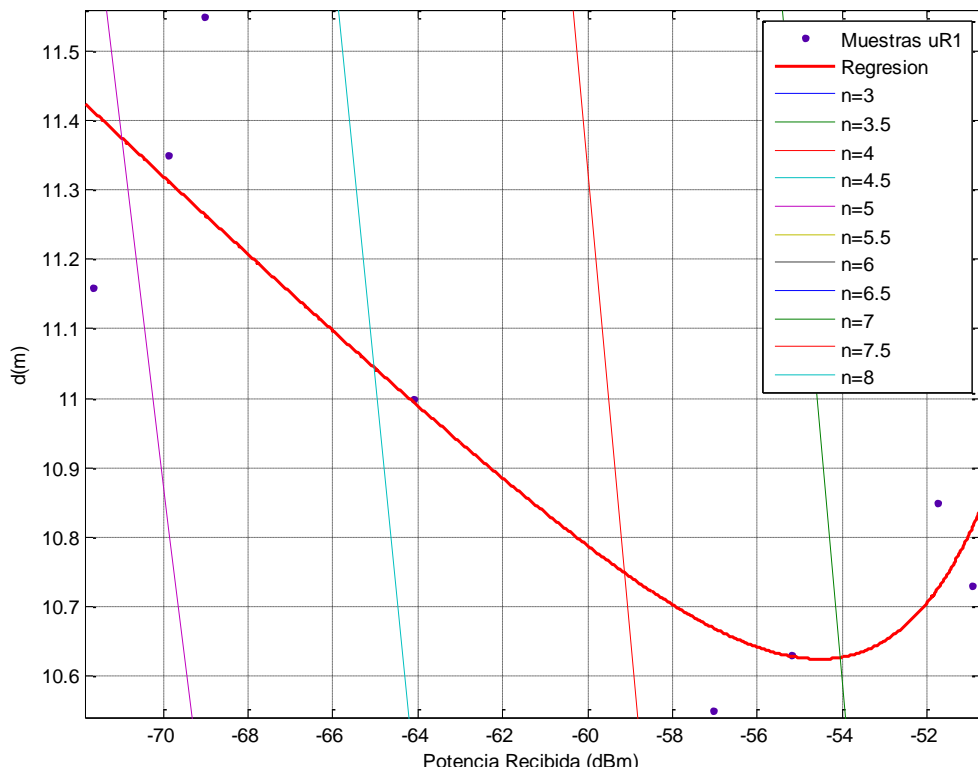


Figura 33: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 2 y modelo de pérdidas con varios n



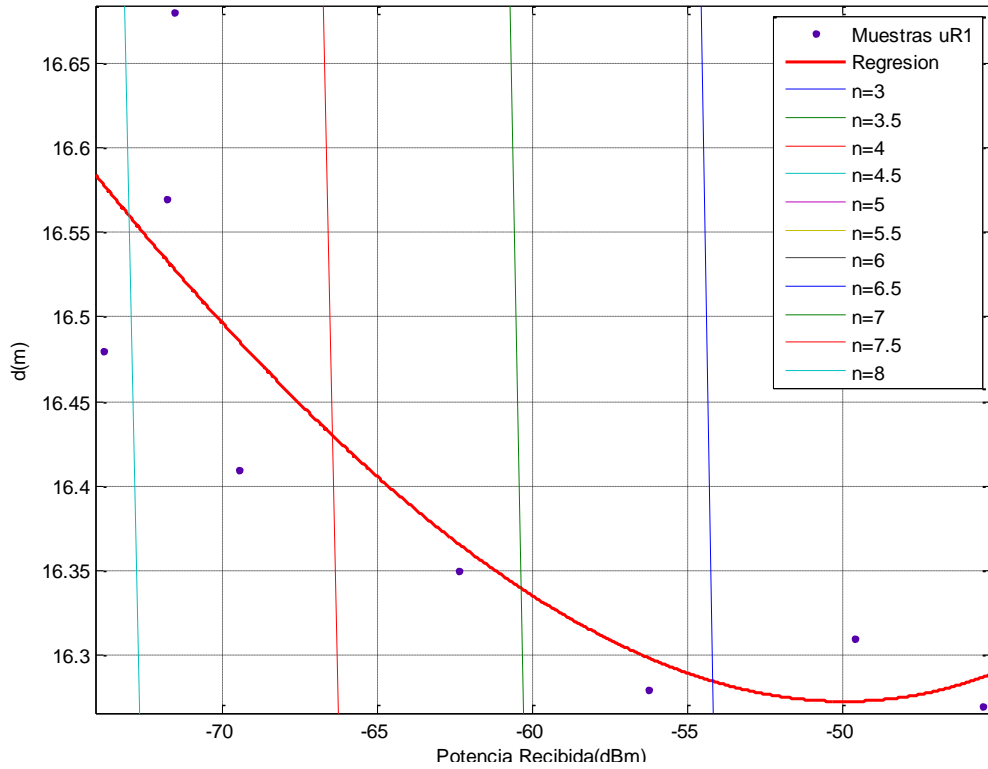


Figura 34: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 3 y modelo de pérdidas con varios  $n$

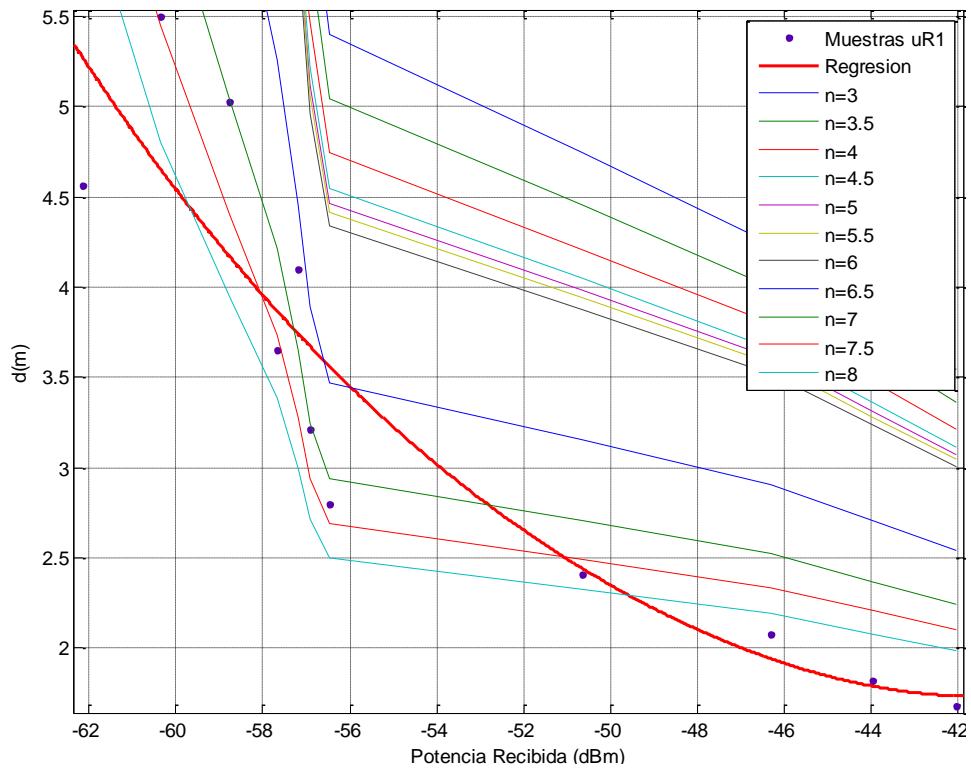


Figura 35: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 1 y modelo de pérdidas con varios  $n$

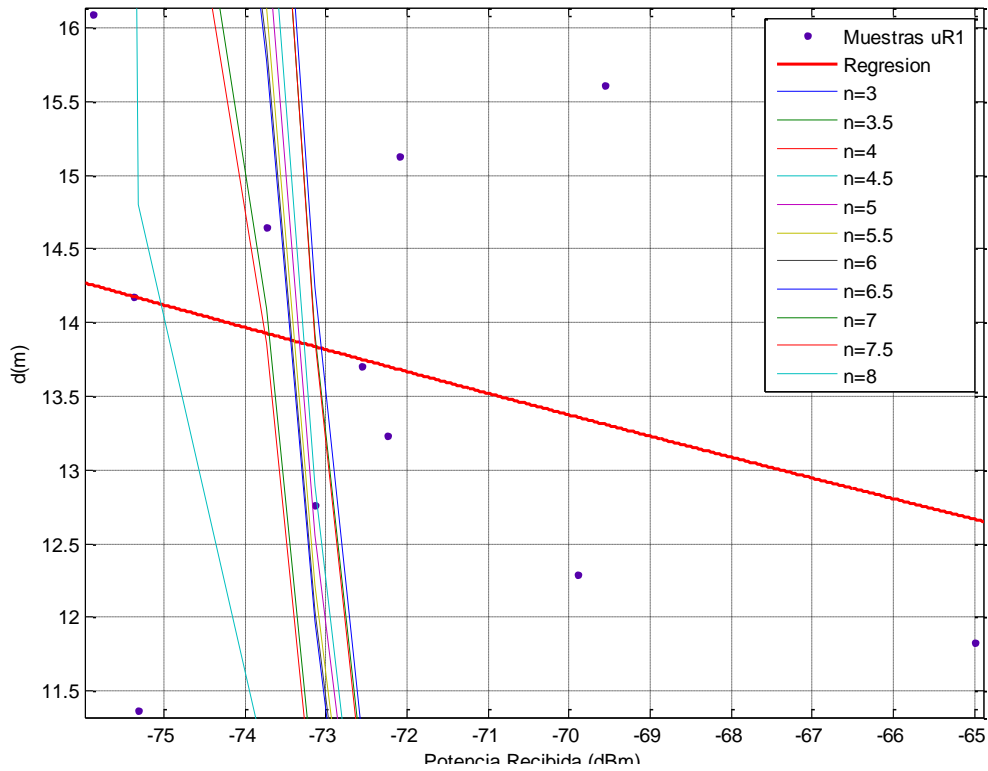


Figura 36: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 2 y modelo de pérdidas con varios n

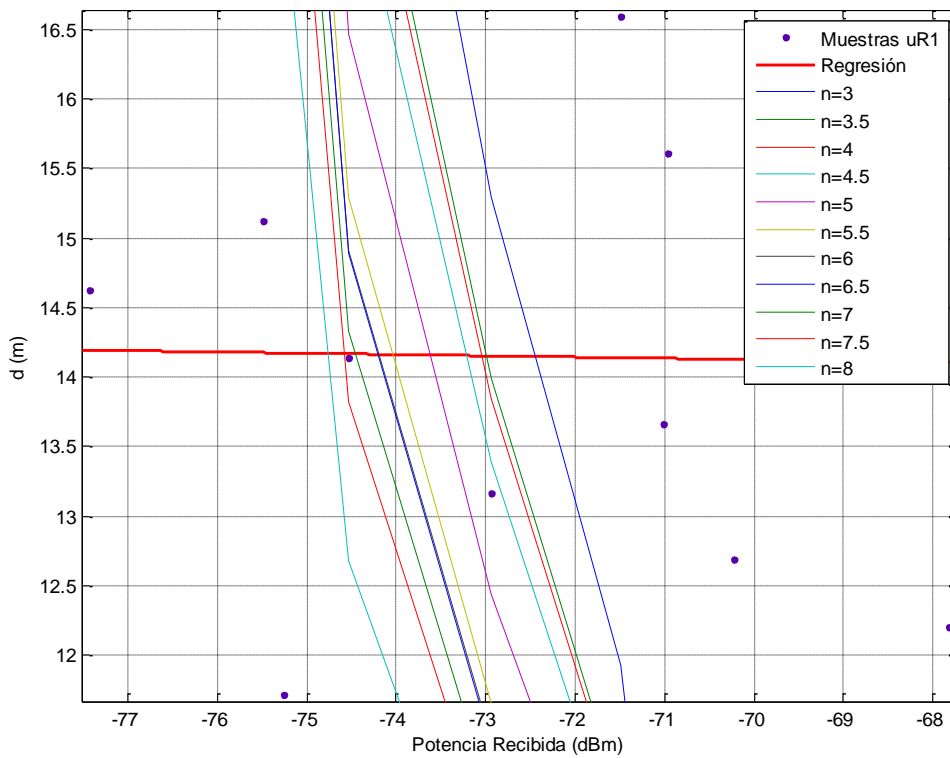


Figura 37: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 3 y modelo de pérdidas con varios n

A continuación se presenta un resumen de los valores de  $n$  y  $Xa$

ZONA 1			ZONA 4			ZONA 5		
Router	n	Xa	Router	n	Xa	Router	n	Xa
1	3.5	5	1	6	-22	1	-	-
2	4.5	4	2	-	-	2	-	-
3	-	-	3	8	-25	3	8	-25

Tabla 2: Resumen de  $n$  y  $Xa$

## 2. Determinación de la posición usando Matriz H

A continuación se presenta el diagrama de flujo del programa Matriz H:

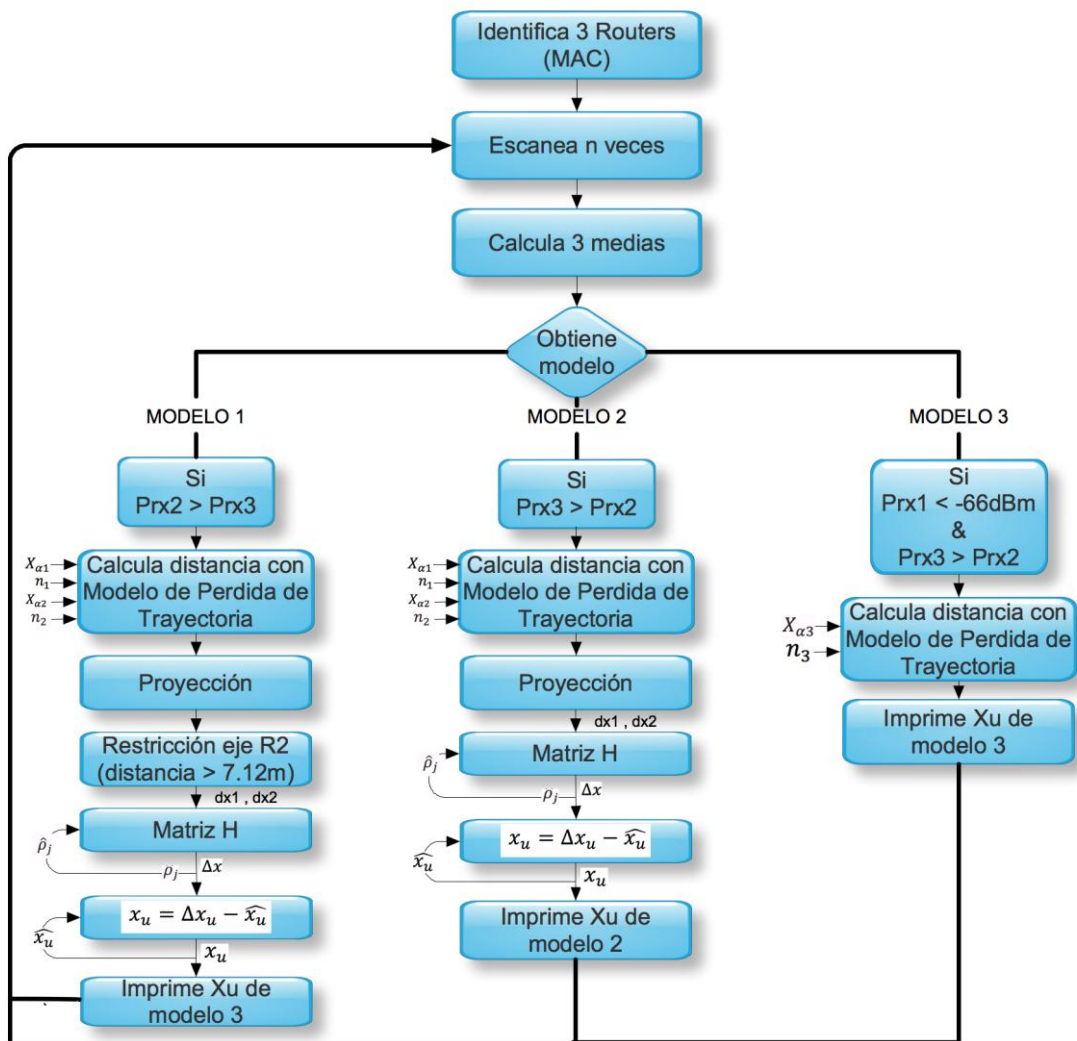


Figura 38: Diagrama de bloques programa Matriz H

Después de filtrar los tres routers del sistema, el programa identifica en que zona se encuentra dependiendo de las potencias recibidas, si la potencia del router 2 es mayor a la del router 3 se asume que se encuentra en la zona 1, en caso de que la potencia del router 3 sea mayor que la del router 2 se presentan dos opciones: zona 4 o 5, para distinguir entre estas dos zonas se ha determinado un umbral a partir de las medidas, si la potencia recibida del router 1 es menor a -66dBm, el sistema asume que se encuentra en la

zona 5, de no ser así el programa reconoce que esta en la zona 4.

Por simplicidad solamente se explicará el modelo uno, perteneciente a la zona 1, ya que es similar al modelo 2; y el modelo tres, perteneciente a la zona 5.

En el modelo uno se usan solo las potencias pertenecientes al router 1 y 2, y se calcula la distancia a partir del modelo de pérdida de trayectoria, con los datos de  $n$  y  $X_\alpha$  obtenidos previamente de las muestras tomadas, luego de obtener estas dos distancias se procede a sacar la proyección de los routers al centro del pasillo para poder trabajar en una sola dimensión, la única diferencia que existe entre el modelo 1 y 2 es la restricción en el modelo 1 para cuando existe una distancia mayor entre el router 1 y el usuario que entre el router 1 y 2, para este caso se cambia el signo del pseudorango medido por el router dos, como se explica con mayor detalle en un ejemplo presentado al final de este capítulo. Después los datos de las distancias pasan a procesarse en la Matriz  $H$ , a la cual ingresan las proyecciones de los pseudorángos y expulsa la variación de posición del usuario y el último pseudorango, que pasa a ser el pseudorango anterior para la próxima iteración; con estos valores se obtiene la distancia que existe desde el centro de coordenadas hasta el usuario, después de sumar la variación de la posición con la posición

anterior, y esta última posición pasa a ser la anterior en la siguiente iteración. Para finalmente graficar el punto de la posición en el mapa del dispositivo móvil.

Para el caso del modelo 3, simplemente se usa la distancia calculada a partir del modelo de pérdida de trayectoria para representar la posición del usuario, ya que en esta zona no hay línea de vista con los routers 1 y 2 como se indicó en las figuras de la ecuación del modelo de pérdida de trayectoria.

A continuación se presenta un ejemplo del uso de la Matriz H, con las medidas reales del modelo 1. El sistema GPS siempre debe tener una posición inicial de referencia, en el caso de este proyecto se toma como posición inicial el centro de las gradas es decir:

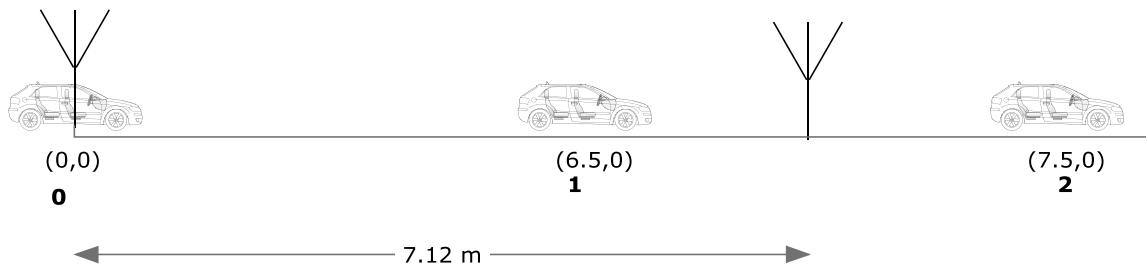


Figura 39: Ejemplo de determinación de la posición usando Matriz H

Asumiendo que el centro de coordenadas del sistema es justo en el router 1:

$$\hat{x}_u = 0 \quad \hat{\rho}_1 = 0$$

$$a_{xj} = \frac{x_j - \hat{x}_u}{\hat{r}_j} \quad a_{x1} = \frac{x_1 - \hat{x}_u}{\hat{r}_1} \quad a_{x2} = \frac{x_2 - \hat{x}_u}{\hat{r}_2}$$

$$\hat{r}_j = \sqrt{(x_j - x_u)^2}$$

Asumiendo que el usuario se encuentra entre el router 1 y el router 2:

$$a_{x1} = \frac{x_1 - \hat{x}_u}{\hat{r}_1} = \frac{0 - \hat{x}_u}{\hat{r}_1} = \frac{-\hat{x}_u}{\hat{x}_u} = -1$$

$$a_{x2} = \frac{x_2 - \hat{x}_u}{\hat{r}_2} = \frac{x_2 - \hat{x}_u}{|x_2 - \hat{x}_u|} = 1$$

$$H = \begin{bmatrix} a_{x1} & 1 \\ a_{x2} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H^{-1} = \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

El primer movimiento se asume que  $x_u = 6.5 \text{ m}$  :

$$\Delta r = H^{-1} \Delta \rho \quad \Delta \rho = \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \end{bmatrix} \quad \Delta \rho_j = \hat{\rho}_j - \rho_j$$

$$\Delta \rho_1 = \hat{\rho}_1 - \rho_1 = 0 - 6.5 = -6.5$$

$$\Delta \rho_2 = \hat{\rho}_2 - \rho_2 = 7.12 - 0.62 = 6.5$$

$$\Delta r = \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -6.5 \\ 6.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.5 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} \Delta x \\ -c\Delta_{tu} \end{matrix}$$

de estos valores obtenidos se usa solo el valor de  $\Delta x$  para obtener la posición del usuario , el valor de  $c\Delta_{tu}$  es usado cuando no se tiene sincronizado el reloj de los transmisores con el receptor.

$$\Delta x = x_u - \hat{x}_u$$

$$x_u = \Delta x + \hat{x}_u$$

$$x_u = 6.5 + 0 = 6.5$$

Segundo movimiento se traslada a  $x_u = 7.5 m$  :

$$\hat{x}_u = 6.5 \quad \hat{\rho}_1 = 6.5 \quad \hat{\rho}_2 = 0.62$$

$$\Delta\rho_1 = \hat{\rho}_1 - \rho_1 = 6.5 - 7.5 = -1$$

en esta parte hay que tener en cuenta que la distancia del origen al usuario es mayor que la del origen al router 2, y se debería modificar la matriz H, sin embargo al hacer este cambio daría como resultado una matriz H singular, con lo cual es imposible sacar la inversa, por lo tanto para solucionar este problema se cambia el signo del pseudorange medido desde el router 2, como se indica en la Figura 40: Eje de coordenadas por router.

$$\Delta\rho_2 = \hat{\rho}_2 - \rho_2 = 0.62 + 0.38 = 1$$

$$\Delta r = \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow \Delta x \\ \rightarrow -c\Delta t_u \end{matrix}$$

$$x_u = 6.5 + 1 = 7.5m$$



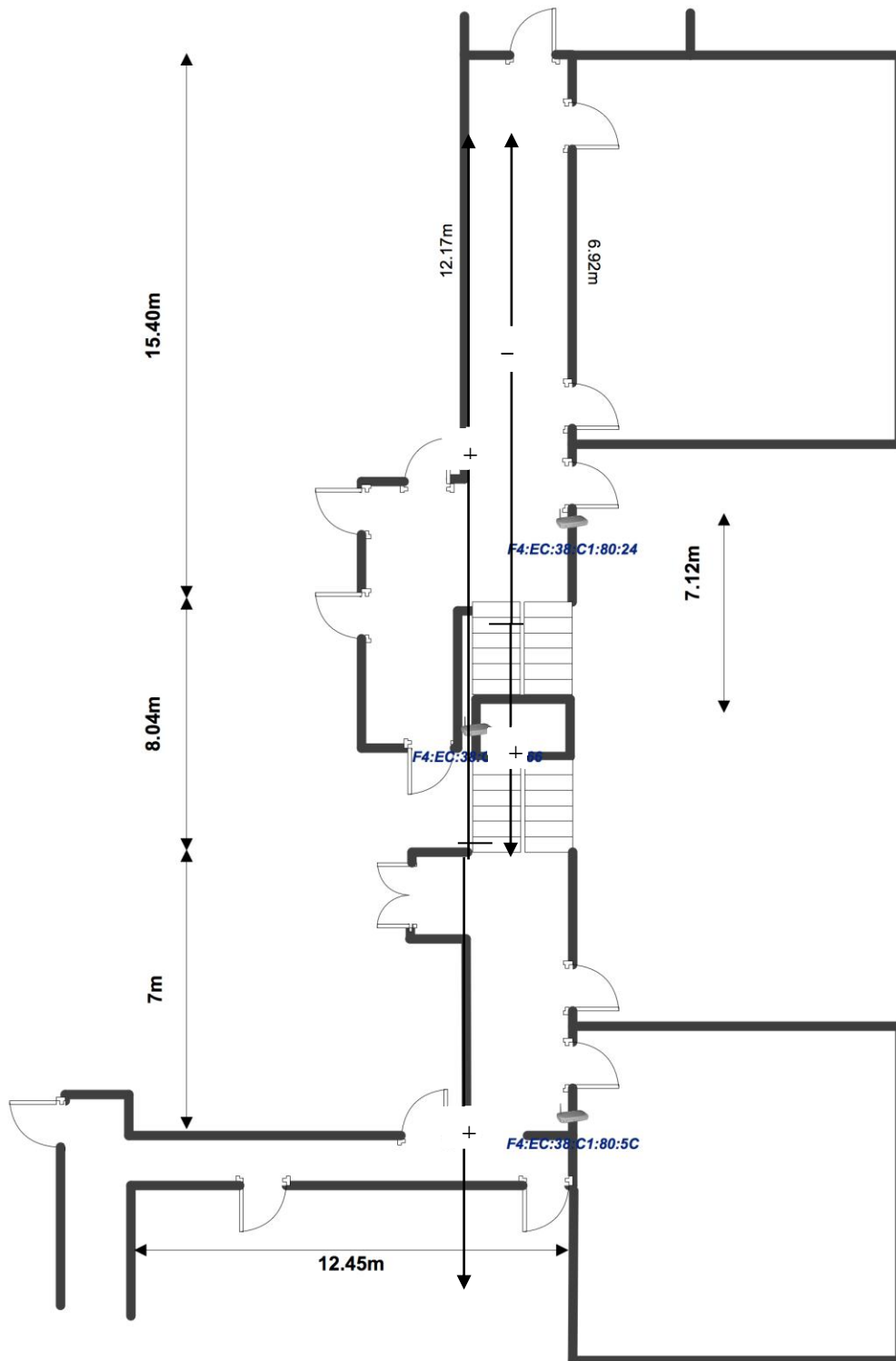


Figura 40: Eje de coordenadas por router

## 4.2 IMPLEMENTACIÓN

Para el presente proyecto se decidió utilizar el Android SDK (Android Starter Kit Development), se trata de un

conjunto de plugins para empezar con el desarrollo de aplicaciones previa instalación de la interfaz de desarrolladores java ECLIPSE. Esta interfaz es de gran ayuda para el programador, ya que permite una alta gama de teléfonos para simular las aplicaciones, posee la función de autocompletado y permite depurar las líneas de código en tiempo real.

En un principio al momento de crear una aplicación debe tener especial atención en el Nivel API a elegir ya que este es el que determina con que versión de software, es compatible su aplicación, de acuerdo al API que se haya elegido en un principio en la creación del proyecto Android. Lo más recomendable es realizar aplicaciones de Nivel API 8 ya que esta aplicación será compatible con la versión de Android 2.2, sin embargo las versiones de software se actualizan en cortos periodos.

Toda aplicación posee atributos definidos en un archivo llamado Manifest el cual está dividido en tres partes: *Application*, *Permission* e *Instrumentation*. *Application* posee los atributos de la aplicación, aquí se maneja el ícono, el nombre, y se habilita la función de simulación en un teléfono real, etc. *Permission*: en esta área se obtienen los permisos para interactuar con el hardware y recursos que ofrece el teléfono; en este caso la

aplicación necesita recibir datos del servicio WI-fi por lo que la aplicación debe poseer los siguientes permisos:

```
<uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE"/>  
<uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE"/>
```

En esta parte se brinda una instrumentación que se inicializa antes que la aplicación, esta se convierte en una herramienta de monitoreo de toda la interacción que tiene el sistema con la aplicación creada por el desarrollador.

#### **4.2.1 Programación en Android método Huella**

El programa del método Huella empieza declarando todas las variables globales a usarse, como las medias de las potencias recibidas, las coordenadas para imprimir el punto en el mapa, una variable para definir la posición inicial del sistema, que en este caso es el centro de las gradas, etc. A continuación se llama a la función principal, encargada de ejecutar todos los procesos necesarios para el desarrollo del sistema, llamada *Programa()*.

Dentro de la función *Programa()* se llama 500 veces a la función *CalculodBms()*, la cual tiene como parámetros de entrada las tres direcciones MAC de los routers usados en este proyecto para escanear todos los routers que encuentre a su alrededor y obtener las potencias en dBm de los tres routers solicitados, luego estas 500 muestras escaneadas por cada router ingresan a la función *Calculo\_Media()*, para

conseguir la media de las muestras por cada router, estas 3 potencias recibidas entran a la función *Calculo\_deltaRSSI()* en donde se encuentran las 77 potencias obtenidas previamente por cada router, en una matriz llamada *Base\_Datos*, de tamaño 77x3, la cual almacena las potencias de la siguiente manera:

$$Base\_Datos = \begin{array}{|c|c|c|} \hline P_{Rx1}R1 & P_{Rx1}R2 & P_{Rx1}R3 \\ \hline P_{Rx2}R1 & P_{Rx2}R2 & P_{Rx3}R3 \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline P_{Rx77}R1 & P_{Rx77}R2 & P_{Rx77}R3 \\ \hline \end{array}$$

en donde  $P_{Rx1}R1$  representa la potencia recibida por el router 1 en el primer punto de los 77 puntos de muestreo,  $P_{Rx1}R2$  del router 2 y así sucesivamente; también se encuentra una matriz de tamaño 77x2 llamada *Posiciones\_xy* en donde se almacenan los pixeles en x e y de cada uno de los 77 puntos. La función *Calculo\_deltaRSSI()* se encarga de comparar las 3 potencias recibidas con cada una de las 77 muestras, usando el método de la mínima distancia euclidiana explicado en el capítulo 4.1.1, y expulsa el valor de n al que pertenece, es decir un valor entre 1 y 77. Este valor de n sirve para obtener fácilmente, de la matriz *Posiciones\_xy*, los valores en x e y de los pixeles en el mapa. Como método

de corrección de errores se almacena las coordenadas del punto anterior y se calcula la distancia con el nuevo punto, para dependiendo de si es menor a 5m se imprime la posición en el mapa, y si es mayor se imprime la posición anterior y se escanea de nuevo las potencias. Finalmente el programa compara si el valor de  $n$  pertenece a una de las dos aulas muestreadas, M302 y M309, para activar un pequeño audio de muestra; se crea una variable llamada  $n\_audio$  que sirve como contador para que al momento de activarse un audio no se repita constantemente cada que detecta que el usuario se encuentra dentro de una de estas aulas, sino que espere cierto tiempo antes de volver a activar el audio.

En la Figura 41: Captura de pantalla método Huella, se muestra como el dispositivo móvil demuestra al usuario su ubicación con un punto rojo dentro de un mapa, en este caso se encuentra en la zona 3.

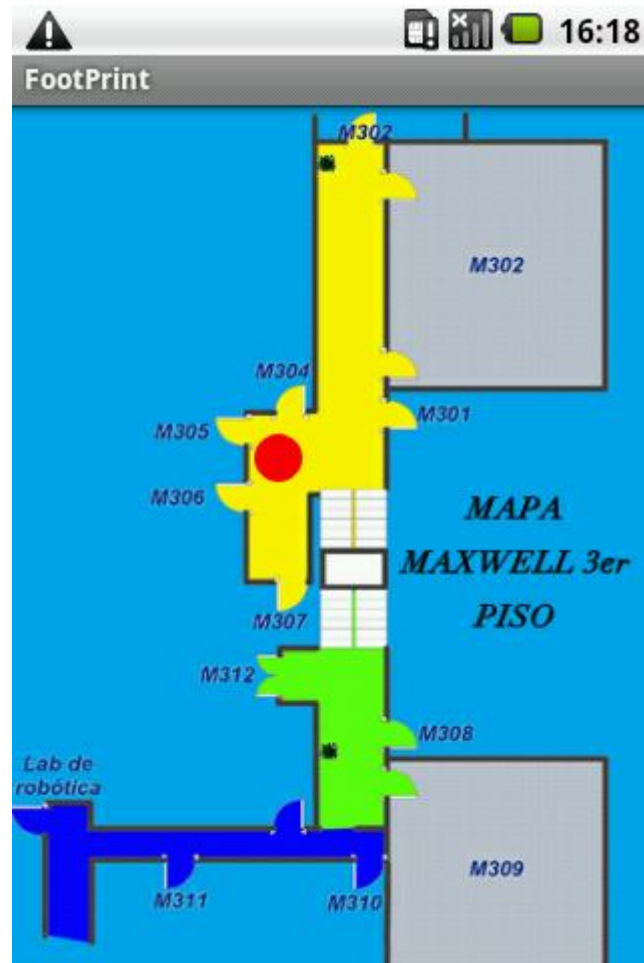


Figura 41: Captura de pantalla método Huella

#### 4.2.2 Programación en Android método Matriz H.

El programa empieza inicializando las variables globales como las potencias de las señales recibidas,  $\hat{\rho}_i$  que son los pseudorángos medidos para las zonas 1 y 4, como se explicó en el capítulo 3.1.3 es necesario tener una posición y un pseudorango inicial, los cuales son para las 2 zonas el centro de las gradas:

```
private double rho_iR1_1=0;private double rho_iR1_2=7.12; // Ruta1
private double rho_iR4_1=0;private double rho_iR4_3=11.02; // Ruta4
```

Donde  $\rho_{iRj_i}$  es el pseudorango de la zona  $j$  del router  $i$ ; se puede observar que para los 2 casos del router 1 el pseudorango es 0 ya que se encuentra exactamente en la mitad de las gradas. La variable distancia cambia dependiendo del modelo que identifica el sistema; en las zonas 1 y 4 empieza en el centro de las gradas y pueden ir hasta M303 y hasta la intersección de la zona 4 y 5 respectivamente. También se crean las variables globales `modelo` y `modelo_anterior` las cuales resetean los pseudorangos a sus valores iniciales, en caso de un cambio de modelo. Otras variables globales creadas son las siguientes las cuales representan la posición inicial, en pixeles, en el mapa.

```
float x; float y1=232; float y2=232; float x3=143; float y; float
y_punto;
```

Después de crear todas las variables globales se llama la función *Programa ()*, el cual escanea 500 veces las potencias recibidas en dBm de cada uno de los tres routers filtradas por su dirección MAC y las almacena en una matriz de 500 x 3 para posteriormente calcular la media de la potencia recibida de cada router mediante la función *Calculo\_media()*. Estos tres potencias ingresan una función llamada *decisor* la cual compara cada una de las potencias y como se indica en la Figura 38: Diagrama de bloques programa Matriz H, dependiendo de qué potencia sea mayor entre el router 2 y 3 se escoge la zona 1 y 2 respectivamente, en caso que la

potencia del router 3 sea mayor también se identifica si la potencia del router 1 es menor a  $-66$  dBm para escoger el modelo 3. Luego se llama la función *ComparaModelos()* la cual ingresa la variable *modelo* y *modelo\_anterior* para determinar si estos son diferentes entre sí y resetear las variables pertinentes si es necesario, dependiendo del modelo se emplea el modelo de pérdidas con las constantes  $n$  y  $X_a$  obtenidos previamente en la fase inicial. Después de haber obtenido los pseudorángos entre cada router y el usuario se calcula la proyección al centro de los pasillos para realizar los cálculos en una sola dimensión y proceder con el método matriz  $H$  explicado matemática en el capítulo 4.1.2 para finalmente imprimir el punto calculado dependiendo de la distancia calculada y realizando la conversión pertinente a píxeles ( $1 \text{ m} = 11 \text{ px}$ ), este procedimiento se realiza para el modelo 1 y 2. Para el modelo 3 simplemente se calcula por medio del modelo de pérdidas de trayectoria con la potencia recibida del router 3 y se realiza la respectiva conversión de píxeles a metros.

Cabe recalcar que en cada uno de las zonas se realizaron correcciones de mapa en donde si la distancia calculada es mayor a las medidas físicas de la cada zona, se utiliza la mayor distancia posible. Siendo para la zona 1:  $19.02\text{m}$  para el router 1 y  $12.3 \text{ m}$  para router 2, para zona 4:  $12.02 \text{ m}$



para router 1 y 9.04 para router 2 y para zona 5: 13.45 m para el router 3. El código se encuentra en el ANEXO 4A,

En la Figura 42: Captura de pantalla para el método Matriz H  
Figura 41: Captura de pantalla método Huella, se muestra como el dispositivo móvil demuestra al usuario su ubicación con un punto rojo dentro de un mapa, en este caso se encuentra en el centro de las gradas

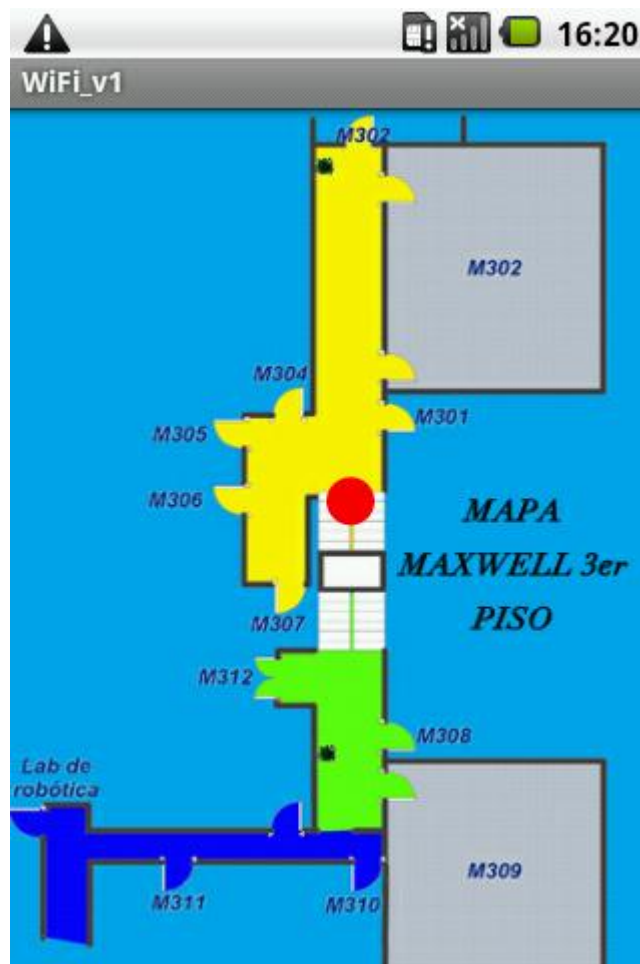


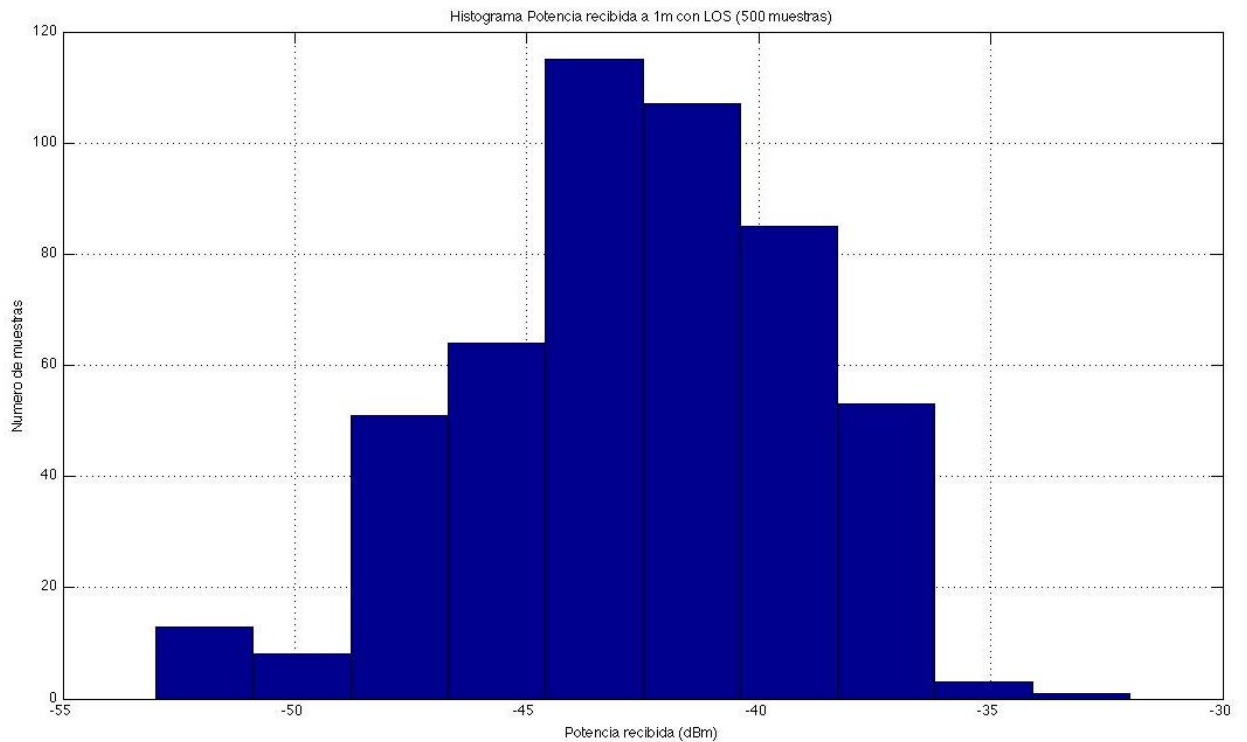
Figura 42: Captura de pantalla para el método Matriz H

## **5. PRUEBAS Y RESULTADOS**

Se realizaron varias pruebas de rendimiento y comparación entre los dos métodos presentados en este proyecto. Las primeras pruebas realizadas fueron para determinar la variación que existe en la potencia recibida, después de implementar las dos aplicaciones las pruebas realizadas fueron de velocidad de respuesta del dispositivo móvil para varios números de escaneos y pruebas comparativas de error entre métodos en tres diferentes ambientes: el primero un ambiente ideal, el segundo se realizó con interferencia de personas y el tercero con el usuario caminando a una velocidad constante.

### **5.1 PRUEBAS DE DISPERSIÓN DE LA POTENCIA**

Las primeras pruebas realizadas tienen como objetivo presentar la variación de las muestras de potencia a distancias de 1,5,10 y 15 metros con y sin línea de vista. Para cada gráfico se realizaron 500 muestras manteniendo fija la distancia entre el router y el usuario.



Media:  $\mu = -42.69 \text{ dBm}$

Desviación Estándar:  $\sigma = 3.389$

Varianza:  $\sigma^2 = 11.48$

Máximo valor: -32 dBm

Mínimo valor: -53 dBm

**Figura 43: Histograma a 1m LOS**

Como se puede observar la Figura 43 y Figura 44 a pesar de tener las mismas especificaciones de distancia y número de muestras se obtienen resultados muy diferentes, esto se debe que aquellas pruebas fueron realizadas en diferentes por lo que se puede apreciar cuan sensible a factores externos es la potencia recibida en el dispositivo.

## PRUEBAS CON LINEA DE VISTA

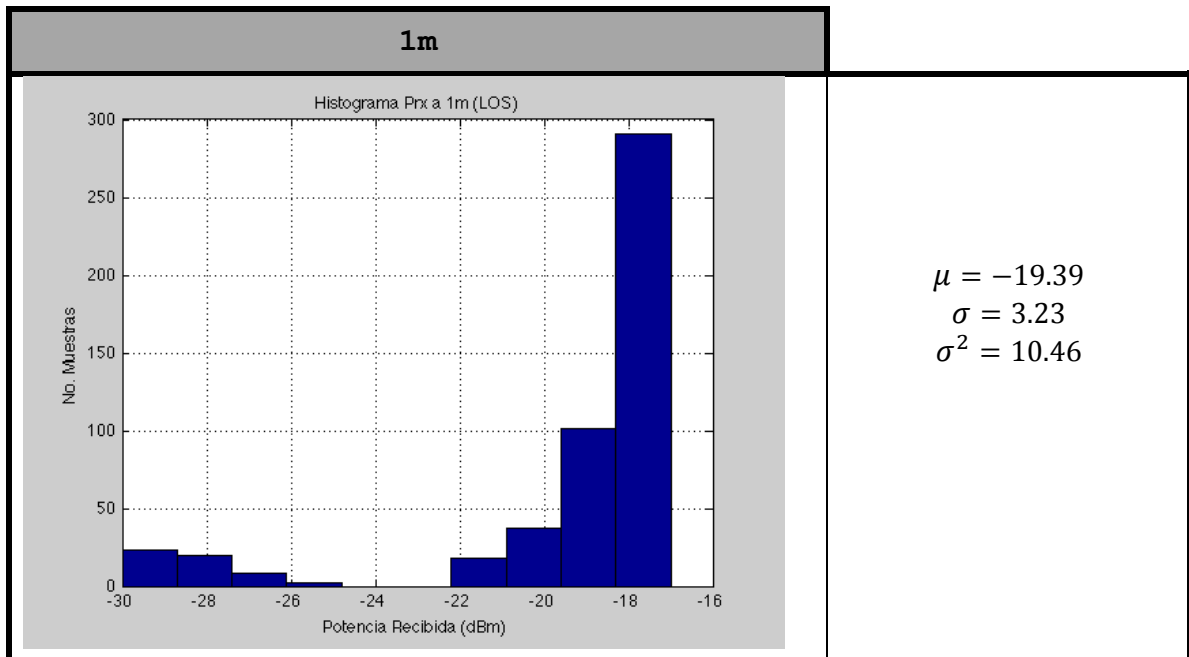


Figura 44: Histograma a 1m LOS

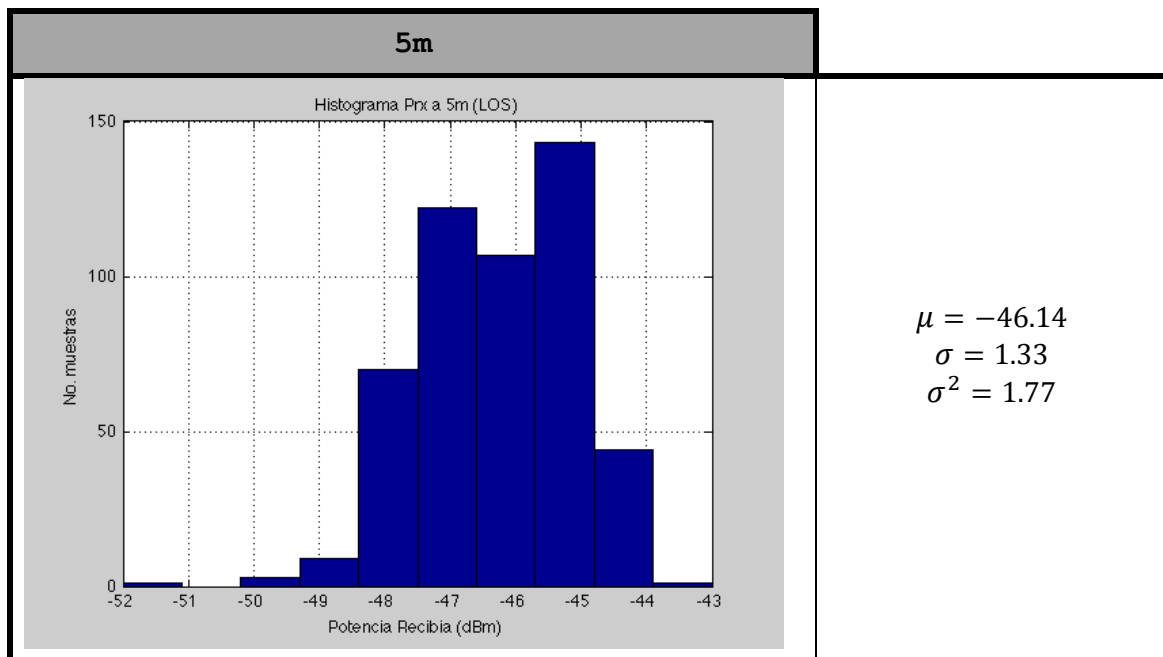


Figura 45: Histograma a 5m LOS

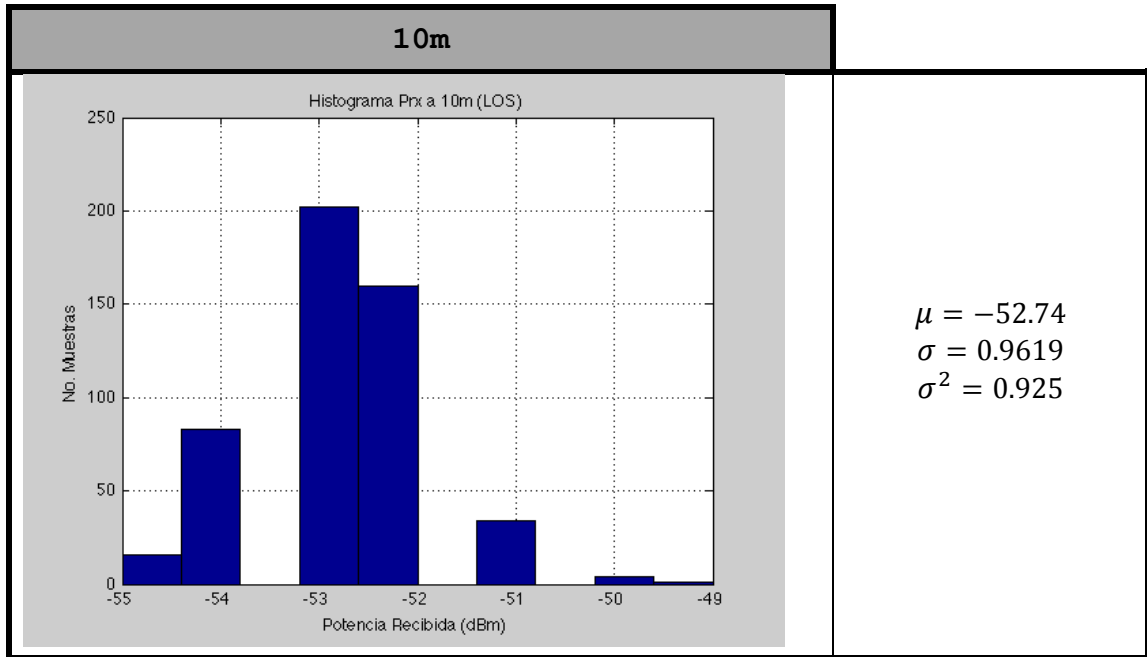


Figura 46: Histograma a 10 m LOS

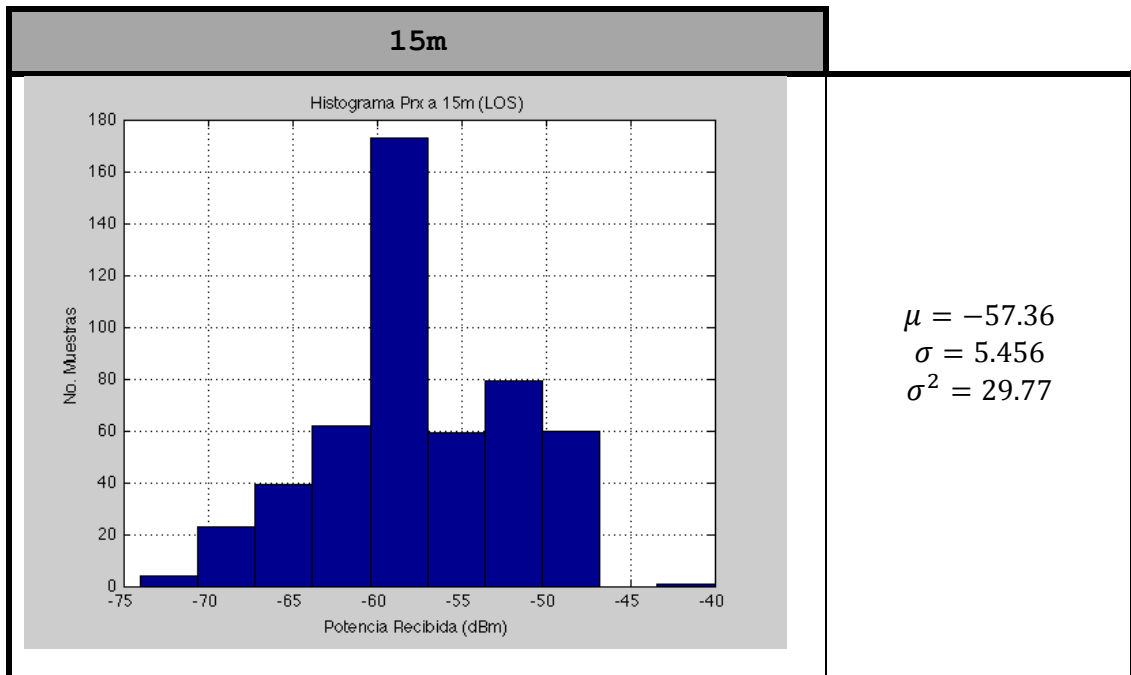
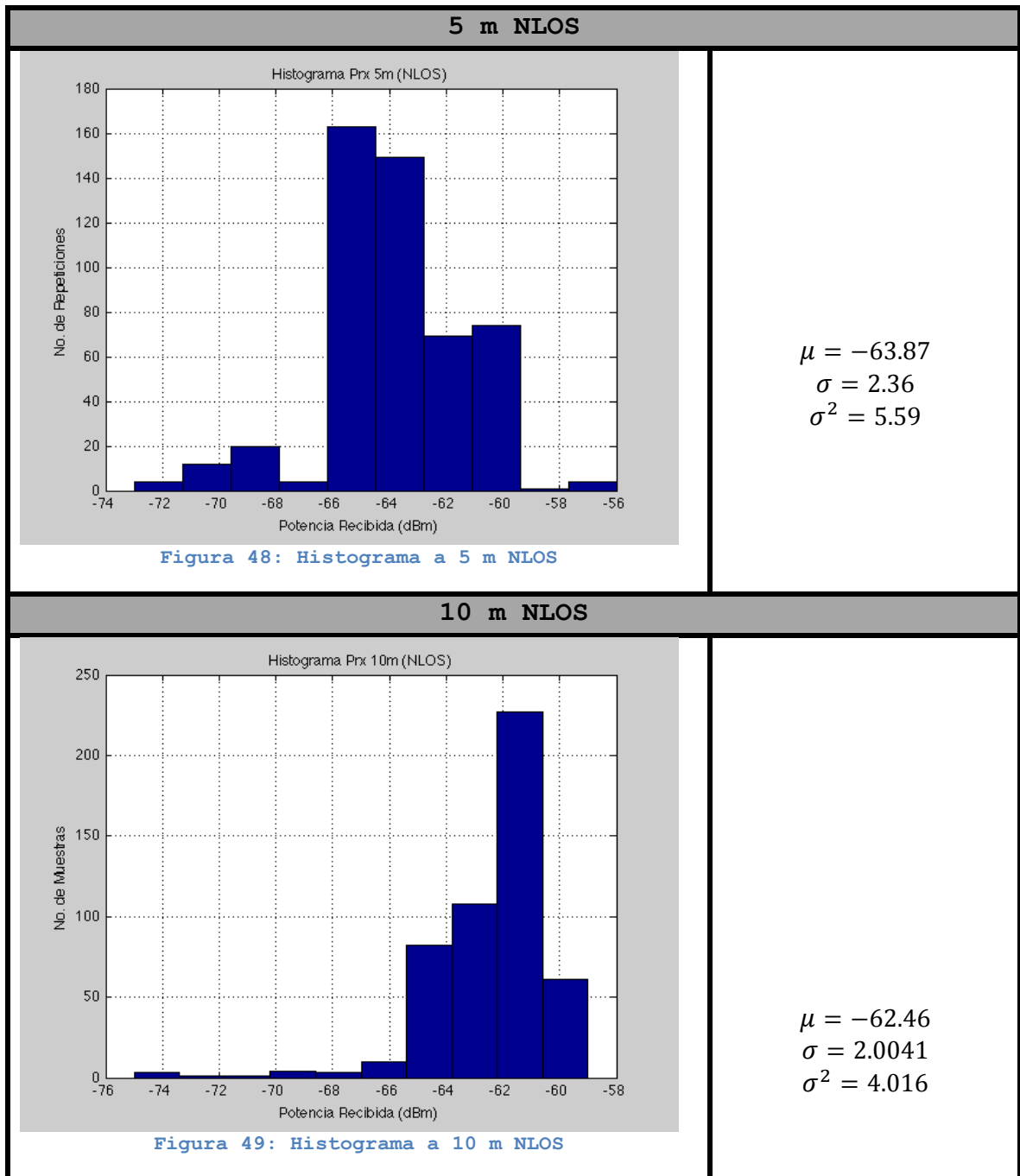


Figura 47: Histograma a 15 m LOS



Como se puede observar las principales diferencia entre LOS y NLOS es que a la misma distancia no se obtiene los mismos resultados lo cual ya estaba comprendido en la teoría que al tener mayor obstrucciones existen más pérdidas;

también la varianza cambia significativamente entre estas dos pruebas debido a las reflexiones en el objeto.

## 5.2 PRUEBAS DE VELOCIDAD DE RESPUESTA DEL DISPOSITIVO MÓVIL

Esta prueba presenta el tiempo que se demora el dispositivo en filtrar y escanear las potencias recibidas de los tres routers, como se puede observar el incremento del tiempo y número de muestras es lineal y no varía mucho de muestra a muestra; estas muestras se las hicieron reseteando el dispositivo móvil antes de cada muestra.

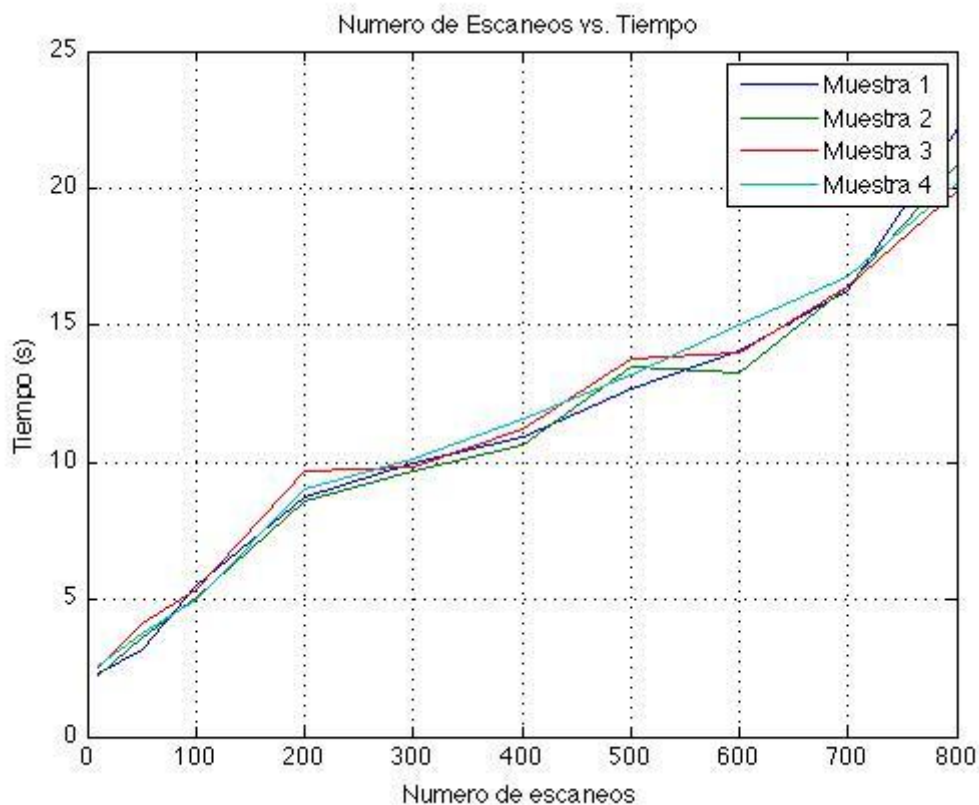


Figura 50: Pruebas de Velocidad de Respuesta del Dispositivo Móvil

### **5.3 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN EN UN ENTORNO IDEAL**

Entorno ideal se refiere a que las pruebas fueron realizadas en los pasillos del edificio del Maxwell en días y horas en las que no hubo personas que puedan causar interferencia, estas pruebas fueron realizadas tanto para el método de Huella como para el de Matriz H, para el método de Huella se realizó dos pruebas, una con la primera distribución de los routers y otra con la segunda.

#### **5.3.1 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN MÉTODO HUELLA**

Como se indicó para el método Huella existe dos consolidados de resultados, para las dos distribuciones de los routers. Para calcular el error de estas pruebas se tomó 4 muestras por cada uno de los puntos, tomando cada 0.5m para las zonas 1, 2, 3 y 4 y cada metro para la zona 5, para posteriormente sacar el error a partir de la media de todos estos errores. El muestreo se lo realizó de la siguiente manera: el programa imprime el  $n$ , número de menor distancia euclidiana entre la muestra obtenida y las muestras del 1 al 77 que representan cada una de las muestras tomadas en la fase inicial, este valor  $n$  está enlazado al punto físico en una de las zonas, luego se calcula la diferencia de distancia al punto real donde fue obtenida la muestra, es decir el error. Para mayor referencia de los datos tomados y resultados obtenidos, refiérase a la tabla del Anexo 5A para la primera distribución de routers, y al Anexo 5B para la segunda



distribución de routers. A continuación se presentan los resultados de las dos diferentes distribuciones:

- *Primera distribución de Routers:*

Las siguientes tablas indican los errores por cada una de las zonas y por las cuatro muestras tomadas, así como el número de aciertos en cada zona y muestra, por ejemplo en la zona 1 en el primer muestreo realizado se obtuvieron 4 aciertos, es decir en 4 puntos el error es cero.

ZONA 1:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	2.47	4
<b>Muestra No.2</b>	2.18	4
<b>Muestra No.3</b>	2.5	2
<b>Muestra No.4</b>	1.9	5

Con un error total en la zona 1 de 2.25m

ZONA 2:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	0.82	2
<b>Muestra No.2</b>	2.78	3
<b>Muestra No.3</b>	2.9	2
<b>Muestra No.4</b>	2.8	1

Con un error total en la zona 2 de 2.32m

ZONA 3:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	0.86	2
<b>Muestra No.2</b>	1.59	2
<b>Muestra No.3</b>	2.0	1
<b>Muestra No.4</b>	1.6	2

Con un error total en la zona 3 de 1.52m

ZONA 4:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	1.41	2
<b>Muestra No.2</b>	1.40	3
<b>Muestra No.3</b>	1.8	1
<b>Muestra No.4</b>	1.5	3

Con un error total en la zona 4 de 1.52m

ZONA 5:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	1.32	5
<b>Muestra No.2</b>	1.71	3
<b>Muestra No.3</b>	2.2	1
<b>Muestra No.4</b>	1.9	2

Con un error total en la zona 5 de 1.77m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 1.93m

- *Segunda distribución de Routers:*

Las medidas fueron tomadas de igual manera que en la primera posición de routers.

ZONA 1:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	1.86	3
<b>Muestra No.2</b>	1.74	2
<b>Muestra No.3</b>	2.3	1
<b>Muestra No.4</b>	2.2	2

Con un error total en la zona 1 de 2.01 m

ZONA 2:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	2.09	0
<b>Muestra No.2</b>	1.44	2
<b>Muestra No.3</b>	2.0	1
<b>Muestra No.4</b>	1.0	2

Con un error total en la zona 2 de 1.64 m

ZONA 3:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	0.93	4
<b>Muestra No.2</b>	0.86	1
<b>Muestra No.3</b>	1.1	0
<b>Muestra No.4</b>	0.8	2

Con un error total en la zona 3 de 0.91 m

ZONA 4:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	3.77	0
<b>Muestra No.2</b>	3.05	3
<b>Muestra No.3</b>	2.8	1
<b>Muestra No.4</b>	1.6	1

Con un error total en la zona 4 de 2.81 m

ZONA 5:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	1.70	1
<b>Muestra No.2</b>	2.44	2
<b>Muestra No.3</b>	1.9	3
<b>Muestra No.4</b>	4.2	0

Con un error total en la zona 5 de 2.55 m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 2.04 m.

### **5.3.2 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN MÉTODO MATRIZ H**

Las pruebas realizadas para matriz H, se las realiza de igual manera que las de método Huella, es decir tomando cada 0.5m muestras para las zonas 1 y 4 y cada metro para la zona 5. En los resultados del presente método, a diferencia del método de Huella, no se puede cuantificar el número de aciertos ya que no se toman datos discretos como lo es el n que se toma como muestra en el método Huella, sino que se toma la distancia calculada por el programa, y comparando con la distancia verdadera en la que se encuentra el usuario

se obtiene el error. Para mayor detalle de estas muestras, refiérase al Anexo 5C.

ZONA 1:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	2.03
Muestra No.2	1.95
Muestra No.3	1.4
Muestra No.4	2.0

Con un error total en la zona 5 de 1.84 m

Como ya se ha indicado en este documento, las zonas 2 y 3 no son tomadas en cuenta en el método Matriz H, debido a que no se puede obtener ningún valor de  $n$  y  $X_{\alpha}$  que cumplan con la ecuación de pérdida de trayectoria.

ZONA 4:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	2.38
Muestra No.2	1.78
Muestra No.3	1.8
Muestra No.4	1.7

Con un error total en la zona 5 de 1.93 m

ZONA 5:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	1.46
Muestra No.2	2.21
Muestra No.3	1.2
Muestra No.4	2.0

Con un error total en la zona 5 de 1.71 m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 1.83 m.

#### **5.4 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PRESENCIA DE PERSONAS**

Estas pruebas se realizaron con la ayuda de 5 personas las cuales caminaban aleatoriamente entre la trayectoria de los transmisores y receptor, debido a la cantidad de tiempo que requiere tomar las muestras y tomando en cuenta la disponibilidad de los ayudantes, se decidió tomar dos muestras, para ver estos resultados refiérase al Anexo 5D para el método Huella, y al Anexo 5E para las muestras del método Matriz H.

##### **5.4.1 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PERSONAS, MÉTODO HUELLA**

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

ZONA 1:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	1.60	6
<b>Muestra No.2</b>	2.61	5

Con un error total en la zona 1 de 2.11 m

ZONA 2:

Promedio Error (m)	Número de Aciertos
--------------------	--------------------

<b>Muestra No.1</b>	2.04	2
<b>Muestra No.2</b>	0.95	2

Con un error total en la zona 2 de 1.5 m

ZONA 3:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	2.52	0
<b>Muestra No.2</b>	2.32	2

Con un error total en la zona 3 de 2.42 m

ZONA 4:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	1.39	2
<b>Muestra No.2</b>	2.96	1

Con un error total en la zona 4 de 2.18 m

ZONA 5:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	3.82	1
<b>Muestra No.2</b>	5.51	0

Con un error total en la zona 5 de 4.67 m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 2.51 m.

#### 5.4.2 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN CON PERSONAS, MÉTODO MATRIZ H

Los resultados obtenidos de esta prueba son los siguientes:

##### ZONA 1:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	1.90
Muestra No.2	1.75

Con un error total en la zona 1 de 1.83 m

##### ZONA 4:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	1.79
Muestra No.2	2.15

Con un error total en la zona 4 de 1.97 m

##### ZONA 5:

	Promedio Error (m)
Muestra No.1	3.46
Muestra No.2	3.56

Con un error total en la zona 4 de 3.51 m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 2.32 m.



## **5.5 PRUEBAS DE ERROR DE POSICIÓN VELOCIDAD CONSTANTE DEL USUARIO**

A diferencia de las muestras tomadas anteriormente en donde para tomar los datos lo hacíamos deteniéndonos cada 0.5m durante unos dos segundos para dictar la muestra, en esta prueba se toman los valores al que se camina a una velocidad promedio de 0.5 m/s. Para poder realizar estas muestras fue necesario tomarlas cada 1m en todas las zonas, para ver los datos obtenidos en esta prueba, refiérase los Anexos 5F y 5G para los métodos de Huella y Matriz H respectivamente.

### **5.5.1 Pruebas de error de posición a velocidad constante método Huella**

Los siguientes son los resultados obtenidos de esta prueba:

#### ZONA 1:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	2.47	0
<b>Muestra No.2</b>	3.14	0
<b>Muestra No.3</b>	3.6	1
<b>Muestra No.4</b>	2.5	1

Con un error total en la zona 1 de 2.91 m

#### ZONA 2:

	Promedio Error (m)	Número de Aciertos
<b>Muestra No.1</b>	0.91	1

<b>Muestra No.2</b>	0.73	1
<b>Muestra No.3</b>	0.6	1
<b>Muestra No.4</b>	0.9	1

Con un error total en la zona 2 de 0.77 m

ZONA 3:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	1.95	0
<b>Muestra No.2</b>	1.34	1
<b>Muestra No.3</b>	1.6	0
<b>Muestra No.4</b>	1.5	1

Con un error total en la zona 3 de 1.6 m

ZONA 4:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	1.85	1
<b>Muestra No.2</b>	1.07	2
<b>Muestra No.3</b>	1.5	0
<b>Muestra No.4</b>	1.8	0

Con un error total en la zona 4 de 1.55 m

ZONA 5:

	<b>Promedio Error (m)</b>	<b>Número de Aciertos</b>
<b>Muestra No.1</b>	2.97	4
<b>Muestra No.2</b>	2.81	3
<b>Muestra No.3</b>	2.8	3
<b>Muestra No.4</b>	3.5	1

Con un error total en la zona 5 de 3 m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 2.36 m.

### **5.5.2 Pruebas de error de posición a velocidad constante método Matriz H**

A continuación se presentan los valores obtenidos de esta prueba:

ZONA 1:

	Promedio Error (m)
<b>Muestra No.1</b>	1.77
<b>Muestra No.2</b>	2.11
<b>Muestra No.3</b>	2.11
<b>Muestra No.4</b>	1.49

Con un error total en la zona 1 de 1.85m

ZONA 4:

	Promedio Error (m)
<b>Muestra No.1</b>	2.18
<b>Muestra No.2</b>	2.16
<b>Muestra No.3</b>	2.16
<b>Muestra No.4</b>	2.32

Con un error total en la zona 4 de 2.2m

ZONA 5:

	Promedio Error (m)
<b>Muestra No.1</b>	2.59
<b>Muestra No.2</b>	2.40
<b>Muestra No.3</b>	2.40
<b>Muestra No.4</b>	2.00

Con un error total en la zona 5 de 2.6m

Al tomar las medias de todos los errores calculados se obtiene un error total del sistema de 2.15 m.

### 5.6 RESUMEN DE PRUEBAS Y RESULTADOS

En la Figura 51: Desviación estándar de las muestras vs Error en la distancia, se puede observar como la desviación estándar de 500 muestras tomadas por router no influyen en ninguna manera en el error obtenido en la aplicación.

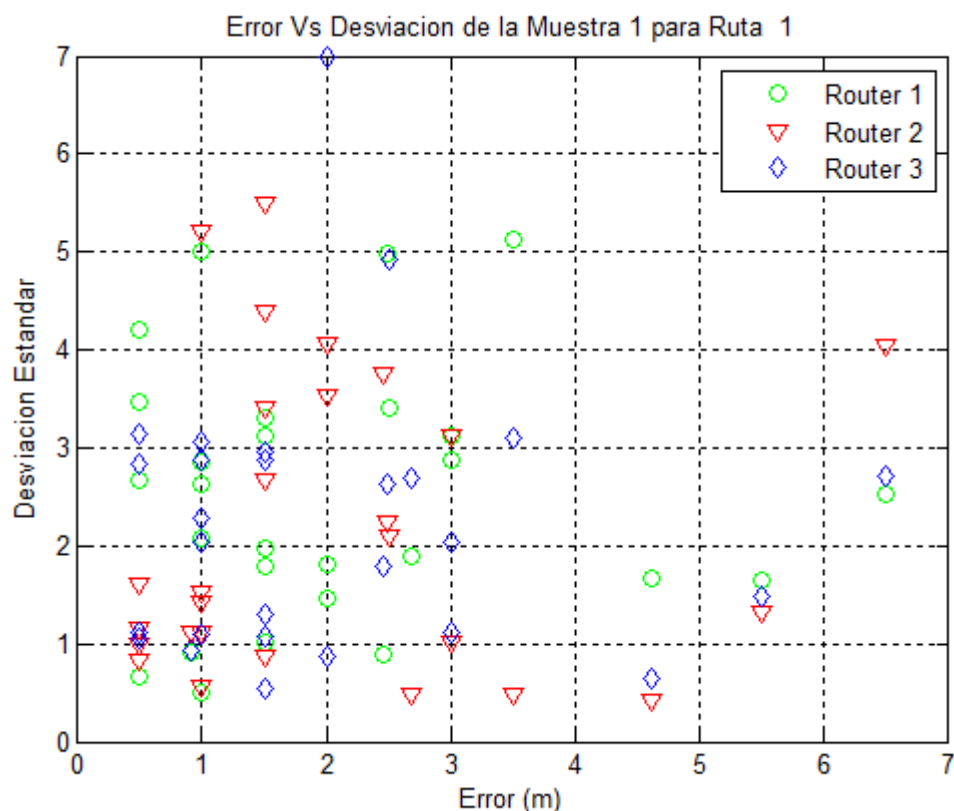


Figura 51: Desviación estándar de las muestras vs Error en la distancia

En las Figura 52 y Figura 53 se puede observar como en los dos métodos el error va cambiando con respecto a la

distancia; sin embargo no se pudo encontrar ninguna relación entre estas dos variables, aunque si se puede observar la variación de error que existe de muestra a muestra, lo que indica que las señales recibidas son cambiantes incluso si se realizan las pruebas en condiciones casi idénticas.

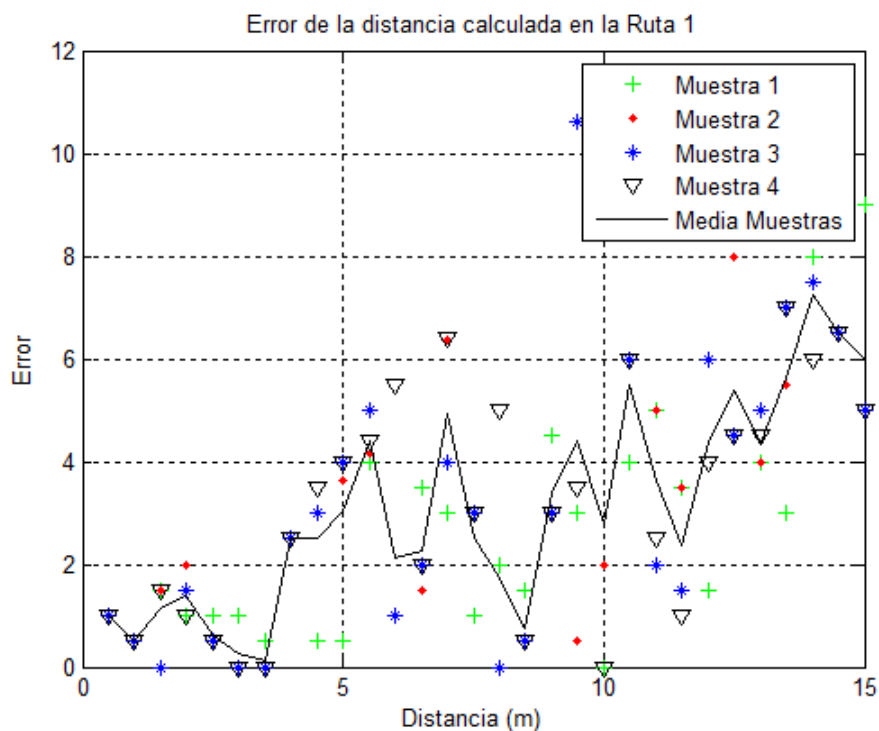


Figura 52: Error de la distancia calculada vs distancia real con método Huella

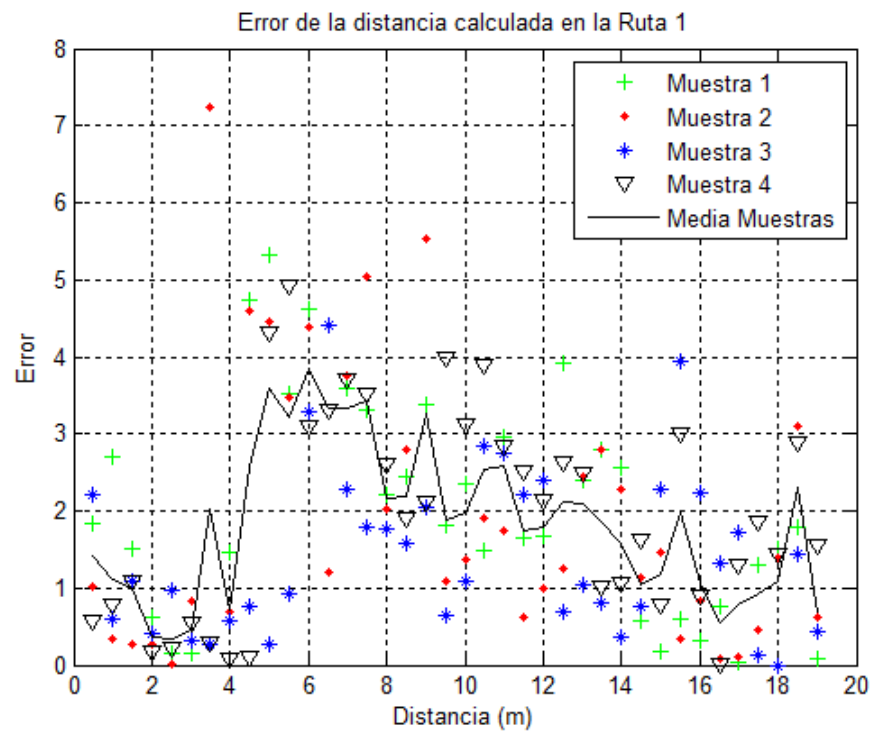


Figura 53: Error de la distancia calculada vs distancia real con método matriz H

<b>MÉTODO HUELLA (2da POSICIÓN ROUTERS)</b>	
ZONA 1	2,01
ZONA 2	1,64
ZONA 3	0,91
ZONA 4	2,81
ZONA 5	2,55
<b>SISTEMA</b>	<b>2,04</b>

Tabla 3: Error promedio método Huella

Para entender de mejor manera el comportamiento de estos errores, se ha realizado una figura que indica la dispersión de las potencias recibidas por cada zona, conforme hay menos dispersión se produce mayor error, ya que a un cambio no muy drástico en la potencia recibida de la señal, se puede obtener una distancia euclidiana menor, asumiendo que se

trata de otra posición, la siguiente figura representa las dispersiones mencionadas, que concuerda con los errores presentados en la Tabla 3:

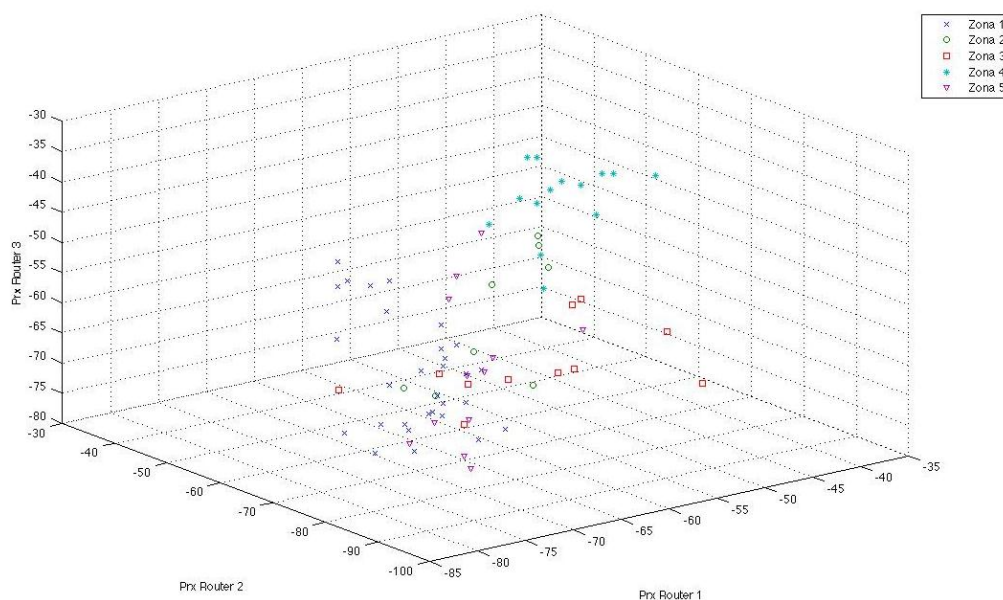


Figura 54: Dispersión de las potencias para las diferentes zonas

A continuación se presentan tablas comparativas de las pruebas ya mencionadas en el capítulo anterior.

ERROR (m)					
ESCENARIO IDEAL					
MÉTODO HUELLA (1era POSICIÓN ROUTERS)		MÉTODO HUELLA (2da POSICIÓN ROUTERS)		MÉTODO MATRIZ H	
ZONA 1	2,25	ZONA 1	2,01	ZONA 1	1,84
ZONA 2	2,32	ZONA 2	1,64		
ZONA 3	1,52	ZONA 3	0,91		
ZONA 4	1,52	ZONA 4	2,81	ZONA 4	1,93
ZONA 5	1,77	ZONA 5	2,55	ZONA 5	1,71
<b>SISTEMA</b>	<b>1,93</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>2,04</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>1,83</b>

Tabla 4: Tabla comparativa de error en un escenario ideal

En el escenario ideal se realizan las comparaciones de los dos métodos, en el método huella se obtuvieron estas mediciones con 2 posiciones diferentes en los routers; se puede observar que la posición de los routers tiene un gran impacto en los resultados mejorando el error en la zona 1, 2 y 3 ya que el router 2 se ubicó en un lugar más cercano a estas zonas; sin embargo al mover el router 3 el usuario ya no se encuentra de frente al router en la zona 4 y pierde línea de vista en toda la trayectoria de la zona 5 por lo que el error aumenta drásticamente sobre todo en esas 2 zonas. Al comparar los resultados entre los 2 métodos implementados el método de la Matriz H obtiene mejores resultados ya que si bien en el modelo de pérdidas pueden existir errores la matriz H se encarga de corregirlos ya que le da un peso a cada medida obtenida del router dependiendo de su posición, por ejemplo en este caso los routers al proyectarlos están ubicados linealmente, en la matriz H los dos tienen un peso de 0.5 para determinar la posición final mientras que en el método huella si bien se obtiene la menor distancia euclidiana, si los dos routers obtienen datos erróneos este no tendrá ninguna corrección y puede encontrar otro punto (erróneo) más parecido que el que se obtuvo en la fase inicial.



<b>ERROR (m)</b>			
<b>INTERFERENCIA DE PERSONAS</b>			
<b>MÉTODO HUELLA (2da POSICIÓN ROUTERS)</b>		<b>MÉTODO MATRIZ H</b>	
ZONA 1	2,11	ZONA 1	1,83
ZONA 2	1,5		
ZONA 3	2,42		
ZONA 4	2,18	ZONA 4	1,97
ZONA 5	4,67	ZONA 5	3,51
<b>SISTEMA</b>	<b>2,51</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>2,32</b>

Tabla 5: Comparación de error con interferencia de personas

En la Tabla 5 se presentan los errores con interferencia de personas; el cual aumentó el error en todas las zonas con respecto a las medidas en condiciones ideales y el método de matriz H sigue siendo mejor que el método huella.

<b>ERROR (m)</b>			
<b>VELOCIDAD CONSTANTE</b>			
<b>MÉTODO HUELLA (2da POSICIÓN ROUTERS)</b>		<b>MÉTODO MATRIZ H</b>	
ZONA 1	2,91	ZONA 1	1,85
ZONA 2	0,77		
ZONA 3	1,6		
ZONA 4	1,55	ZONA 4	2,2
ZONA 5	3	ZONA 5	2,6
<b>SISTEMA</b>	<b>2,36</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>2,15</b>

Tabla 6: Comparación de error con velocidad constante.

En la Tabla 6 se puede observar que de la misma forma el error del método matriz H es menor que el método Huella en las zonas 1 y 5, sin embargo en la zona 4 esto no ocurre, se

debe también a que las muestras son más dispersas que en todas las zonas, siendo un una ventaja para el método.

Después de finalizar los dos programas, se creó un tercer programa que une los dos anteriores, con el fin de visualizar gráficamente la diferencia que existe entre los dos, y se comprobó que con el método de Matriz H se obtiene mejores resultados, la siguiente gráfica indica una captura de pantalla de este programa:

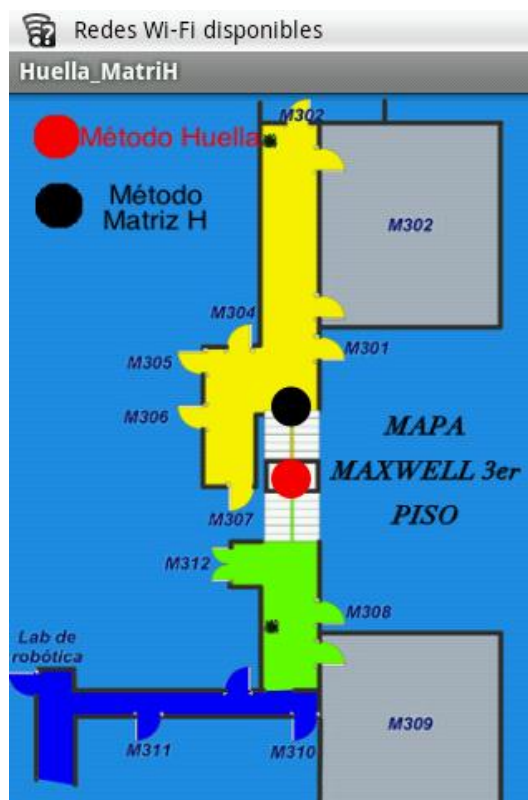


Figura 55: Programa comparativo método Huella con Matriz H

Al comparar el desempeño entre los dos métodos implementados, el método de la Matriz H obtiene mejores resultados ya que si bien en el modelo de pérdidas de trayectoria pueden existir errores, la matriz H se encarga

de corregirlos debido a que le da un peso a cada distancia calculada, por ejemplo en este caso los routers al proyectarlos están ubicados linealmente, en la matriz  $H$  los dos tienen un peso de 0.5 para determinar la posición final mientras que en el método huella si bien se obtiene la menor distancia euclidiana, si los dos routers obtienen datos erróneos el sistema no tendrá ninguna corrección y puede encontrar otro punto (erróneo) más parecido que el que se obtuvo en la fase inicial.

### **5.6.1 Comparación con trabajos similares**

En un paper realizado por Bose, Atreti y Chuan Heng Foh, de la Universidad Tecnológica de Nanyang, se desarrollaron pruebas de posicionamiento usando el mismo modelo de pérdida de trayectoria que la utilizada en el presente proyecto. Los resultados obtenidos en este paper arrojan los siguientes resultados: de un total de 20 experimentos realizados con línea de vista (LOS), el promedio de error de los resultados fue de 2.3m.

Otro trabajo similar es el realizado por Vinicio Carrera, en el cual el prototipo de localización fue desarrollado en lenguaje C# y la lectura de los RSSI a través de un computador portátil que incluye un adaptador de red WiFi. La evaluación de este sistema de posicionamiento se lo realiza en dos ambientes: un escenario ideal de 20x20 metros,

completamente libre de obstáculos e interferencia, y un escenario real que cubre una zona de 16.3x21 metros, correspondiente al área del Laboratorio de Sistemas en el segundo piso de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. En ambos casos se usa 4 Access Points Linksys WRT310N. Los resultados obtenidos de estas pruebas en un escenario ideal son los siguientes:

<b>Triangulación</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Centro</b>	<b>Medio</b>	<b>Extremo</b>
<b>A</b>	0.8	7.8	3.5
<b>B</b>	0.6	9.8	7.1
<b>C</b>	0.8	8.7	9.4
<b>D</b>	NA	NA	NA
<b>Mapa Radiológico</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Centro</b>	<b>Medio</b>	<b>Extremo</b>
<b>A</b>	0.9	0.4	0.7
<b>B</b>	1.3	2.1	2.8
<b>C</b>	2.1	2.3	2.9
<b>D</b>	9.2	7.4	5.9

Figura 56: Error medio de posicionamiento en metros para escenario ideal

En donde:

- A se refiere a 4 APs en un mismo canal WiFi
- B: 1 AP en un canal diferente
- C: 1 AP con pantalla electromagnética, y
- D: solamente un AP encendido.

Los resultados obtenidos para el escenario real se resumen a continuación:

Triangulación			
Ambiente	Centro	Medio	Extremo
A	2.1	11.8	4.2
B	2.0	12.5	4.2
D	NA	NA	NA
Mapa Radiológico			
Ambiente	Centro	Medio	Extremo
A	1.0	1.2	0.7
B	1.1	1.4	1.1
D	3.6	13.9	3.6

Figura 57: Error medio de posicionamiento en metros para el escenario real

Después de analizar los resultados de estos dos trabajos, los cuales al igual que el presente proyecto buscan encontrar los errores producidos por la variación de las señales WiFi, se observa que para la primera investigación obtienen un error de 2.3m; para la segunda, la cual solo se toma en cuenta el escenario A que es el más similar al realizado en este proyecto, obtienen errores entre 0.7 y 11.8. Los errores obtenidos en el presente proyecto van desde los 1.83m hasta 2.51m con lo cual se demuestra que los resultados logrados se asemejan al de proyectos similares, y que es imposible debido a la naturaleza de las señales electromagnéticas de WiFi obtener un error de 0m, incluso en escenarios ideales como indican los resultados de la Figura 56: Error medio de posicionamiento en metros para escenario ideal.

## **6. CONCLUSIONES**

Es factible utilizar una red WiFi para posicionamiento en lugares amplios, en los cuales los errores de estos sistemas no repercuten mucho en la finalidad para la cual fue desarrollado el sistema; por ejemplo para centros comerciales, algunos lugares turísticos, aeropuertos, etc.

Uno de los objetivos principales del sistema usado en este proyecto es que sea desarrollado en equipos y sistemas operativos comerciales como Android, un sistema operativo que esta creciendo muy rápidamente en el mercado y que esta creando una gran plaza de trabajo para desarrolladores. Otra ventaja de utilizar el sistema operativo Android, es el crecimiento que ha tenido, sobre todo en Estados Unidos país que aporta con el 23.79% de turistas que ingresan al Ecuador, ya que un viajero que posea un dispositivo con Android podría descargar esta aplicación desde cualquier lugar con conexión a una red de internet.

Como indican los resultados de este proyecto de tesis y de otros documentos que realizan pruebas de posicionamiento

mediante señales WiFi, el error promedio en condiciones reales llega como mínimo a ser de 0.7m.

El sistema diseñado en este documento, es totalmente seguro ya que el calculo de posicionamiento es realizado en el receptor y lo único que se usa es la potencia de los routers.

## **7. RECOMENDACIONES**

Un factor muy importante para el adecuado funcionamiento de un sistema de posicionamiento es la correcta distribución de los transmisores, dependiendo del entorno al cual se va a cubrir.

Para aplicaciones que requieran una alta precisión de posicionamiento, no es recomendable usar señales WiFi, debido a que son muy sensibles al cambio de potencia.

Con la mejora de procesamiento de los nuevos dispositivos móviles, de hasta 1.2GHz de procesadores con 1GB de RAM, se pueden crear algoritmos de posicionamiento que cubran mayores áreas y utilicen recursos multimedia como imágenes, videos, texto, etc. para realizar aplicaciones mucho mas animadas y dinámicas.

Con el fin de crear aplicaciones turísticas, se puede combinar sistemas de posicionamiento para interiores, como

el desarrollado en el presente proyecto, con sistemas de posicionamiento para exteriores como GPS. Una aplicación

## Bibliografía

- Anónimo. n.d. 01 08 2012  
<[http://www.ee.nmt.edu/~rison/ee389\\_spr08/toa.pdf](http://www.ee.nmt.edu/~rison/ee389_spr08/toa.pdf)>.
- Bose, Atreyi and Chuan Heng Foh. "A Practical Path Loss Model For Indoor Wifi Positioning Enhancement." Nanyang Technological University Singapore. 2005.
- Bouet, Mathieu y Aldri dos Santos. «RFID Tags: Positioning Principles and Localization Techinques.» (2009): 5.
- Canto, Hugo, Alfredo Rivamar and Juan Pablo Soto. IEEE 802.16 WMAN / WiMAX. Maestria en Teleinformática. Buenos Aires: Universidad De Mendoza, 2006.
- Carcavilla, Sanz Aroa. "Sistemas de Posicionamiento Basados en Wifi." España, 24 02 2006.
- CENSO, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y. CENSO NACIONAL ECONOMICO 2010. QUITO, 2010.
- Chandrasekhar, Mithun. "AnandTech." 2011 йил 2-Febrero.  
Google Android events analysis. 2011 йил 17-Noviembre



- <<http://www.anandtech.com/show/4150/googles-android-event-analysis/2>>.
- Citycom News. "Citycom News.es." 2011 йил 15-Julio. 550000 Terminales Android Activados cada día. 2011 йил Noviembre-20 <<http://www.siliconnews.es/2011/07/15/550-000-terminales-android-activados-cada-dia/>>.
- Díaz, Luis y Tabernilla Ambrona. «SISTEMA DE LOCALIZACION EN INTERIORES.» UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, s.f.
- ECUADOR, MINISTERIO DE FINANZAS DEL. PRESUPUESTO GENERAL DEL ESTADO: CONSOLIDACION POR SECTORIAL INSTITUCION GASTO. QUITO, 2 OCTUBRE 2011.
- ECUADOR, MINISTERIO DE TURISMO DEL. COMPORTAMIENTO DEL TURISMO. QUITO, 1 DICIEMBRE 2010.
- . ENTRADAS Y SALIDAS EN EL ECUADOR 2007-2011. QUITO, 2 ABRIL 2011.
- . ESTADISTICAS TURISTICAS AGOSTO 2011. QUITO, AGOSTO 2011.
- Escobar, Carlos, Roberto De la Rosa and Pablo Gaviño. Diseño de una red para proveer servicios de voz y datos en la ciudad de Guayaquil usando el acceso inalámbrico del estándar WiMAX. Paper. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), n.d.
- Finneran, Michael. "WiMax vs Wi-Fi A Comparison of Technologies, Markets, and Business Plan." 2004.
- Google Inc. "Android Developers." 2011 йил 9-Julio. Activities. 2011 йил 22-Noviembre <<http://developer.android.com/guide/topics/fundamentals/activities.html>>.
- Google Inc. "Andorid open source project." 2010 йил 3- Octubre. About the Android open source project. 2011 йил 15-Noviembre <<http://source.android.com/about/index.html>>.
- . "Android Developers." 2011 йил 9-Julio. Aplication Fundamentals. 19 йил 2011-Noviembre <<http://developer.android.com/guide/topics/fundamentals.html>>.
- Grossmann, Uwe and Schauch Markus. "RSSI based WLAN indoor positioning with personal digital assistants." Dortmund: Dortmund University of the Applied Sciences, Septiembre 2007.
- Hae, Don Chon, y otros. «Using RFID for Accurate Positioning.» Journal of Positioning System (2004): 32-39.
- Hallberg, Josef y Marcus Nilson. «Positioning with Bluetooth, IrDA and RFID.» 2002.
- Jimenez, Isidro. "Sistema de Posicionamiento Para Interiores." Madrid, Septiembre 2010.
- Lehr, William and Lee MkKnight. "Wireless Internet access: 3G vs Wifi." USA: Telecommunications Policy, 2003.
- Mark, Murphy. Beginning Android. APRESS, 2009.

- Mena, Darío. "Java Online." 2011 йил 15-Junio. 2011 йил 2-Dicim;embre  
<<http://cursosporinternet.info/index.php/the-news/43-programacion/164-java-en-dispositivos-moviles.html>>.
- Open Handset Alliance. "Open Handset Alliance." 2007 йил 5-Noviembre. Members. 2011 йил 2011-Noviembre  
<[http://www.openhandsetalliance.com/oha\\_members.html](http://www.openhandsetalliance.com/oha_members.html)>.
- Organización Mundial de Turismo. Turismo en Latinoamérica: Panorama Actual ed. 2010. Madrid: Organización Mundial de Turismo, 2010.
- Pahlavan, Kaveh and Prashant Krishnamurthi. Principles of Wireless Networks, a Unified Approach. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- Portoti, Francesco and Alessandro Corucci. Accuracy Limits of in-room localisation using RSSI. Pisa: Dept. of Information Engineering University of Pisa, 2008.
- Prócel, Paúl, y otros. «Desarrollo de una Aplicación de Servicios Basados en Localización para Redes Celulares de Tipo GSM y UMTS Usando el Emulador Mobile Positioning System 6.0.1 .» Avances de Ciencia y Tecnología (2009): 17-21.
- Ranvier, Sylvain. "Path loss models." Helsinki: Helsinki University of Technology, 24 November 2004.
- Tsui, James Bao-yen. Fundamentals of Global Positioning System Receivers. NEW JERSEY: JOHN WILEY, 2005.
- UNESCO. REPORTE FINAL DE LA SEGUNDA SESIÓN Y COMITE INTERGUBERNAMENTAL PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL Y NATURAL DEL MUNDO. SEPTIEMBRE 1978.
- Van Diggelen, Frank. A-GPS Assisted GPS, GNSS, and SBAS. BOSTON: ARTECH HOUSE, 2009.
- Whitney, Lance. SINET NEWS. 2010 йил 4-Agosto. 2011 йил 15-Noviembre <[http://news.cnet.com/8301-1035\\_3-20012627-94.html](http://news.cnet.com/8301-1035_3-20012627-94.html)>.
- Wifi Alliance. Knowledge Center. 2011. 07 Julio 2011  
<[http://www.wifi.org/knowledge\\_center\\_overview.php?type=2](http://www.wifi.org/knowledge_center_overview.php?type=2)>.
- WildPackets. Converting Signal StrengthPercentage to dBm. Walnut Creek, November 2002.
- Xu, Guochang. GPS Theory, Algorithms and Applications. Postdam: Springer, 2007.

**INDICE DE FIGURAS:**

<i>Figura 1: Arquitectura de un sistema clásico RFID</i> .....	4
<i>Figura 2: Sistema de Coordenadas</i> .....	18
<i>Figura 3: Señal GPS en el satélite</i> .....	20
<i>Figura 4: Pseudorangos en el sistema GPS</i> .....	21
<i>Figura 5: Ejemplo pseudorangos en una dimensión</i> .....	22
<i>Figura 6: Geometría de la Técnica de Localización TOA</i> .....	27
<i>Figura 7: Técnica de AOA para geolocalización</i> .....	28
<i>Figura 8: Ciclo de Vida de una Actividad</i> .....	46
<i>Figura 9: Aplicación Google Maps en un teléfono Android</i> .....	52
<i>Figura 10: LG Optimus One P500</i> .....	56
<i>Figura 11: TP-Link TL-WR740N</i> .....	57
<i>Figura 12: Mapa Maxwell Tercer Piso</i> .....	58
<i>Figura 13: Mapa Maxwell Tercer Piso con primera distribución de routers</i> .....	60
<i>Figura 14: Zonas a cubrir por el proyecto</i> .....	61
<i>Figura 15: Mapa Maxwell Tercer piso con segunda distribución de routers</i> .....	63
<i>Figura 16: Diagrama de bloques del método huella</i> .....	67
<i>Figura 17: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 1 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	69
<i>Figura 18: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 1</i> .....	70
<i>Figura 19: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 2 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	71
<i>Figura 20: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 2</i> .....	71
<i>Figura 21: Regresión de distancia vs Prx de zona 1 con router 3 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	72
<i>Figura 22: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 1 con el router 3</i> .....	72
<i>Figura 23: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 1 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	73
<i>Figura 24: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 4 con el router 1</i> .....	73
<i>Figura 25: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 2 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	74
<i>Figura 26: Regresión de distancia vs Prx de zona 4 con router 3 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	74
<i>Figura 27: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 4 con el router 3</i> .....	75
<i>Figura 28: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 1 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	75
<i>Figura 29: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 2 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	76

<i>Figura 30: Regresión de distancia vs Prx de zona 5 con router 3 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	76
<i>Figura 31: Ajuste de la Ecuación 14 a la regresión en la zona 5 con el router 3</i> .....	77
<i>Figura 32: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 1 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	79
<i>Figura 33: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 2 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	79
<i>Figura 34: Regresión de distancia vs Prx de zona 2 con router 3 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	80
<i>Figura 35: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 1 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	80
<i>Figura 36: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 2 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	81
<i>Figura 37: Regresión de distancia vs Prx de zona 3 con router 3 y modelo de perdidas con varios n</i> .....	81
<i>Figura 38: Diagrama de bloques programa Matriz H</i> .....	83
<i>Figura 39: Ejemplo de determinación de la posición usando Matriz H</i> .....	85
<i>Figura 40: Eje de coordenadas por router</i> .....	88
<i>Figura 41: Captura de pantalla método Huella</i> .....	93
<i>Figura 42: Captura de pantalla para el método Matriz H</i> .....	96
<i>Figura 43: Histograma a 1m LOS</i> .....	98
<i>Figura 44: Histograma a 1m LOS</i> .....	99
<i>Figura 45: Histograma a 5m LOS</i> .....	99
<i>Figura 46: Histograma a 10 m LOS</i> .....	100
<i>Figura 47: Histograma a 15 m LOS</i> .....	100
<i>Figura 48: Histograma a 5 m NLOS</i> .....	101
<i>Figura 49: Histograma a 10 m NLOS</i> .....	101
<i>Figura 50: Pruebas de Velocidad de Respuesta del Dispositivo Móvil</i> .....	102
<i>Figura 51: Desviación estándar de las muestras vs Error en la distancia</i> .....	115
<i>Figura 52: Error de la distancia calculada vs distancia real con método Huella</i> .....	116
<i>Figura 53: Error de la distancia calculada vs distancia real con método matriz H</i> .....	117
<i>Figura 54: Dispersión de las potencias para las diferentes zonas</i> .....	118

# ANEXOS

## ANEXO 1A



ANEXO 1B

ZONA 1

				MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3				MUESTRA 4				MUESTRA 5													
d_Router1(m)	d_Router2(m)	d_Router3(m)	d(m)	Prx/Router1/prueba1	Prx/Router2/prueba1	Prx/Router3/prueba1	Prx/Router1/prueba2	Prx/Router2/prueba2	Prx/Router3/prueba2	Prx/Router1/prueba3	Prx/Router2/prueba3	Prx/Router3/prueba3	Prx/Router1/prueba4	Prx/Router2/prueba4	Prx/Router3/prueba4	Prx/Router1/prueba5	Prx/Router2/prueba5	Prx/Router3/prueba5															
				media/1	desviación/1	media/1	desviación/2	media/2	desviación/2	media/2	desviación/3	media/3	desviación/4	media/4	desviación/4	media/5	desviación/5	media/5	desviación/5														
18.97	3.08	29.94	0.5	*60.42	0.7	*37.52	0.49	*56.95	1.13	*66.24	0.65	*51.94	2.12	*61.88	1.62	*72.39	3.96	*52.7	2.07	*68.57	4.59	*64.37	2.53	*43.21	0.71	*65.4	2.58	*67.6	0.58	*51.24	1.49	*64.61	1.16
18.47	2.64	29.44	1	*62.87	1.48	*44.56	0.49	*60.08	0.51	*69.87	2.57	*47.92	2.18	*63.71	2.85	*64.32	2.65	*47	3	*68.35	4.64	*61.52	1.09	*41.43	0.68	*61.33	1.18	*64.09	1.54	*45.95	1.95	*66.28	3.31
17.97	2.23	28.94	1.5	*62.88	2.16	*41.21	3.88	*59.95	1.58	*71.59	2.58	*49.71	3.83	*67.57	3.26	*65.88	3.66	*42.19	1.35	*63.55	6.41	*66.98	1.82	*43.8	2.38	*60.81	0.98	*64.24	2.09	*41.53	2.17	*59.25	5.87
17.48	1.87	28.44	2	*61.24	1.43	*37.73	0.72	*62.68	0.46	*70.85	1.86	*41.26	2.41	*65.7	3.11	*72.33	0.97	*37.82	2.2	*70.08	2.9	*70.64	1.13	*40.23	2.23	*66.33	1.6	*64.29	0.95	*36.56	1.88	*73.79	2.39
16.98	1.58	27.94	2.5	*59.29	1.34	*32.55	1.56	*61.19	1.37	*70.04	3.02	*34.88	0.74	*66.64	0.78	*70.58	2.92	*43.81	1.97	*63.71	2.12	*69.04	0.98	*32.84	0.75	*69.36	1.69	*69.47	4.07	*36.97	5.3	*69.29	3.16
16.48	1.42	27.44	3	*64.03	3.19	*34.5	1.11	*60.98	2.11	*63.98	2.14	*35.27	1.74	*67.46	2.18	*74.28	0.97	*39.29	0.7	*64.96	0.69	*66.51	2.18	*33.32	1.95	*64.95	4.25	*72.76	5.9	*44.47	6.33	*64.77	0.83
15.98	1.42	26.94	3.5	*57.13	3.86	*26.61	5.1	*59.14	0.38	*66.79	1.28	*37.42	3.01	*62.69	1.38	*64.76	1.57	*32.75	1.31	*66.34	1.72	*67.66	1.22	*36.6	1.92	*64.13	1.83	*62.42	0.99	*34.54	0.89	*67.47	1.35
15.48	1.59	26.44	4	*51.69	0.77	*38.45	3.25	*62.58	0.49	*62.88	1.35	*40.54	1.48	*65.75	2.39	*63.72	1.93	*33.05	0.83	*67.14	3.47	*67	3.04	*38.28	2.2	*67.56	1.94	*62.15	1.1	*36.88	0.85	*60.73	3.69
14.99	1.88	25.94	4.5	*53.11	1.14	*41.98	1.01	*59.64	1.66	*61.58	0.81	*46.11	1.67	*63.98	1.46	*60.19	2.58	*36.62	1.34	*75.08	4.85	*61.37	1.03	*42.85	1.91	*65.51	1.23	*63.64	3.94	*35.23	2.24	*66.14	2.43
14.49	2.25	25.44	5	*64.77	0.41	*46.46	0.48	*68.74	0.68	*62.63	3.5	*42.59	0.72	*64.91	2.78	*68.71	2.48	*39.44	1.39	*70.5	4.2	*62.77	3.29	*42.13	1.39	*67.69	2.74	*71.97	1.74	*38.67	1.34	*67.39	2.87
13.99	2.66	24.94	5.5	*60.33	2.21	*50.94	2.6	*65.28	1.4	*69.03	1	*45.94	3.01	*70.09	2.17	*69.22	0.88	*36.74	0.43	*66.69	1.2	*63.3	1.47	*43.54	1.68	*66.15	0.83	*70.51	3.32	*39.66	1.06	*62.67	1.22
13.49	3.09	24.44	6	*68.29	0.69	*44.54	1.01	*59.68	0.8	*67.46	2.38	*46.39	0.68	*69.97	1.09	*60.97	1.42	*45.63	2.39	*68.12	1.75	*60.88	1.98	*45.39	3.26	*68.65	0.47	*60.62	1.39	*39.38	0.99	*63.37	1.65
13.00	3.55	23.94	6.5	*71.21	2.19	*55.54	7.64	*54.6	2.37	*63.2	3.67	*48.21	4.66	*66.81	1.53	*61.15	1.09	*40.67	2.84	*64.89	2.06	*69.76	6.25	*43.27	7.42	*64.8	4.87	*63.33	1.25	*39.61	2.04	*61.94	1.4
12.50	4.01	23.44	7	*57.88	6.49	*58.8	4.37	*54.43	2.11	*67.32	1.57	*57.62	5.74	*62.27	2.34	*60.45	0.49	*46.54	2.75	*63.21	0.97	*74.8	5.51	*44.33	5.38	*68.8	1.45	*59.56	0.69	*44.38	0.97	*61.68	1.13
12.00	4.48	22.94	7.5	*56.08	1.06	*60.17	3.05	*53.79	0.55	*62.5	0.98	*49.65	0.68	*67.35	0.98	*60.86	2.53	*52.43	1.56	*63.7	1.5	*64.93	1.16	*50	1.85	*68.67	0.82	*63.64	0.93	*48.58	3.42	*59.01	0.6
11.51	4.96	22.44	8	*59.47	2.49	*54.39	0.79	*59.66	2.33	*63.58	1.76	*48.7	4.91	*68.89	4.77	*70.78	5.62	*55.93	2.86	*64.36	2.26	*66.76	3.64	*49.17	1.81	*63.54	1.58	*61.4	2.44	*51.87	2.69	*60.64	4.4
11.01	5.44	21.94	8.5	*51.31	4.83	*62.41	4.34	*61.89	1.67	*64.45	1.92	*54.31	3.46	*75.45	6.22	*61.24	3.81	*51.74	2.65	*69.37	0.48	*58.71	1.89	*44.21	1.18	*66.85	1.61	*60.73	5.88	*48.29	0.45	*60.62	3.06
10.51	5.93	21.44	9	*51.8	0.92	*61.08	3.84	*59.74	3.3	*71.07	1.95	*47.1	1.17	*65.26	0.44	*68.08	4.29	*46.42	0.82	*66.35	2.82	*62.64	1.12	*48.21	0.87	*62.83	1.73	*69.27	5.4	*50.03	2.21	*61.67	0.72
10.02	6.41	20.94	9.5	*51.75	0.74	*62.51	1.71	*63.89	4.08	*67.29	3.85	*48.31	1.02	*75.15	0.78	*67.65	2.72	*48.85	0.89	*61.68	1.13	*66.07	2.24	*55.42	1.01	*61.36	0.47	*58.25	1.01	*55.68	0.8	*60.05	0.84
9.52	6.90	20.44	10	*60.54	4.63	*54.99	2.49	*65.8	4.19	*67.82	2.83	*51.31	2.41	*66.77	3.05	*56.08	0.57	*53.51	0.68	*59.92	1.52	*59.87	0.59	*66.93	3.09	*61.7	0.75	*58.31	0.46	*56.95	0.58	*57.33	0.47
9.03	7.39	19.94	10.5	*52.84	2.33	*70.18	4.57	*63.42	4.57	*65.73	1.97	*57.68	2.58	*61.78	2.18	*54.79	0.6	*54.68	1.96	*60.83	0.58	*61.46	0.73	*60.03	2.28	*65.03	5.59	*60.58	2.67	*56.65	0.86	*63.93	1.43
8.54	7.89	19.44	11	*50.08	0.9	*54.5	5.3	*59.51	2.46	*68.51	6.54	*55.36	2.9	*68.51	0.99	*55.22	3.58	*50.47	3.55	*64.7	2.16	*62.68	0.7	*57.12	0.33	*73.47	1.18	*54.92	2.3	*53.83	1.49	*64.7	1.45
8.04	8.38	18.94	11.5	*52.99	1.68	*64.65	3.81	*57.41	0.72	*59.22	3.67	*62.4	6.43	*69.28	3.65	*48.36	0.97	*58.79	0.93	*61.79	1.61	*53.25	0.9	*61.36	3.14	*65.88	0.71	*62.63	3.23	*56.03	1.53	*67.11	2.39
7.55	8.87	18.44	12	*45.89	2.68	*61.88	2.29	*66.31	1.57	*53.14	0.77	*47.48	0.7	*60.81	1.14	*53.43	2.02	*56.5	5.68	*63.76	1.22	*54.67	0.47	*56.22	4.59	*65.48	2.54	*56.97	0.79	*51.41	2.26	*61.47	0.49
7.06	9.37	17.94	12.5	*54.34	4.74	*63.49	1.79	*53.96	0.64	*57.49	2.16	*62.78	2.02	*57.75	1.77	*56.74	1.89	*67.95	4.04	*62.8	0.97	*54.71	0.71	*65.39	4.99	*59.49	2.27	*53.54	1.76	*59.57	2.43	*63.62	1.09
6.57	9.86	17.44	13	*52.73	2.15	*70.52	3.73	*63.85	4.61	*55.11	1.39	*58.14	0.63	*53.46	0.49	*62.83	1.45	*58.28	0.76	*64.03	1.97	*59.67	3.77	*54.05	1.73	*65.33	2.68	*53.07	2.93	*54.98	2.98	*60.5	2.73
6.08	10.36	16.94	13.5	*51.29	1.67	*61.67	4.62	*61.81	2.89	*63.08	1.73	*55.64	1.6	*55.64	1.6	*61.12	1.09	*59.32	1.65	*59.87	2.4	*68.51	3.09	*59.31	2.56	*58.49	0.91	*50.66	2.37	*50.01	2.95	*55.28	1.3
5.60	10.85	16.44	14	*50.52	0.57	*62.95	0.91	*64.08	1.89	*58.03	1.38	*60.17	3.02	*58.21	1.49	*59.38	3.1	*57.062	1.18	*60.34	3.2	*62.04	2.58	*67.58	3.53	*63.03	0.86	*56.43	2.36	*57.48	1.65	*57.35	1.14
5.12	11.35	15.94	14.5	*47.31	1.16	*61.23	1.39	*58.85	1.47	*51.11	3.27	*66	0.92	*60.14	1.13	*56.02	1.05	*58.9	2.28	*67.94	3.72	*55.08	1.65	*57.32	1.49	*59.9	2.06	*48.59	0.49	*58.7	3.21	*62.58	1.66
4.64	11.84	15.44	15	*47.9	1.22	*64.73	1.51	*54.04	1.97	*51.4	0.48	*55.78	0.91	*59.32	1.02	*54.73	1.82	*53.02	0.88	*56.52	0.49	*55.08	2.68	*54.05	1.37	*55.83	2	*48.87	0.67	*52.46	1.55	*59.68	1.28

ZONA 2

				MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3				MUESTRA 4				MUESTRA 5													
d_Router1(m)	d_Router2(m)	d_Router3(m)	d(m)	Prx/Router1/prueba1	Prx/Router2/prueba1	Prx/Router3/prueba1	Prx/Router1/prueba2	Prx/Router2/prueba2	Prx/Router3/prueba2	Prx/Router1/prueba3	Prx/Router2/prueba3	Prx/Router3/prueba3	Prx/Router1/prueba4	Prx/Router2/prueba4	Prx/Router3/prueba4	Prx/Router1/prueba5	Prx/Router2/prueba5	Prx/Router3/prueba5															
				media/1	desviación/1	media/1	desviación/2	media/2	desviación/2	media/2	desviación/3	media/3	desviación/4	media/4	desviación/4	media/5	desviación/5	media/5	desviación/5														
5.43	10.55	16.27	0	*41.39	3.45	*66.61	7.79	*43.38	0.77	*46.96	3.32	*55.02	4.45	*44.47	0.75	*47.66	3.93	*51.98	8.43	*47.52	11.21	*55.78	1.86	*54.88	3.14	*43.46	0.8	*49.69	2.53	*56.63	7.25	*48.8	11.19
5.33	10.63	16.28	0.5	*52.31	0.53	*68.89	1.26	*52.96	0.57	*48.79	2.62	*50.46	1.55	*56.89	4.72	*48.57	2.22	*53.32	2.09	*55.83	5.47	*48.83	2.42	*58.42	2.57	*57.84	6.67	*52.64	2.18	*54.95	1.22	*57.8	4.56
5.27	10.73	16.31	1	*53.98	2.7	*51.18	3.37	*54.84	2.8	*53.26	2.24	*47.36	1.6	*47.15	3.73	*57.57	5.68	*48.7	2.31	*46.98	4.14	*52.23	9.62	*57.02	1.44	*48.94	1.06	*53.84	1.6	*50.47	2.23	*50.38	3.42
5.25	10.85	16.35	1.5	*56.27	2.86	*53.34	5.77	*66.74	0.89	*53.44	0.6	*47.62	3.3	*53.44	2.2	*52.91	3.55	*64.15	8.92	*54.26	1.48	*54.99	1.28	*61.38	5.21	*53.85	0.58	*49.95	0.51	*56.98	6.75		
5.28	11.00	16.41	2	*51.01	2.21	*63.92	4.95	*63.67	4.77	*58.																							

ZONA5

				MUESTRA1						MUESTRA2						MUESTRA3						MUESTRA4						MUESTRA5					
d_Router1(m)	d_Router2(m)	d_Router3(m)	d/(m)	PrxRouter1/prueba1	PrxRouter2/prueba1	PrxRouter3/prueba1	PrxRouter4/prueba1	PrxRouter5/prueba1	PrxRouter6/prueba1	PrxRouter7/prueba1	PrxRouter8/prueba1	PrxRouter9/prueba1	PrxRouter10/prueba1	PrxRouter11/prueba1	PrxRouter12/prueba1	PrxRouter13/prueba1	PrxRouter14/prueba1	PrxRouter15/prueba1	PrxRouter16/prueba1	PrxRouter17/prueba1	PrxRouter18/prueba1	PrxRouter19/prueba1	PrxRouter20/prueba1	PrxRouter21/prueba1	PrxRouter22/prueba1	PrxRouter23/prueba1	PrxRouter24/prueba1	PrxRouter25/prueba1					
				media1	desviación1	media2	desviación2	media3	desviación3	media4	desviación4	media5	desviación5	media6	desviación6	media7	desviación7	media8	desviación8	media9	desviación9	media10	desviación10	media11	desviación11	media12	desviación12	media13	desviación13				
11.82	27.97	0.79	0	60.97	7.77	68.27	6.53	34.07	1.8	66.27	1.31	78.13	1.67	37.35	0.83	58.82	1.22	67.78	0.41	30.35	0.47	58.54	3.42	70.19	2.22	22.81	4.78	62.62	11.7	79.16	8.65	39.24	4.79
11.75	28.04	1.49	1	55.4	5.53	74.27	3.92	43.81	2.15	57.33	3.8	66.51	3.64	44.1	3.12	51.66	3.88	63.17	2.96	36.95	7.54	51.07	4.01	62.42	2.71	34.7	7.07	44.83	0.83	64.36	5.67	36.92	2.93
11.77	28.15	2.41	2	60.8	4.06	64.21	4.68	45.95	3.64	66.07	4.61	76.61	5.04	46.45	1.38	58.41	4.31	82.35	7.45	51.57	5.21	68.36	4.06	87.85	6.96	57.05	3.56	70.28	5.29	87.74	9.42	58.87	7.54
11.88	28.29	3.38	3	59.42	5.33	80.89	3.3	55.01	3.51	69.42	2.49	84.64	2.45	56.71	1.28	74.63	7.6	82.81	4.14	52.27	1.83	69.21	1.22	85.77	0.9	59.95	2.48	69.8	2.07	85.48	2.49	56.83	3.7
12.06	28.47	4.36	4	71.81	6.89	79.14	4.96	51.44	4.18	51.61	0.48	88.21	5.33	56.09	0.64	68.46	4.3	83.62	1.18	59.13	3.18	68.1	1.68	87.5	0.94	61.42	1.64	67.62	1.45	88.04	3.14	60.52	3.02
12.32	28.68	5.35	5	77.48	4.026	84.31	2.86	55.45	0.49	81.38	3.77	97.69	5.41	61.19	1.94	78.86	6	89.95	6	56.69	1.98	76.27	6.02	93.01	6.67	61.5	2.49	75.52	3.03	93.24	4.82	60.37	1.14
12.66	28.92	6.34	6	76.97	2.22	86.66	0.66	61.014	3.48	83.6	3.18	91.75	1.11	64.59	2.24	78.58	1.51	97.48	4.52	59.31	1.5	78.73	2.62	90.78	6.01	61.85	3.8	85.13	3.57	92.07	4.87	65.6	1.92
13.07	29.20	7.34	7	76.2	2.76	93.67	7.06	51.39	2.01	81.28	1.8	98.82	2.61	65.6	3.32	79.34	2.37	88.94	6.74	62.3	1.85	78.36	2.49	85.09	5.44	70.21	3.75	69.17	2.88	93.82	4.71	65.15	3.68
13.54	29.51	8.33	8	79.33	1.88	85.94	0.83	52.38	1.94	82.86	1.66	97.88	3.52	63.21	4.7	81.53	3.02	96.51	6.6	66.21	1.02	87.88	8.33	SS	NA	66.97	6.51	81.56	2.35	96.85	5.27	66.99	3.94
14.06	29.85	9.33	9	84.19	0.98	95.68	3.75	62.3	1.46	87.15	0.15	97.61	1.16	65.65	0.47	81.98	1.49	SS	NA	61.45	1.26	83.97	4.16	SS	NA	64.45	1.76	83.62	3.48	SS	NA	62.018	4.44
14.63	30.21	10.33	10	81.51	1.43	SS	NA	61.05	3.01	85.66	0.93	99.48	1.52	72.96	2.21	87.47	2.66	SS	NA	63.18	2.46	78.63	2.24	99.87	1	64.97	1.98	84.03	3.82	SS	NA	68.48	2.96
15.25	30.61	11.32	11	80.2	1.54	SS	NA	63.4	0.91	87.77	1.86	94.73	4.72	72.52	2.57	81.54	1.62	SS	NA	63.74	2.03	83.76	3.38	98.27	3.01	68.72	1.48	84.43	1.63	SS	NA	67.54	2.9

# ANEXO 1C

## ZONA 1

				MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3				MUESTRA 4											
d_Router1(m)	d_Router2(m)	d_Router3(m)	d(m)	media 1	desviacion 1	media 1	desviacion 1	media 1	desviacion 1	media 2	desviacion 2	media 2	desviacion 2	media 3	desviacion 3	media 3	desviacion 3	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4		
4,73	3,22	15,61	0,5	-59,630	0,920	-64,020	1,110	-71,350	0,930	-64,680	1,110	-54,720	0,440	-71,020	1,530	-61,760	0,780	-57,560	0,470	-70,990	0,700	-61,180	1,250	-57,410	0,490	-70,700	0,450
5,21	2,78	16,11	1	-63,620	4,990	-45,410	2,250	-63,510	2,620	-58,840	3,460	-43,800	1,600	-67,470	1,130	-53,130	0,500	-38,320	0,460	-68,250	0,560	-54,460	1,490	-38,760	0,420	-70,016	0,760
5,69	2,36	16,61	1,5	-59,970	0,890	-43,260	3,750	-64,024	1,790	-62,040	3,120	-47,630	5,210	-65,420	4,060	-52,280	1,610	-38,680	0,360	-58,210	1,170	-53,930	0,870	-37,540	0,740	-62,140	1,270
6,18	1,98	17,11	2	-57,740	2,850	-31,990	0,560	-63,210	2,040	-56,603	0,720	-31,790	0,790	-62,530	0,500	-57,620	0,830	-32,110	0,710	-62,180	0,380	-57,070	1,620	-31,660	0,470	-61,690	1,510
6,67	1,66	17,61	2,5	-57,450	1,890	-32,460	4,490	-65,570	2,690	-58,950	1,580	-32,210	0,590	-66,060	2,380	-56,720	2,410	-33,030	0,710	-66,580	1,790	-57,710	0,810	-32,930	0,730	-64,240	2,450
7,16	1,46	18,10	3	-59,070	3,470	-34,850	1,150	-65,200	1,060	-56,630	3,170	-35,460	0,490	-66,240	1,880	-59,290	0,470	-38,400	0,680	-64,280	0,690	-57,630	1,280	-35,500	1,340	-61,400	1,280
7,65	1,40	18,60	3,5	-53,880	4,430	-34,610	6,610	-73,680	5,120	-52,240	3,880	-34,290	4,910	-63,250	5,730	-54,080	1,080	-32,630	0,480	-65,050	0,940	-58,500	3,850	-31,680	0,410	-65,390	3,390
8,14	1,52	19,10	4	-63,490	5,010	-40,580	5,200	-70,950	3,070	-62,760	3,630	-40,930	1,610	-61,700	2,410	-61,980	0,100	-39,630	0,950	-76,770	2,510	-60,210	0,810	-41,110	0,670	-74,110	1,310
8,63	1,78	19,60	4,5	-61,110	0,670	-55,550	0,830	-67,300	1,120	-58,680	2,320	-59,350	0,880	-65,440	2,120	-55,940	0,630	-56,210	3,840	-69,680	1,260	-58,330	1,470	-53,150	9,920	-67,690	2,440
9,13	2,13	20,10	5	-58,890	1,870	-48,220	0,410	-61,090	0,650	-57,000	1,100	-60,390	1,000	-68,840	3,220	-58,500	3,970	-53,180	3,180	-67,450	3,440	-57,600	2,360	-56,230	3,230	-67,030	1,410
9,62	2,52	20,60	5,5	-58,840	2,870	-55,070	1,008	-65,260	2,040	-58,640	0,930	-56,790	3,680	-68,260	3,270	-60,200	1,690	-55,990	0,980	-68,300	1,620	-60,840	0,360	-55,190	0,390	-70,840	0,370
10,12	2,95	21,09	6	-60,190	1,980	-55,450	2,680	-66,060	0,540	-61,710	1,370	-65,430	2,720	-69,340	1,580	-61,520	1,590	-67,950	0,680	-69,400	1,090	-63,770	0,417	-69,000	0,750	-69,740	0,800
10,61	3,40	21,59	6,5	-62,670	3,400	-59,800	2,090	-71,110	4,930	-58,710	1,440	-61,680	3,600	-69,220	3,100	-57,740	0,430	-62,920	2,200	-69,580	0,960	-56,440	0,490	-63,920	2,160	-69,660	0,470
11,11	3,86	22,09	7	-54,520	3,300	-61,420	3,400	-65,400	1,070	-62,450	0,490	-56,470	1,330	-70,240	0,750	-62,120	0,680	-56,090	0,800	-69,970	1,530	-61,630	0,910	-56,260	0,490	-70,190	0,870
11,60	4,33	22,59	7,5	-65,580	0,510	-66,320	1,430	-78,400	1,100	-75,590	2,570	-59,890	0,500	-74,270	0,440	-76,830	0,370	-62,330	0,740	-73,480	0,590	-76,660	0,470	-63,550	1,790	-73,130	0,800
12,10	4,81	23,09	8	-64,680	6,840	-64,440	2,110	-68,160	3,070	-64,580	1,380	-66,200	0,690	-64,390	2,710	-63,960	1,630	-66,740	0,630	-65,660	2,090	-64,260	1,280	-62,800	1,450	-67,000	0,000
12,60	5,29	23,59	8,5	-66,460	5,120	-62,620	0,480	-74,960	3,100	-69,240	0,770	-63,330	0,470	-77,610	1,480	-68,810	0,390	-61,700	0,790	-76,140	0,870	-67,700	0,950	-60,910	8,800	-76,690	0,740
13,10	5,77	24,09	9	-60,680	2,080	-61,630	1,110	-73,260	2,280	-64,590	1,810	-61,780	0,650	-73,820	0,710	-64,350	3,300	-61,330	0,470	-72,080	1,580	-63,240	1,400	-61,570	0,490	-71,800	0,790
13,59	6,26	24,59	9,5	-65,110	4,210	-64,130	0,990	-76,820	2,830	-69,580	2,050	-67,370	1,950	-78,180	2,340	-69,230	2,070	-67,080	3,630	-77,040	1,530	-72,450	0,480	-73,110	1,250	-80,250	0,800
14,09	6,75	25,09	10	-71,970	1,010	-47,300	0,870	-70,990	1,290	-62,830	0,580	-59,810	0,930	-72,630	2,060	-63,420	0,490	-59,630	0,480	-72,770	0,410	-63,400	4,800	-59,520	4,900	-71,016	1,670
14,59	7,24	25,59	10,5	-60,950	1,800	-65,840	5,500	-71,090	2,870	-65,880	8,600	-64,540	8,300	-72,130	0,860	-66,100	2,240	-67,700	0,450	-72,580	0,730	-65,480	1,130	-65,250	0,440	-73,200	0,400
15,09	7,73	26,08	11	-59,550	1,460	-67,130	4,070	-70,850	0,870	-65,920	0,790	-73,920	0,780	-76,580	1,100	-66,070	1,290	-73,260	0,440	-77,000	0,000	-66,370	0,500	-72,610	0,100	-78,410	0,770
15,58	8,22	26,58	11,5	-68,210	1,130	-64,560	4,400	-73,940	2,950	-67,060	2,510	-69,890	2,450	-72,000	0,650	-68,970	2,530	-71,710	1,230	-70,160	0,370	-69,790	1,920	-71,460	1,490	-68,530	2,200
16,08	8,71	27,08	12	-62,640	1,130	-61,340	3,130	-71,500	1,110	-64,330	1,280	-61,810	1,460	-75,370	1,690	-64,370	0,860	-61,360	0,480	-76,580	1,490	-64,230	0,420	-60,550	1,000	-79,120	1,550
16,58	9,21	27,58	12,5	-67,700	1,820	-65,860	3,540	-69,660	7,000	-69,620	1,180	-71,910	1,870	-72,240	0,870	-66,510	0,480	-73,000	0,900	-70,780	0,540	-67,120	0,990	-72,280	1,450	-72,910	0,980
17,08	9,70	28,08	13	-68,170	1,580	-71,048	1,550	-70,980	0,530	-72,340	3,420	-67,760	0,420	-73,320	1,250	-70,120	1,200	-67,330	1,150	-72,956	0,658	-70,940	1,270	-68,308	0,460	-73,456	0,880
17,58	10,20	28,58	13,5	-68,840	2,680	-63,880	1,610	-69,530	3,150	-67,820	4,700	-67,930	2,390	-76,310	0,790	-68,490	1,200	-66,180	0,980	-78,200	0,870	-68,700	0,450	-65,150	0,860	-77,080	0,990
18,07	10,69	29,08	14	-68,300	2,620	-69,740	1,520	-76,540	2,870	-61,970	1,710	-78,490	0,860	-75,490	0,860	-60,420	0,960	-73,530	2,610	-73,760	1,300	-58,880	0,720	-71,028	1,600	-73,430	0,480
18,57	11,18	29,58	14,5	-70,640	1,840	-62,960	1,330	-78,880	1,480	-72,720	2,070	-82,230	0,740	-78,690	2,650	-68,080	0,820	-63,690	1,050	-76,330	1,264	-70,690	0,760	-63,480	0,490	-82,070	3,110
19,07	11,68	30,08	15	-64,170	2,530	-68,910	4,050	-69,670	2,720	-65,240	0,420	-72,250	1,280	-69,760	2,150	-65,900	1,240	-72,740	0,430	-68,580	1,610	-68,130	1,180	-74,240	0,430	-69,860	0,340

## ZONA 2

				MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3				MUESTRA 4											
d_Router1(m)	d_Router2(m)	d_Router3(m)	d(m)	media 1	desviacion 1	media 1	desviacion 1	media 2	desviacion 2	media 2	desviacion 2	media 3	desviacion 3	media 3	desviacion 3	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4	media 4	desviacion 4
5,43	2,22	16,34	0	-44,46	2,86	-47,17	1,52	-61,49	4,79	-42,77	0,67	-45,27	0,18	-59,55	0,72	-45,39	0,72	-45,84	0,36	-58,83	0,79	-43,45	0,92	-45,25	0,42	-58,99	0,56
5,93	2,56	16,39	0,5	-49,29	1,32	-57,03	2,85	-60,41	2,60	-46,00	0,94	-56,66	2,14	-56,08	0,48	-48,78	0,78	-53,54	1,56	-58,00	0,06	-48,36	1,00	-53,86	1,02	-57,95	0,50
5,27	2,95	16,46	1	-46,48	1,33	-57,07	0,50	-53,22	0,87	-48,17	2,87	-52,04	2,55	-54,91	1,72	-47,85	1,04	-51,14	0,84	-54,51	0,49	-48,27	0,75	-49,78	1,41	-55,91	0,76
5,25	3,37	16,54	1,5	-56,11	4,66	-64,83	6,58	-60,12	2,48	-58,14	1,92	-61,21	4,30	-54,68	0,57	-59,66	0,85	-63,62	1,05	-53,72	1,02	-58,44	0,73	-62,83	1,21	-53,78	0,42
5,95	5,81	14,95	2	-50,73	3,36	-57,26	3,20	-65,03	3,53	-65,62	0,48	-65,56	1,07	-66,22	0,41	-65,56	0,49	-64,07	0,48	-60,79	0,98	-60,00	0,00	-66,13	1,02	-60,35	0,59
3,21	6,14	14,47	2,5	61,61	4,65	-61,13	3,54	-68,40	3,84	-57,51	4,92	-62,83	4,53	-67,12	3,06	-54,12	0,79	-64,66	1,82	-72,76	0,97	-64,91	0,59	-64,97	0,96	-72,22	0,41
2,80	6,50	14,00	3	-47,77	0,78	-61,27	1,30	-77,51	0,56	-47,51	8,70	-63,00	0,00	-77,72	0,44	-51,32	0,72	-62,88	2,39	-67,00	0,00	-62,90	0,68	-66,45	2,85	-67,42	0,50
2,41	6,87	13,52	3,5	-50,18	3,75	-64,82	1,75	-61,42	0,49	-48,08	7,10	-59,47	8,50	-61,69	0,79	-46,30	1,42	-60,77	5,70	-62,44	1,21	-47,19	3,80	-66,07	1,15	-63,45	0,72
2,08	7,26	13,05	4	-48,80	2,53	-60,69	2,56	-72,18	1,85	-53,26	1,04	-63,22	0,86	-72,00	0,00	-51,31	5,90	-68,84	2,90	-73,28	0,99	-62,84	1,74	-63,44	0,60	-72,22	1,52
1,82	7,66	12,58	4,5	-44,42	7,55	-69,86	4,43	-73,07	3,85	-40,42	4,48	-74,00	0,56	-75,29	1,92	-39,96	0,53	-73,00	1,98	-77,69	1,78	-39					



## ANEXO 1D

Zona 1:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
0	-66,20	-47,32	-63,48	170	26
1	-64,53	-45,37	-63,95	170	31
2	-66,31	-43,69	-62,23	170	37
3	-67,87	-38,72	-67,72	170	42
4	-67,68	-36,21	-66,04	170	48
5	-68,31	-37,37	-64,62	170	53
6	-63,75	-33,59	-63,95	170	59
7	-61,49	-37,44	-66,75	170	64
8	-59,98	-40,56	-66,07	170	70
9	-66,17	-41,86	-67,85	170	75
10	-66,48	-43,36	-66,18	170	81
11	-63,64	-44,27	-65,96	170	86
12	-65,73	-45,46	-62,61	170	92
13	-64,00	-50,33	-62,08	170	97
14	-61,60	-52,17	-62,50	170	103
15	-64,40	-52,01	-63,42	170	108
16	-59,29	-52,19	-68,38	170	114
17	-64,57	-50,57	-63,17	170	119
18	-60,20	-54,15	-64,43	170	125
19	-60,52	-54,74	-62,30	170	130
20	-59,08	-59,84	-63,00	170	136
21	-58,28	-55,24	-66,18	170	141
22	-55,29	-60,65	-64,29	170	147
23	-52,82	-54,70	-61,57	170	152
24	-55,36	-63,84	-59,52	170	158
25	-56,68	-59,19	-61,43	170	163
26	-58,93	-57,19	-58,22	170	169
27	-57,28	-61,05	-60,60	170	174
28	-51,62	-60,43	-61,88	170	180
29	-51,60	-56,01	-57,08	170	185

Zona 2:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
30	-48,30	-57,02	-45,53	170	175
31	-50,23	-55,21	-56,26	164	175
32	-54,18	-50,95	-49,66	158	175
33	-53,75	-51,76	-62,39	153	175
34	-56,48	-64,11	-69,50	149	175
35	-59,99	-71,65	-73,84	143	175
36	-61,30	-69,90	-71,80	138	175
37	-56,02	-69,02	-71,60	133	175

Zona 3:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
38	-60,37	-75,31	-71,50	133	175
39	-58,78	-65,00	-69,53	133	176
40	-62,14	-69,90	-70,97	133	181
41	-57,20	-73,14	-75,48	133	187
42	-57,67	-72,23	-77,42	133	192
43	-56,91	-72,55	-74,54	133	198
44	-56,46	-75,38	-71,01	133	203
45	-50,64	-73,72	-72,93	133	209
46	-46,30	-72,10	-70,22	133	214
47	-43,97	-69,57	-67,83	133	220
48	-42,05	-75,87	-75,25	133	225

Zona 4:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
49	-57,72	-68,19	-48,12	170	281
50	-54,54	-77,59	-52,83	170	286
51	-59,38	-79,42	-50,58	170	292
52	-58,53	-72,51	-45,53	170	297
53	-57,10	-77,71	-45,75	170	303
54	-55,62	-77,64	-43,41	170	308
55	-60,99	-76,96	-50,65	170	314
56	-58,28	-69,57	-42,07	170	319
57	-58,57	-55,73	-41,51	170	325
58	-60,82	-73,21	-38,11	170	330

59	-63,59	-70,60	-38,81	170	336
60	-64,07	-77,73	-29,32	170	341
61	-63,12	-75,72	-19,49	170	347
62	-65,92	-71,08	-36,40	170	352
63	-64,47	-72,90	-43,31	170	358
64	-65,62	-76,93	-46,44	170	363

Zona 5:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
65	-61,44	-72,71	-32,76	170	368
66	-52,06	-66,15	-39,30	159	368
67	-64,78	-79,75	-51,98	148	368
68	-68,50	-83,92	-56,15	137	368
69	-65,52	-85,30	-57,72	126	368
70	-77,90	-91,64	-59,04	115	368
71	-80,60	-91,75	-62,47	104	368
72	-76,87	-84,07	-62,93	93	368
73	-82,63	-94,30	-63,15	82	368
74	-84,18	-96,65	-63,17	71	368
75	-83,46	-99,68	-66,13	60	368
76	-83,54	-96,50	-67,18	49	368

## ANEXO 1E

Zona 1:

n	Medias Potencia (dBm)			COORDENADAS	
	R1	R2	R3	X	Y
33	-61.81	-55.93	-71.02	170	185
34	-57.51	-41.57	-67.31	170	180
35	-57.06	-41.28	-62.45	170	174
36	-57.31	-31.89	-62.40	170	169
37	-57.71	-32.66	-66.14	170	163
38	-58.16	-35.32	-64.03	170	158
63	-54.68	-33.30	-66.84	170	152
64	-62.11	-40.56	-70.63	170	147
65	-58.52	-56.82	-67.53	170	141
66	-57.50	-52.01	-66.10	170	136
67	-59.63	-55.76	-68.17	170	130
68	-61.80	-64.46	-68.64	170	125
69	-58.89	-62.08	-69.89	170	119
70	-60.18	-57.56	-68.95	170	114
71	-73.67	-63.02	-74.82	170	108
72	-64.37	-64.82	-66.31	170	103
73	-68.05	-59.64	-76.35	170	97
74	-63.22	-61.58	-72.77	170	92
75	-69.09	-67.92	-77.77	170	86
76	-65.41	-56.57	-71.85	170	81
77	-64.60	-65.36	-72.28	170	75
78	-64.48	-71.73	-76.22	170	70
79	-68.01	-69.42	-71.16	170	64
80	-63.89	-61.27	-75.67	170	59
81	-67.74	-70.76	-71.40	170	53
82	-70.39	-68.61	-72.68	170	48
83	-68.46	-65.79	-75.28	170	42
84	-62.39	-73.05	-74.81	170	37
85	-70.53	-63.09	-79.14	170	31
86	-65.86	-72.04	-69.49	170	26

Zona 2:

	Medias Potencia (dBm)	COORDENADAS
--	-----------------------	-------------

<b>n</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>39</b>	-44.02	-45.88	-59.72	170	175
<b>40</b>	-48.11	-55.27	-58.94	164	175
<b>41</b>	-47.69	-52.51	-54.64	158	175
<b>42</b>	-58.34	-63.12	-55.57	153	175
<b>43</b>	-61.11	-57.36	-74.84	149	175
<b>44</b>	-55.06	-53.65	-70.83	143	175
<b>45</b>	-64.44	-57.50	-72.30	138	175
<b>46</b>	-52.81	-60.84	-74.94	133	175

Zona 3:

	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>n</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>47</b>	-66.50	-48.87	-74.79	133	175
<b>48</b>	-54.90	-46.94	-76.83	133	176
<b>49</b>	-58.40	-58.71	-73.49	133	181
<b>50</b>	-59.66	-60.35	-79.20	133	187
<b>51</b>	-49.98	-63.26	-61.75	133	192
<b>52</b>	-57.04	-63.90	-71.38	133	198
<b>53</b>	-49.88	-63.40	-72.41	133	203
<b>54</b>	-47.94	-61.23	-62.25	133	209
<b>55</b>	-51.55	-63.30	-72.42	133	214
<b>56</b>	-41.08	-71.86	-75.12	133	220
<b>57</b>	-39.98	-62.99	-69.85	133	225

Zona 4:

	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>n</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>16</b>	-59.01	-74.19	-52.31	170	352
<b>17</b>	-59.90	-74.66	-30.14	170	347
<b>18</b>	-65.86	-76.29	-38.66	170	341
<b>19</b>	-58.46	-70.16	-32.19	170	336
<b>20</b>	-52.31	-65.42	-39.89	170	330
<b>21</b>	-54.62	-67.45	-39.84	170	325
<b>22</b>	-58.12	-68.12	-39.69	170	319
<b>23</b>	-47.76	-75.11	-37.23	170	314
<b>24</b>	-51.47	-73.81	-36.11	170	308
<b>25</b>	-48.97	-67.08	-39.15	170	303
<b>26</b>	-52.79	-70.01	-38.73	170	297
<b>27</b>	-48.33	-64.78	-46.95	170	292

<b>28</b>	-55.71	-67.59	-50.05	170	286
<b>29</b>	-54.92	-65.57	-42.44	170	281

Zona 5:

<b>n</b>	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>0</b>	-74.62	-88.87	-71.77	44	368
<b>1</b>	-79.32	-96.14	-65.78	55	368
<b>2</b>	-76.02	-84.40	-65.26	66	368
<b>3</b>	-81.17	-89.19	-65.27	77	368
<b>4</b>	-72.35	-84.33	-65.99	88	368
<b>5</b>	-68.34	-81.61	-58.09	99	368
<b>6</b>	-71.35	-82.14	-59.88	110	368
<b>7</b>	-69.39	-81.94	-59.88	121	368
<b>8</b>	-61.65	-86.57	-54.23	132	368
<b>9</b>	-66.17	-70.63	-48.89	143	368
<b>10</b>	-64.38	-65.94	-54.88	154	368
<b>11</b>	-57.09	-58.83	-48.91	165	368

M302:

<b>n</b>	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>58</b>	-64.54	-65.29	-83.77	242	97
<b>59</b>	-70.02	-68.74	-80.84	242	97
<b>60</b>	-64.06	-67.44	-86.45	242	97
<b>61</b>	-75.21	-70.59	-84.34	242	97
<b>62</b>	-71.34	-67.44	-82.27	242	97

M309:

<b>n</b>	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>12</b>	-64.99	-74.34	-66.71	242	400
<b>13</b>	-77.75	-87.46	-57.29	242	400

<b>14</b>	-67.72	-83.27	-55.95	242	400
<b>15</b>	-79.59	-92.34	-67.14	242	400

Gradas Centrales:

	<b>Medias Potencia (dBm)</b>			<b>COORDENADAS</b>	
<b>n</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>30</b>	-35.37	-61.02	-58.02	170	255
<b>31</b>	-46.53	-60.38	-60.87	170	233
<b>32</b>	-41.18	-54.77	-66.13	170	208

## ANEXO 2A



## 150Mbps Wireless N Router

### TL-WR740N

#### Features:

- 150Mbps wireless data rates ideal for video streaming, online gaming and Internet calling
- CCA™ improves wireless performance while automatically avoiding channel conflict
- Supports PPPoE, Dynamic IP, and static IP Internet Access.
- WDS wireless bridge provides seamless bridging to expand your wireless network
- Supports UPnP, DDNS, static routing, VPN Pass-through, and data forwarding
- Supports QSS (Quick Secure Setup), provides 64/128/152-bit WEP encryption, supports WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK authentication
- QoS assures the quality of multimedia streaming
- Supports SPI firewall and access control management, IP, MAC, URL-filtering which flexibly controls online access
- Supports web-site firmware upgrade, remote and local web management
- Seamlessly compatible with 802.11b and 802.11g devices



#### Description:

The TL-WR740N 150Mbps Wireless N Router is a combined wired/wireless network connection device designed specifically for office, small business, and home networking requirements. It integrates the functions of Wireless Access Point, Firewall, 4-port Switch and NAT-Router. It is compatible with 802.11b&g based on 802.11n technology and gives you 802.11n performance up to 150Mbps at an even more affordable price, offering high quality experience within video streaming, Internet calls, or online gaming wirelessly from anywhere in your entire home.



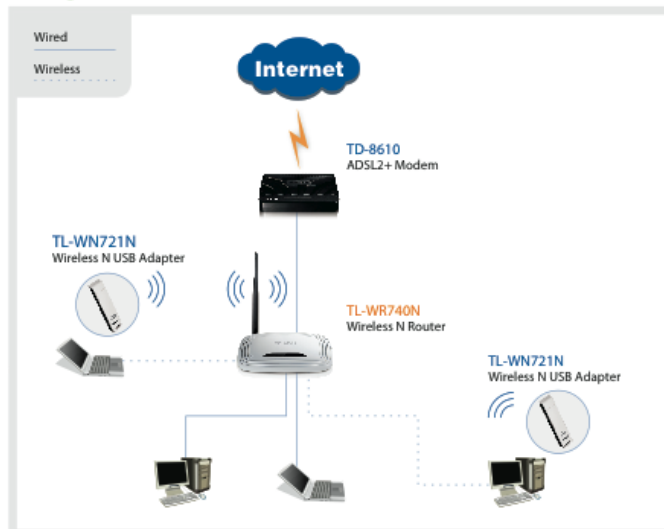
## 150Mbps Wireless N Router

TL-WR740N

### ⊙ Specifications:

Standards	IEEE 802.11g IEEE 802.11b With some n features
Interface	4 10/100M Auto-Sensing RJ45 LAN Port(Auto MDI/MDIX) 1 10/100M Auto-Sensing RJ45 WAN Port(Auto MDI/MDIX)
Wireless Signal Rates	Up to 150Mbps
Frequency Range	2.4-2.4835GHz
EIRP	<20dBm(EIRP)
Wireless Functions	Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
Receiver Sensitivity	130M: -68dBm@10% PER 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Antenna Type	5dBi Fixed Omni Directional Antenna
Software Functions	NAT, DoS Firewall, DHCP
Access Control	Parental Control, Local Management Control, Host List, Access Schedule, Rule Management
Operating temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating humidity	10% ~ 90%, Non-Condensing
Storage humidity	5%~90%, Non-Condensing
Dimensions	6.9 x 4.6 x 1.3 in. (174 x 118 x 33 mm)

### ⊙ Diagram:



#### Package:

- Wireless N router TL-WR740N
- Power Adapter
- RJ-45 Ethernet Cable
- Resource CD
- Quick Setup Guide

#### Related products:

- ADSL2+ Modem TD-8610
- Wireless N USB Adapter TL-WN721N

Specifications are subject to change without notice. TP-LINK is a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of the specifications may be reproduced in any form or by any means or used to make any derivative such as translation, transformation, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.

[www.tp-link.com](http://www.tp-link.com)

```

package com.inapt.footprint;

import java.util.List;
import android.app.Activity;
import android.content.Context;
import android.media.MediaPlayer;
import android.net.wifi.ScanResult;
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.os.Bundle;
import android.os.Handler;
import android.widget.FrameLayout;
import android.widget.TextView;

public class FootPrintActivity extends Activity {
    private FrameLayout lienzo;
    private TextView Resultado;
    private Posicion punto;
    private double u_Prx1;private double u_Prx2;private double u_Prx3;
    private double std1;private double std2;private double std3;
        private float x;private float y;private float x_anterior=170; private float
    y_anterior=233;
    MediaPlayer mediaPlayer1 ;
    private double Base_Datos[][]=new double[87][3];
    private float Posiciones_xy[][]=new float[87][2];
    private double n_audio=1;
    private int PuntoPosicionAnterior=31; //n=31 en el centro de las gradas

    //private int n_in=31

    private Handler mHandler = new Handler();
    private Handler pHandler = new Handler();
    /** Called when the activity is first created. */
    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {

        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.main);

        lienzo = (FrameLayout) findViewById(R.id.Fondo);
        Resultado = (TextView) findViewById(R.id.Resultado);

        Thread logoTimer2 = new Thread(){
            @Override
            public void run(){
                while(true){

                    Programa();
                    mHandler.post(r);

                    try {
                        sleep(500);
                    } catch (InterruptedException e) {
                        // TODO Auto-generated catch block
                        e.printStackTrace();
                    }
                    pHandler.post(r2);
                }
            }
        };
        logoTimer2.start();

    }

    @Override
    protected void onPause() {
        super.onPause();
        finish();
    }

    @Override
    protected void onStop() {
        super.onStop();
    }
}

```

```

        finish();
    }

    //imprime resultados:
    final Runnable r=new Runnable() {
        @Override
        public void run() {

            lienzo.addView(punto);

        }

        };

    final Runnable r2=new Runnable(){
        @Override
        public void run() {

            lienzo.removeView(punto);

        }

        };

    public void Programa() {
        n_audio=n_audio+1;

        int n=500; //numero de escaneos
        double Matriz_Potencias[][]=new double[n][3]; //Matriz con n muestras para
        las 3 MACs
        //Escanea n veces y almacena en una matriz
        for (int i=0 ; i < n; i++){

            //Sacar 3 potencias en dBm de los 3 MACs indicados:
            double Potencias_dBm[] = Calculo_dBms ("f4:ec:38:c1:80:66", "
            f4:ec:38:c1:80:24", "f4:ec:38:c1:7c:5c" );

            //Almacena los datos en la matriz para luego sacar la media:
            Matriz_Potencias[i][0]=Potencias_dBm[0];
            Matriz_Potencias[i][1]=Potencias_dBm[1];
            Matriz_Potencias[i][2]=Potencias_dBm[2];
        }

        //Calcula la media y std a partir de la matriz de potencias
        double Medias_Potencia[]= Calculo_Media (n, Matriz_Potencias);

        u_Prxt1=Medias_Potencia[0];u_Prxt2=Medias_Potencia[1];u_Prxt3=Medias_Potencia[2];
        std1 = Medias_Potencia[3];std2 = Medias_Potencia[4];std3 =
        Medias_Potencia[5];

        int PuntoPosicion = Calculo_deltaRSSI(u_Prxt1,u_Prxt2,u_Prxt3);

        x=Posiciones_xy[PuntoPosicion][0];
        y=Posiciones_xy[PuntoPosicion][1];

        //Corrección de Saltos:
        double delta_puntos=(Math.sqrt(Math.pow((x-x_anterior), 2)+Math.pow(y-
        y_anterior, 2)))/11; //distancia entre punto obtenido y punto anterior en m

        if (delta_puntos >= 5){
            x=x_anterior;
            y=y_anterior;
            PuntoPosicion=PuntoPosicionAnterior;
        }

        //imprime punto:
        PuntoMapa(x,y);

        PuntoPosicionAnterior=PuntoPosicion;

        x_anterior=x; //en caso de que no exista un salto >5m se almacena el nuevo
        punto
        y_anterior=y;
    }
}

```

```

//Audio M302
if(n_audio>0){
    if (PuntoPosicion>=58 & PuntoPosicion<=62){
        AudioM302();
    }

    //Audio M309
    if (PuntoPosicion>=12 & PuntoPosicion<=15){
        AudioM309();
    }
    n_audio--20;
}

}

//Funcion devuelve potencia en dBms de las 3 MACs requeridas:
public double[] CalculodBms (String MAC1, String MAC2, String MAC3 ){

String service = this.WIFI_SERVICE;
final WifiManager wifi = (WifiManager) getSystemService(service);
wifi.startScan();

List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
ScanResult bestSignal = null;

double Prx_senal1=-100;double Prx_senal2=-100 ;double Prx_senal3=-100; //Se
inicializa las potencias con -1000dBm en caso de no encontrar la red.
int numeroRedes = results.size();

for (int i=0 ; i < numeroRedes; i++)
{
    bestSignal = results.get(i);
    String aux_nombreRed=bestSignal.BSSID;

    if(aux_nombreRed.compareTo(MAC1) == 0)
    {
        // red TP-LINK_C18066 con BSSID f4:ec:38:c1:80:66
        Prx_senal1 = bestSignal.level;
    }

    if(aux_nombreRed.compareTo(MAC2) == 0)
    {
        // red TP-LINK_C18024 con BSSID f4:ec:38:c1:80:24
        Prx_senal2 = bestSignal.level;
    }

    if(aux_nombreRed.compareTo(MAC3) == 0)
    {
        // red TP-LINK_C17C5C con BSSID f4:ec:38:c1:7c:5c
        Prx_senal3 = bestSignal.level;
    }
}
double[] Potencias_Salida = new double [4];

Potencias_Salida[0]=Prx_senal1;Potencias_Salida[1]=Prx_senal2;Potencias_Salida[2]=Prx_senal
3;
return Potencias_Salida;

}

//Calculo de la media
public double[] Calculo Media (int n,double[][] Matriz_Potencias){
double sum_Prx1=0;double sum_Prx2=0;double sum_Prx3=0;
for (int i= 0; i<n;i++){
    sum_Prx1 = Matriz_Potencias[i][0]+sum_Prx1;
    sum_Prx2 = Matriz_Potencias[i][1]+sum_Prx2;
    sum_Prx3 = Matriz_Potencias[i][2]+sum_Prx3;
}
}

```

```

double media_Principal[]=new double[6];
media_Principal[0]=sum_Principal1/n; media_Principal[1]=sum_Principal2/n; media_Principal[2]=sum_Principal3/n;

//desviación estandar:
double aux1=0;double aux2=0;double aux3=0;
for (int i= 0; i<n;i++){
    aux1 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][0] - media_Principal[0],2) + aux1;
    aux2 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][1] - media_Principal[1],2) + aux2;
    aux3 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][2] - media_Principal[2],2) + aux3;
}
double std1=Math.sqrt(aux1/n);double std2=Math.sqrt(aux2/n);double
std3=Math.sqrt(aux3/n);
media_Principal[3]=std1; media_Principal[4]=std2; media_Principal[5]=std3;

return media_Principal;
}

//ORIGINAL
public int Calculo_deltaRSSI(double u_Principal1,double u_Principal2,double u_Principal3){

//RUTA 5

Base_Datos [ 0 ] [0]= -74.62 ;Base_Datos [ 0 ]
[1]= -88.87 ;Base_Datos [ 0 ] [2]= -71.77 ;Posiciones_xy [
0 ] [0]= 44 ;Posiciones_xy [ 0 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 1 ] [0]= -79.32 ;Base_Datos [ 1 ]
[1]= -96.14 ;Base_Datos [ 1 ] [2]= -65.78 ;Posiciones_xy [
1 ] [0]= 55 ;Posiciones_xy [ 1 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 2 ] [0]= -76.02 ;Base_Datos [ 2 ]
[1]= -84.40 ;Base_Datos [ 2 ] [2]= -65.26 ;Posiciones_xy [
2 ] [0]= 66 ;Posiciones_xy [ 2 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 3 ] [0]= -81.17 ;Base_Datos [ 3 ]
[1]= -89.19 ;Base_Datos [ 3 ] [2]= -65.27 ;Posiciones_xy [
3 ] [0]= 77 ;Posiciones_xy [ 3 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 4 ] [0]= -72.35 ;Base_Datos [ 4 ]
[1]= -84.33 ;Base_Datos [ 4 ] [2]= -65.99 ;Posiciones_xy [
4 ] [0]= 88 ;Posiciones_xy [ 4 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 5 ] [0]= -68.34 ;Base_Datos [ 5 ]
[1]= -81.61 ;Base_Datos [ 5 ] [2]= -58.09 ;Posiciones_xy [
5 ] [0]= 99 ;Posiciones_xy [ 5 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 6 ] [0]= -71.35 ;Base_Datos [ 6 ]
[1]= -82.14 ;Base_Datos [ 6 ] [2]= -59.88 ;Posiciones_xy [
6 ] [0]= 110 ;Posiciones_xy [ 6 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 7 ] [0]= -69.39 ;Base_Datos [ 7 ]
[1]= -81.94 ;Base_Datos [ 7 ] [2]= -59.88 ;Posiciones_xy [
7 ] [0]= 121 ;Posiciones_xy [ 7 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 8 ] [0]= -61.65 ;Base_Datos [ 8 ]
[1]= -86.57 ;Base_Datos [ 8 ] [2]= -54.23 ;Posiciones_xy [
8 ] [0]= 132 ;Posiciones_xy [ 8 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 9 ] [0]= -66.17 ;Base_Datos [ 9 ]
[1]= -70.63 ;Base_Datos [ 9 ] [2]= -48.89 ;Posiciones_xy [
9 ] [0]= 143 ;Posiciones_xy [ 9 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 10 ] [0]= -64.38 ;Base_Datos [ 10 ]
[1]= -65.94 ;Base_Datos [ 10 ] [2]= -54.88 ;Posiciones_xy [
10 ] [0]= 154 ;Posiciones_xy [ 10 ] [1]= 368 ;
Base_Datos [ 11 ] [0]= -57.09 ;Base_Datos [ 11 ]
[1]= -58.83 ;Base_Datos [ 11 ] [2]= -48.91 ;Posiciones_xy [
11 ] [0]= 165 ;Posiciones_xy [ 11 ] [1]= 368 ;

//M309

Base_Datos [ 12 ] [0]= -64.99 ;Base_Datos [ 12 ]
[1]= -74.34 ;Base_Datos [ 12 ] [2]= -66.71 ;Posiciones_xy [
12 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 12 ] [1]= 400 ;
Base_Datos [ 13 ] [0]= -77.75 ;Base_Datos [ 13 ]
[1]= -87.46 ;Base_Datos [ 13 ] [2]= -57.29 ;Posiciones_xy [
13 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 13 ] [1]= 400 ;
Base_Datos [ 14 ] [0]= -67.72 ;Base_Datos [ 14 ]
[1]= -83.27 ;Base_Datos [ 14 ] [2]= -55.95 ;Posiciones_xy [
14 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 14 ] [1]= 400 ;

```

```

Base_Datos [ 15 ] [0]= -79.59 ;Base_Datos [ 15 ]
[1]= -92.34 ;Base_Datos [ 15 ] [2]= -67.14 ;Posiciones_xy [
15 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 15 ] [1]= 400 ;

```

```
//RUTA 4
```

```

Base_Datos [ 16 ] [0]= -59.01 ;Base_Datos [ 16 ]
[1]= -74.19 ;Base_Datos [ 16 ] [2]= -52.31 ;Posiciones_xy [
16 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 16 ] [1]= 352 ;
Base_Datos [ 17 ] [0]= -59.90 ;Base_Datos [ 17 ]
[1]= -74.66 ;Base_Datos [ 17 ] [2]= -30.14 ;Posiciones_xy [
17 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 17 ] [1]= 347 ;
Base_Datos [ 18 ] [0]= -65.86 ;Base_Datos [ 18 ]
[1]= -76.29 ;Base_Datos [ 18 ] [2]= -38.66 ;Posiciones_xy [
18 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 18 ] [1]= 341 ;
Base_Datos [ 19 ] [0]= -58.46 ;Base_Datos [ 19 ]
[1]= -70.16 ;Base_Datos [ 19 ] [2]= -32.19 ;Posiciones_xy [
19 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 19 ] [1]= 336 ;
Base_Datos [ 20 ] [0]= -52.31 ;Base_Datos [ 20 ]
[1]= -65.42 ;Base_Datos [ 20 ] [2]= -39.89 ;Posiciones_xy [
20 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 20 ] [1]= 330 ;
Base_Datos [ 21 ] [0]= -54.62 ;Base_Datos [ 21 ]
[1]= -67.45 ;Base_Datos [ 21 ] [2]= -39.84 ;Posiciones_xy [
21 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 21 ] [1]= 325 ;
Base_Datos [ 22 ] [0]= -58.12 ;Base_Datos [ 22 ]
[1]= -68.12 ;Base_Datos [ 22 ] [2]= -39.69 ;Posiciones_xy [
22 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 22 ] [1]= 319 ;
Base_Datos [ 23 ] [0]= -47.76 ;Base_Datos [ 23 ]
[1]= -75.11 ;Base_Datos [ 23 ] [2]= -37.23 ;Posiciones_xy [
23 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 23 ] [1]= 314 ;
Base_Datos [ 24 ] [0]= -51.47 ;Base_Datos [ 24 ]
[1]= -73.81 ;Base_Datos [ 24 ] [2]= -36.11 ;Posiciones_xy [
24 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 24 ] [1]= 308 ;
Base_Datos [ 25 ] [0]= -48.97 ;Base_Datos [ 25 ]
[1]= -67.08 ;Base_Datos [ 25 ] [2]= -39.15 ;Posiciones_xy [
25 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 25 ] [1]= 303 ;
Base_Datos [ 26 ] [0]= -52.79 ;Base_Datos [ 26 ]
[1]= -70.01 ;Base_Datos [ 26 ] [2]= -38.73 ;Posiciones_xy [
26 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 26 ] [1]= 297 ;
Base_Datos [ 27 ] [0]= -48.33 ;Base_Datos [ 27 ]
[1]= -64.78 ;Base_Datos [ 27 ] [2]= -46.95 ;Posiciones_xy [
27 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 27 ] [1]= 292 ;
Base_Datos [ 28 ] [0]= -55.71 ;Base_Datos [ 28 ]
[1]= -67.59 ;Base_Datos [ 28 ] [2]= -50.05 ;Posiciones_xy [
28 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 28 ] [1]= 286 ;
Base_Datos [ 29 ] [0]= -54.92 ;Base_Datos [ 29 ]
[1]= -65.57 ;Base_Datos [ 29 ] [2]= -42.44 ;Posiciones_xy [
29 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 29 ] [1]= 281 ;

```

```
//RUTA CENTRO
```

```

Base_Datos [ 30 ] [0]= -35.37 ;Base_Datos [ 30 ]
[1]= -61.02 ;Base_Datos [ 30 ] [2]= -58.02 ;Posiciones_xy [
30 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 30 ] [1]= 255 ;
Base_Datos [ 31 ] [0]= -46.53 ;Base_Datos [ 31 ]
[1]= -60.38 ;Base_Datos [ 31 ] [2]= -60.87 ;Posiciones_xy [
31 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 31 ] [1]= 233 ;
Base_Datos [ 32 ] [0]= -41.18 ;Base_Datos [ 32 ]
[1]= -54.77 ;Base_Datos [ 32 ] [2]= -66.13 ;Posiciones_xy [
32 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 32 ] [1]= 208 ;

```

```
//RUTA 1 HASTA 3 MTS
```

```

Base_Datos [ 33 ] [0]= -61.81 ;Base_Datos [ 33 ]
[1]= -55.93 ;Base_Datos [ 33 ] [2]= -71.02 ;Posiciones_xy [
33 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 33 ] [1]= 185 ;

```

```

Base_Datos [ 34 ] [0]= -57.51 ;Base_Datos [ 34 ]
[1]= -41.57 ;Base_Datos [ 34 ] [2]= -67.31 ;Posiciones_xy [
34 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 34 ] [1]= 180 ;
Base_Datos [ 35 ] [0]= -57.06 ;Base_Datos [ 35 ]
[1]= -41.28 ;Base_Datos [ 35 ] [2]= -62.45 ;Posiciones_xy [
35 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 35 ] [1]= 174 ;
Base_Datos [ 36 ] [0]= -57.31 ;Base_Datos [ 36 ]
[1]= -31.89 ;Base_Datos [ 36 ] [2]= -62.40 ;Posiciones_xy [
36 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 36 ] [1]= 169 ;
Base_Datos [ 37 ] [0]= -57.71 ;Base_Datos [ 37 ]
[1]= -32.66 ;Base_Datos [ 37 ] [2]= -66.14 ;Posiciones_xy [
37 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 37 ] [1]= 163 ;
Base_Datos [ 38 ] [0]= -58.16 ;Base_Datos [ 38 ]
[1]= -35.32 ;Base_Datos [ 38 ] [2]= -64.03 ;Posiciones_xy [
38 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 38 ] [1]= 158 ;

```

```
//RUTA 2
```

```

Base_Datos [ 39 ] [0]= -44.02 ;Base_Datos [ 39 ]
[1]= -45.88 ;Base_Datos [ 39 ] [2]= -59.72 ;Posiciones_xy [
39 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 39 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 40 ] [0]= -48.11 ;Base_Datos [ 40 ]
[1]= -55.27 ;Base_Datos [ 40 ] [2]= -58.94 ;Posiciones_xy [
40 ] [0]= 164 ;Posiciones_xy [ 40 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 41 ] [0]= -47.69 ;Base_Datos [ 41 ]
[1]= -52.51 ;Base_Datos [ 41 ] [2]= -54.64 ;Posiciones_xy [
41 ] [0]= 158 ;Posiciones_xy [ 41 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 42 ] [0]= -58.34 ;Base_Datos [ 42 ]
[1]= -63.12 ;Base_Datos [ 42 ] [2]= -55.57 ;Posiciones_xy [
42 ] [0]= 153 ;Posiciones_xy [ 42 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 43 ] [0]= -61.11 ;Base_Datos [ 43 ]
[1]= -57.36 ;Base_Datos [ 43 ] [2]= -74.84 ;Posiciones_xy [
43 ] [0]= 149 ;Posiciones_xy [ 43 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 44 ] [0]= -55.06 ;Base_Datos [ 44 ]
[1]= -53.65 ;Base_Datos [ 44 ] [2]= -70.83 ;Posiciones_xy [
44 ] [0]= 143 ;Posiciones_xy [ 44 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 45 ] [0]= -64.44 ;Base_Datos [ 45 ]
[1]= -57.50 ;Base_Datos [ 45 ] [2]= -72.30 ;Posiciones_xy [
45 ] [0]= 138 ;Posiciones_xy [ 45 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 46 ] [0]= -52.81 ;Base_Datos [ 46 ]
[1]= -60.84 ;Base_Datos [ 46 ] [2]= -74.94 ;Posiciones_xy [
46 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 46 ] [1]= 175 ;

```

```
//RUTA 3
```

```

Base_Datos [ 47 ] [0]= -66.50 ;Base_Datos [ 47 ]
[1]= -48.87 ;Base_Datos [ 47 ] [2]= -74.79 ;Posiciones_xy [
47 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 47 ] [1]= 175 ;
Base_Datos [ 48 ] [0]= -54.90 ;Base_Datos [ 48 ]
[1]= -46.94 ;Base_Datos [ 48 ] [2]= -76.83 ;Posiciones_xy [
48 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 48 ] [1]= 176 ;
Base_Datos [ 49 ] [0]= -58.40 ;Base_Datos [ 49 ]
[1]= -58.71 ;Base_Datos [ 49 ] [2]= -73.49 ;Posiciones_xy [
49 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 49 ] [1]= 181 ;
Base_Datos [ 50 ] [0]= -59.66 ;Base_Datos [ 50 ]
[1]= -60.35 ;Base_Datos [ 50 ] [2]= -79.20 ;Posiciones_xy [
50 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 50 ] [1]= 187 ;
Base_Datos [ 51 ] [0]= -49.98 ;Base_Datos [ 51 ]
[1]= -63.26 ;Base_Datos [ 51 ] [2]= -61.75 ;Posiciones_xy [
51 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 51 ] [1]= 192 ;
Base_Datos [ 52 ] [0]= -57.04 ;Base_Datos [ 52 ]
[1]= -63.90 ;Base_Datos [ 52 ] [2]= -71.38 ;Posiciones_xy [
52 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 52 ] [1]= 198 ;
Base_Datos [ 53 ] [0]= -49.88 ;Base_Datos [ 53 ]
[1]= -63.40 ;Base_Datos [ 53 ] [2]= -72.41 ;Posiciones_xy [
53 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 53 ] [1]= 203 ;
Base_Datos [ 54 ] [0]= -47.94 ;Base_Datos [ 54 ]
[1]= -61.23 ;Base_Datos [ 54 ] [2]= -62.25 ;Posiciones_xy [
54 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 54 ] [1]= 209 ;

```

```

Base_Datos [ 55 ] [0]= -51.55 ;Base_Datos [ 55 ]
[1]= -63.30 ;Base_Datos [ 55 ] [2]= -72.42 ;Posiciones_xy [
55 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 55 ] [1]= 214 ;
Base_Datos [ 56 ] [0]= -41.08 ;Base_Datos [ 56 ]
[1]= -71.86 ;Base_Datos [ 56 ] [2]= -75.12 ;Posiciones_xy [
56 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 56 ] [1]= 220 ;
Base_Datos [ 57 ] [0]= -39.98 ;Base_Datos [ 57 ]
[1]= -62.99 ;Base_Datos [ 57 ] [2]= -69.85 ;Posiciones_xy [
57 ] [0]= 133 ;Posiciones_xy [ 57 ] [1]= 225 ;

```

```
// M302
```

```

Base_Datos [ 58 ] [0]= -64.54 ;Base_Datos [ 58 ]
[1]= -65.29 ;Base_Datos [ 58 ] [2]= -83.77 ;Posiciones_xy [
58 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 58 ] [1]= 97 ;
Base_Datos [ 59 ] [0]= -70.02 ;Base_Datos [ 59 ]
[1]= -68.74 ;Base_Datos [ 59 ] [2]= -80.84 ;Posiciones_xy [
59 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 59 ] [1]= 97 ;
Base_Datos [ 60 ] [0]= -64.06 ;Base_Datos [ 60 ]
[1]= -67.44 ;Base_Datos [ 60 ] [2]= -86.45 ;Posiciones_xy [
60 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 60 ] [1]= 97 ;
Base_Datos [ 61 ] [0]= -75.21 ;Base_Datos [ 61 ]
[1]= -70.59 ;Base_Datos [ 61 ] [2]= -84.34 ;Posiciones_xy [
61 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 61 ] [1]= 97 ;
Base_Datos [ 62 ] [0]= -71.34 ;Base_Datos [ 62 ]
[1]= -67.44 ;Base_Datos [ 62 ] [2]= -82.27 ;Posiciones_xy [
62 ] [0]= 242 ;Posiciones_xy [ 62 ] [1]= 97 ;

```

```
//RUTA 1 CONT
```

```

Base_Datos [ 63 ] [0]= -54.68 ;Base_Datos [ 63 ]
[1]= -33.30 ;Base_Datos [ 63 ] [2]= -66.84 ;Posiciones_xy [
63 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 63 ] [1]= 152 ;
Base_Datos [ 64 ] [0]= -62.11 ;Base_Datos [ 64 ]
[1]= -40.56 ;Base_Datos [ 64 ] [2]= -70.63 ;Posiciones_xy [
64 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 64 ] [1]= 147 ;
Base_Datos [ 65 ] [0]= -58.52 ;Base_Datos [ 65 ]
[1]= -56.82 ;Base_Datos [ 65 ] [2]= -67.53 ;Posiciones_xy [
65 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 65 ] [1]= 141 ;
Base_Datos [ 66 ] [0]= -57.50 ;Base_Datos [ 66 ]
[1]= -52.01 ;Base_Datos [ 66 ] [2]= -66.10 ;Posiciones_xy [
66 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 66 ] [1]= 136 ;
Base_Datos [ 67 ] [0]= -59.63 ;Base_Datos [ 67 ]
[1]= -55.76 ;Base_Datos [ 67 ] [2]= -68.17 ;Posiciones_xy [
67 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 67 ] [1]= 130 ;
Base_Datos [ 68 ] [0]= -61.80 ;Base_Datos [ 68 ]
[1]= -64.46 ;Base_Datos [ 68 ] [2]= -68.64 ;Posiciones_xy [
68 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 68 ] [1]= 125 ;
Base_Datos [ 69 ] [0]= -58.89 ;Base_Datos [ 69 ]
[1]= -62.08 ;Base_Datos [ 69 ] [2]= -69.89 ;Posiciones_xy [
69 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 69 ] [1]= 119 ;
Base_Datos [ 70 ] [0]= -60.18 ;Base_Datos [ 70 ]
[1]= -57.56 ;Base_Datos [ 70 ] [2]= -68.95 ;Posiciones_xy [
70 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 70 ] [1]= 114 ;
Base_Datos [ 71 ] [0]= -73.67 ;Base_Datos [ 71 ]
[1]= -63.02 ;Base_Datos [ 71 ] [2]= -74.82 ;Posiciones_xy [
71 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 71 ] [1]= 108 ;
Base_Datos [ 72 ] [0]= -64.37 ;Base_Datos [ 72 ]
[1]= -64.82 ;Base_Datos [ 72 ] [2]= -66.31 ;Posiciones_xy [
72 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 72 ] [1]= 103 ;
Base_Datos [ 73 ] [0]= -68.05 ;Base_Datos [ 73 ]
[1]= -59.64 ;Base_Datos [ 73 ] [2]= -76.35 ;Posiciones_xy [
73 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 73 ] [1]= 97 ;
Base_Datos [ 74 ] [0]= -63.22 ;Base_Datos [ 74 ]
[1]= -61.58 ;Base_Datos [ 74 ] [2]= -72.77 ;Posiciones_xy [
74 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 74 ] [1]= 92 ;
Base_Datos [ 75 ] [0]= -69.09 ;Base_Datos [ 75 ]
[1]= -67.92 ;Base_Datos [ 75 ] [2]= -77.77 ;Posiciones_xy [
75 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 75 ] [1]= 86 ;

```



```

Base_Datos [ 76 ] [0]= -65.41 ;Base_Datos [ 76 ]
[1]= -56.57 ;Base_Datos [ 76 ] [2]= -71.85 ;Posiciones_xy [
76 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 76 ] [1]= 81 ;
Base_Datos [ 77 ] [0]= -64.60 ;Base_Datos [ 77 ]
[1]= -65.36 ;Base_Datos [ 77 ] [2]= -72.28 ;Posiciones_xy [
77 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 77 ] [1]= 75 ;
Base_Datos [ 78 ] [0]= -64.48 ;Base_Datos [ 78 ]
[1]= -71.73 ;Base_Datos [ 78 ] [2]= -76.22 ;Posiciones_xy [
78 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 78 ] [1]= 70 ;
Base_Datos [ 79 ] [0]= -68.01 ;Base_Datos [ 79 ]
[1]= -69.42 ;Base_Datos [ 79 ] [2]= -71.16 ;Posiciones_xy [
79 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 79 ] [1]= 64 ;
Base_Datos [ 80 ] [0]= -63.89 ;Base_Datos [ 80 ]
[1]= -61.27 ;Base_Datos [ 80 ] [2]= -75.67 ;Posiciones_xy [
80 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 80 ] [1]= 59 ;
Base_Datos [ 81 ] [0]= -67.74 ;Base_Datos [ 81 ]
[1]= -70.76 ;Base_Datos [ 81 ] [2]= -71.40 ;Posiciones_xy [
81 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 81 ] [1]= 53 ;
Base_Datos [ 82 ] [0]= -70.39 ;Base_Datos [ 82 ]
[1]= -68.61 ;Base_Datos [ 82 ] [2]= -72.68 ;Posiciones_xy [
82 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 82 ] [1]= 48 ;
Base_Datos [ 83 ] [0]= -68.46 ;Base_Datos [ 83 ]
[1]= -65.79 ;Base_Datos [ 83 ] [2]= -75.28 ;Posiciones_xy [
83 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 83 ] [1]= 42 ;
Base_Datos [ 84 ] [0]= -62.39 ;Base_Datos [ 84 ]
[1]= -73.05 ;Base_Datos [ 84 ] [2]= -74.81 ;Posiciones_xy [
84 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 84 ] [1]= 37 ;
Base_Datos [ 85 ] [0]= -70.53 ;Base_Datos [ 85 ]
[1]= -63.09 ;Base_Datos [ 85 ] [2]= -79.14 ;Posiciones_xy [
85 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 85 ] [1]= 31 ;
Base_Datos [ 86 ] [0]= -65.86 ;Base_Datos [ 86 ]
[1]= -72.04 ;Base_Datos [ 86 ] [2]= -69.49 ;Posiciones_xy [
86 ] [0]= 170 ;Posiciones_xy [ 86 ] [1]= 26 ;

//////////

int out=0;
double delta_RSSI[]=new double[87];
for(int i=0;i<87;i++){
delta_RSSI[i]=Math.sqrt(Math.pow(u_PrxF1-Base_Datos[i][0],2)+Math.pow(u_PrxF2-
Base_Datos[i][1],2)+Math.pow(u_PrxF3-Base_Datos[i][2],2));
}

double aux=delta_RSSI[0];
//Compara y devuelve el menor valor de la matriz delta_RSSI
for (int i=0;i<86;i++){
if(aux>delta_RSSI[i+1]){
aux=delta_RSSI[i+1];
out=i+1;
}
}
return out;
}

//Calculo punto en Mapa
public void PuntoMapa(float x1,float y1){

punto = new Posicion(this,x1,y1,12);

}

//Audio M302
public void AudioM302(){
mediaPlayer1 = MediaPlayer.create(this, R.raw.m302);//M302
mediaPlayer1.start();
}

//Audio M309
public void AudioM309(){
mediaPlayer1 = MediaPlayer.create(this, R.raw.m309);//M309
mediaPlayer1.start();
}
}

```

### ANEXO 3B

A continuación se presenta la clase *Posicion* la cual grafica el punto en el mapa:

```
package com.inapt.footprint;
import android.content.Context;
import android.graphics.Canvas;
import android.graphics.Paint;
import android.view.View;

public class Posicion extends View{
    private final float x;
    private final float y;
    private final int r;

    private final Paint mPaint =new Paint (Paint.ANTI_ALIAS_FLAG);
    public Posicion (Context context,float x,float y, int r){
        super(context);
        mPaint.setColor(0xFFFF0000);
        this.x=x;
        this.y=y;
        this.r=r;
    }
    @Override
    protected void onDraw(Canvas canvas){
        super.onDraw(canvas);
        canvas.drawCircle(x,y,r,mPaint);
    }
}
```

### ANEXO 3C

A continuación se presenta el manifest:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.inapt.footprint"
    android:versionCode="1"
    android:versionName="1.0">
    <uses-sdk android:minSdkVersion="8" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE"/>

    <application android:icon="@drawable/icon" android:label="@string/app_name"
        android:debuggable="true">
        <activity android:name=".FootPrintActivity"
            android:label="@string/app_name">
            <intent-filter>
                <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
                <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
            </intent-filter>
        </activity>

    </application>
</manifest>
```

### ANEXO 3D

A continuación se presenta el archivo xml llamado main:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>

<FrameLayout
    xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
        android:id="@+id/Fondo"
        android:orientation="vertical"
        android:layout_width="fill_parent"
        android:layout_height="fill_parent"
        android:weightSum="1"
        android:background="@drawable/mapa" >

    <TextView
        android:id="@+id/Resultado"
        android:layout_width="fill_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_gravity="center"
        android:textSize="20dp"
        android:textColor="#000000"
    />

</FrameLayout>
```

## ANEXO 4A

```
package com.inapt.wifi;

import java.text.NumberFormat;
import java.util.List;
import android.app.Activity;
import android.content.Intent;
import android.media.MediaPlayer;
import android.net.wifi.ScanResult;
import android.net.wifi.WifiInfo;
import android.net.wifi.WifiManager;
import android.os.Bundle;
import android.os.Handler;
import android.os.Message;
import android.view.View;
import android.widget.FrameLayout;
import android.widget.TextView;

public class WiFi_v1Activity extends Activity{
    private FrameLayout lienzo;
    private TextView Resultado;
    private Posicion punto;
    private double u_Prx1;private double u_Prx2;private double u_Prx3;
    private double rho_iR1_1=0;private double rho_iR1_2=7.12; //Para Ruta1
    private double rho_iR4_1=0;private double rho_iR4_3=11.02; //Para Ruta4
    private double distancia=0;
    private double modelo=0;
    private double modelo_anterior=0;
    private float x;private float y1=232;private float y2=232;private float
    x3=143;private float y;private float y_punto;

    private Handler mHandler = new Handler();
    private Handler pHandler = new Handler();
    /** Called when the activity is first created. */
    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.main);

        lienzo = (FrameLayout) findViewById(R.id.Fondo);
        Resultado = (TextView) findViewById(R.id.Resultado);

        Thread logoTimer = new Thread() {
            public void run() {
                while (true) {

                    Programa();
                    mHandler.post(r); //imprime texto y punto
```

```

        try {
            sleep(500);
        } catch (InterruptedException e) {
            // TODO Auto-generated catch block
            e.printStackTrace();
        }
        pHandler.post(r2); //borra punto
    }
}
};
logoTimer.start();
}

//imprime resultados:
final Runnable r=new Runnable(){
    public void run(){

        lienzo.addView(punto);

        Resultado.setText("distancia:"+distancia+"\ndx_1: "+PP2+"\ndx_2 o 3 : "+PP3+"\n d1:
"+PP4+"\n d2: "+PP5);
    }
};

final Runnable r2=new Runnable(){
    public void run(){
        lienzo.removeView(punto);
    }
};

public void Programa(){

    int n=500; //numero de escaneos
    double Matriz_Potencias[][]=new double[n][3]; //Matriz con n muestras para
las 3 MACs

    //Escanea n veces y almacena en una matriz
    for (int i=0 ; i < n; i++){

        //Sacar 3 potencias en dBm de los 3 MACs indicados:
        double Potencias_dBm[] = CalculoDbs ("f4:ec:38:c1:80:66",
"f4:ec:38:c1:80:24", "f4:ec:38:c1:7c:5c" );

        //Almacena los datos en la matriz para luego sacar la media:
        Matriz_Potencias[i][0]=Potencias_dBm[0];
        Matriz_Potencias[i][1]=Potencias_dBm[1];
        Matriz_Potencias[i][2]=Potencias_dBm[2];
    }

    //Calcula la media a partir de la matriz de potencias
    double Medias_Potencia[]= Calculo_Media (n, Matriz_Potencias);

    u_Pr1=Medias_Potencia[0];u_Pr2=Medias_Potencia[1];u_Pr3=Medias_Potencia[2];

    modelo_anterior=modelo;
    modelo= Decisor (u_Pr1,u_Pr2,u_Pr3); //devuelve el modelo a usar

    ComparaModelos(modelo,modelo_anterior);

    if (modelo==1){

        double d_Ruta[]= d_Ruta1(u_Pr1,u_Pr2);
        double dx_1=d_Ruta[0];double dx_2=d_Ruta[1];

        if(dx_1>7.12){
            dx_2=-dx_2;
        }
    }
}

```

```

        double MatrizH[]=MatrizH(rho_iR1_1, rho_iR1_2,dx_1, dx_2);
        double delta_X=MatrizH[0];
        PP2=dx_1;PP3=dx_2;
        rho_iR1_1=MatrizH[1];rho_iR1_2=MatrizH[2];
        distancia=delta_X+distancia;

        PuntoMapa (distancia,modelo);
    }

    if (modelo==2) {
        double d_Ruta[]= d_Ruta4(u_Prxt,u_Prxt3);
        double dx_1=d_Ruta[0];double dx_2=d_Ruta[1];

        double MatrizH[]=MatrizH(rho_iR4_1, rho_iR4_3,dx_1, dx_2);
        double delta_X=MatrizH[0];
        PP2=dx_1;PP3=dx_2;
        rho_iR4_1=MatrizH[1];rho_iR4_3=MatrizH[2];
        distancia=delta_X+distancia;

        PuntoMapa (distancia,modelo);
    }

    if (modelo==3) {
        double d_Ruta3=d_Ruta5(u_Prxt3);

        PuntoMapa (d_Ruta3,modelo);
    }
}

//Funcion devuelve potencia en dBms de las 3 MACs requeridas:
public double[] CalculodBms (String MAC1, String MAC2, String MAC3 ){

    String service = this.WIFI_SERVICE;
    final WifiManager wifi = (WifiManager) getSystemService(service);
    wifi.startScan();

    List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
    ScanResult bestSignal = null;

    double Prx_senal1=-100;double Prx_senal2=-100 ;double Prx_senal3=-100; //Se
    inicializa las potencias con -100dBm en caso de no encontrar la red.
    int numeroRedes = results.size();

    for (int i=0 ; i < numeroRedes; i++)
    {
        bestSignal = results.get(i);
        String aux_nombreRed=bestSignal.BSSID;

        if(aux_nombreRed.compareTo(MAC1) == 0)
        {
            // red TP-LINK_C18066 con BSSID f4:ec:38:c1:80:66
            Prx_senal1 = bestSignal.level;
        }

        if(aux_nombreRed.compareTo(MAC2) == 0)
        {
            // red TP-LINK_C18024 con BSSID f4:ec:38:c1:80:24
            Prx_senal2 = bestSignal.level;
        }

        if(aux_nombreRed.compareTo(MAC3) == 0)
        {
            // red TP-LINK_C17C5C con BSSID f4:ec:38:c1:7c:5c
            Prx_senal3 = bestSignal.level;
        }
    }
}

```

```

    }
    double[] Potencias_Salida = new double [4];

    Potencias_Salida[0]=Prx_senal1;Potencias_Salida[1]=Prx_senal2;Potencias_Salida[2]=Prx_senal
    3;
    return Potencias_Salida;
}

//Calculo de la media
public double[] Calculo_Media (int n,double[][] Matriz_Potencias){
    double sum_Pr1=0;double sum_Pr2=0;double sum_Pr3=0;
    for (int i= 0; i<n;i++){
        sum_Pr1 = Matriz_Potencias[i][0]+sum_Pr1;
        sum_Pr2 = Matriz_Potencias[i][1]+sum_Pr2;
        sum_Pr3 = Matriz_Potencias[i][2]+sum_Pr3;
    }
    double media_Pr1[]=new double[6];
    media_Pr1[0]=sum_Pr1/n; media_Pr1[1]=sum_Pr2/n; media_Pr1[2]=sum_Pr3/n;

    //desviaci-n estandar:
    double aux1=0;double aux2=0;double aux3=0;
    for (int i= 0; i<n;i++){
        aux1 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][0] - media_Pr1[0],2) + aux1;
        aux2 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][1] - media_Pr1[1],2) + aux2;
        aux3 = Math.pow(Matriz_Potencias[i][2] - media_Pr1[2],2) + aux3;
    }
    double std1=Math.sqrt(aux1/n);double std2=Math.sqrt(aux2/n);double
    std3=Math.sqrt(aux3/n);
    media_Pr1[3]=std1; media_Pr1[4]=std2; media_Pr1[5]=std3;

    return media_Pr1;
}

//Decisor de Ruta:
public double Decisor (double uPotencial, double uPotencia2, double uPotencia3 ){
    double Out_Pt_Mod;
    double modelo;
    int b= Double.compare(uPotencia2,uPotencia3);
    if (b>0)
    {
        modelo = 1;
    }
    else if (b<0)
    {
        if (uPotencial<-66) //Threshold determinar que esta muy cerca del
        Router 3
        {
            modelo = 3;
        }
        else
        {
            modelo = 2;
        }
    }
    else
    {
        modelo = 4; //// caso 4 dos dbm iguales 0 se puede llamar dsd aqui a que vuelva a
        calcular
    }

    Out_Pt_Mod = modelo;
    return Out_Pt_Mod;
}

//Calculo proyeccion de distancias Ruta 1:
public double[] d_Ruta1(double uPr1, double uPr2){
    //Variables para el calculo de distancia:
    double Ptx=15; //Ptx = 15dBm
    double Gtx=5; //5 dBi ganancia antenas TP-Link
    double Grx=2; // 2 dBi ganancia celular
    double lambda=0.1228627; // a una f=2.44175 GHz
    double d1=0;double d2=0;// distancias

```

```

    double d1_x=0;double d2_x=0;

    //distancia Router1:
    double n1=3.5;
    double Xalfa1=5;
    d1=Math.pow(10,((1/(10*n1))*(Ptx - uPrx1 + Gtx + Grx - Xalfa1 +20 *
Math.log10(lambda) - 20 * Math.log10 (4*Math.PI))));
    //distancia Router2:
    double n2=4.5;
    double Xalfa2=4;
    d2=Math.pow(10,((1/(10*n2))*(Ptx - uPrx2 + Gtx + Grx - Xalfa2 +20 *
Math.log10(lambda) - 20 * Math.log10 (4*Math.PI))));

    //Proyeccion Router1:
    if ((Math.pow(d1,2)-1.96)<0) {
        d1_x=0; }
    else {d1_x=Math.sqrt(Math.pow(d1,2)-1.96);} //1.4^2=1.96

    //Proyeccion Router2:
    if ((Math.pow(d2,2)-1.96)<0) {
        d2_x=0; }
    else {d2_x=Math.sqrt(Math.pow(d2,2)-1.96);} //1.4^2=1.96

    double [] d_x= new double[2];

    // Condicioness Distancias no pueden ser mayores de las dimensiones del mapa
    if (d1_x>19.02) {
        d1_x=19.02;
    }

    if (d2_x>12.3) {
        d2_x=12.3;
    }
    //////////////////////////////////////

    d_x[0]=d1_x;d_x[1]=d2_x;

    return d_x;
}

//Calculo proyeccion de distancias Ruta 4:
public double[] d_Ruta4(double uPrx1, double uPrx2) {
    //Variables para el calculo de distancia:
    double Ptx=15; //Ptx = 15dBm
    double Gtx=5; //5 dBi ganancia antenas TP-Link
    double Grx=2; // 2 dBi ganancia celular
    double lambda=0.1228627; // a una f=2.44175 GHz
    double d1=0;double d2=0; // distancias
    double d1_x=0;double d2_x=0;

    //distancia Router1:
    double n1=6;
    double Xalfa1=-22;
    d1=Math.pow(10,((1/(10*n1))*(Ptx - uPrx1 + Gtx + Grx - Xalfa1 +20 *
Math.log10(lambda) - 20 * Math.log10 (4*Math.PI))));
    //distancia Router3:
    double n2=8;
    double Xalfa2=-25;
    d2=Math.pow(10,((1/(10*n2))*(Ptx - uPrx2 + Gtx + Grx - Xalfa2 +20 *
Math.log10(lambda) - 20 * Math.log10 (4*Math.PI))));
    //Proyeccion Router1: //////////////////////////////////
    if ((Math.pow(d1,2)-1.63)<0) {
        d1_x=0;
    }
    else {d1_x=Math.sqrt(Math.pow(d1,2)-1.63);} //1.28^2=1.6384

    //Proyeccion Router3:
    if ((Math.pow(d2,2)-2.31)<0) {
        d2_x=0;}
    else {d2_x=Math.sqrt(Math.pow(d2,2)-2.31);} //1.52^2=2.31
}

```

```

// Condiciones Distancias no pueden ser mayores de las dimensiones del mapa
    if (d1_x>12.02){
        d1_x=12.02; }

    if (d2_x>9.04){
        d2_x=9.04; }
////////////////////////////////////

    double [] d_x= new double[2];
    d_x[0]=d1_x;d_x[1]=d2_x;
    return d_x;
}

//Calculo proyeccion de distancias Ruta 5:
public double d_Ruta5(double uPrx1){
    //Variables para el calculo de distancia:
    double Ptx=15; //Ptx = 15dBm
    double Gtx=5; //5 dBi ganancia antenas TP-Link
    double Grx=2; // 2 dBi ganancia celular
    double lambda=0.1228627; // a una f=2.44175 GHz
    double d=0;//distancia

    //distancia Router3:
    double n=3.5;
    double Xalfa=10;
    d=Math.pow(10, ((1/(10*n))*(Ptx - uPrx1 + Gtx + Grx - Xalfa +20 *
Math.log10(lambda) - 20 * Math.log10 (4*Math.PI))));
    if (d>13.45){
        d=13.45; }
    return d;
}

//Calculo Matriz H
public double[] MatrizH(double rho_i1,double rho_i2,double d1_x,double d2_x){
    double H_1[][]=new double[2][2]; //H^(-1)
    double delta_rho[]=new double[2];
    double delta_x;
    double out_rho_x[]=new double[3];
    H_1[0][0]=-0.5;H_1[0][1]=0.5;H_1[1][0]=0.5;H_1[1][1]=0.5;
    delta_rho[0]=rho_i1-d1_x;

    delta_rho[1]=rho_i2-d2_x;

    delta_x=(delta_rho[0]*H_1[0][0])+(delta_rho[1]*H_1[0][1]);
    out_rho_x[0]=delta_x;out_rho_x[1]=d1_x;out_rho_x[2]=d2_x;
    return out_rho_x; // devuelve [Delta_X, rho1_anterior, rho2_anterior]
}

//Calculo punto en Mapa
public void PuntoMapa(double d,double modelo){
    // punto = new Posicion(this,28,368,7);

    if (modelo==1){
        x=170;
        Double aux=Double.valueOf(d*11);
        y_punto=y1-aux.floatValue();
        punto = new Posicion(this,x,y_punto,12);
    }
    if (modelo==2){
        x=170;
        Double aux=Double.valueOf(d*11);
        y_punto=y2+aux.floatValue();
        punto = new Posicion(this,x,y_punto,12);
    }
    if (modelo==3){
        y=368;
        float x_punto;

```



```

        Double aux=Double.valueOf(d*11);
        x_punto=x3-aux.floatValue();
        punto = new Posicion(this,x_punto,y,7);
    }
}

//Reseteo distancias Inicales comparando modelos:
public void ComparaModelos(double model, double model_anterior){
    if (model != model_anterior){
        rho_iR1_1=0; rho_iR1_2=7.12; //Para Ruta1
        rho_iR4_1=0; rho_iR4_3=11.02; //Para Ruta4
        x=170;x3=175;

        y1=232;//Resetea punto inicial Ruta1
        y2=232;//Resetea punto inicial Ruta2
        distancia=0;
    }
}
} }

```

## ANEXO 4B

Código xml de la pantalla inicio:

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout
    xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:orientation="vertical"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="fill_parent"
    android:weightSum="1"
    android:background="@drawable/inicio">
</LinearLayout>

```

## ANEXO 4C

Código para dibujar el punto en el mapa:

```

package com.inapt.wifi;
import android.content.Context;
import android.graphics.Canvas;
import android.graphics.Paint;
import android.view.View;

public class Posicion extends View{
    private final float x;
    private final float y;
    private final int r;

    private final Paint mPaint =new Paint (Paint.ANTI_ALIAS_FLAG);
    public Posicion (Context context,float x,float y, int r){
        super(context);
        mPaint.setColor(0xFFFF0000);
        this.x=x;
        this.y=y;
        this.r=r;
    }
    @Override
    protected void onDraw(Canvas canvas){

```

```

        super.onDraw(canvas);
        canvas.drawCircle(x,y,r,mPaint);
    }
}

```

## ANEXO 4D

Manifest:

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.inapt.wifi"
    android:versionCode="1"
    android:versionName="1.0">
    <uses-sdk android:minSdkVersion="8" />
    <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE"/>

    <application android:icon="@drawable/icon" android:label="@string/app_name"
        android:debuggable="true">
        <activity android:name=".Inicio"
            android:label="@string/app_name">
            <intent-filter>
                <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
                <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
            </intent-filter>
        </activity>

        <activity android:name=".WiFi_v1Activity"
            android:label="@string/app_name">
            <intent-filter>
                <action android:name="com.inapt.wifi.CLEARSCREEN" />
                <category android:name="android.intent.category.DEFAULT" />
            </intent-filter>
        </activity>

    </application>
</manifest>

```

## ANEXO 4E

Main.xml:

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<FrameLayout
    xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:id="@+id/Fondo"
    android:orientation="vertical"
    android:layout_width="fill_parent"

```

```

    android:layout_height="fill_parent"
    android:weightSum="1"
    android:background="@drawable/mapa"
  >
  <TextView
    android:id="@+id/Resultado"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center"
    android:textColor="#FFFF0000"
    android:textSize="20dp"

  />
</FrameLayout>

```

## ANEXO 4F

Inicio\_xml:

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout
  xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
  android:orientation="vertical"
  android:layout_width="fill_parent"
  android:layout_height="fill_parent"
  android:weightSum="1"
  android:background="@drawable/inicio">
</LinearLayout>

```

ANEXO 5A

ZONA#1																																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																				
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)																
0	0.5	170	26	13	170	97	7	6.5	1	170	31	1.0	0.5	2	170	37	1.5	1.0	1	170	31	1.0	0.5																
1	1	170	31	11	170	86	6	5	10	170	81	5.5	4.5	17	170	119	9.0	8.0	0	170	26	0.5	0.5																
2	1.5	170	37	2	170	37	1.5	0	2	170	37	1.5	0.0	2	170	37	1.5	0.0	2	170	37	1.5	0.0																
3	2	170	42	4	170	48	2.5	0.5	4	170	48	2.5	0.5	4	170	48	2.5	0.5	4	170	48	2.5	0.5																
4	2.5	170	48	4	170	48	2.5	0	6	170	59	3.5	1.0	6	170	59	3.5	1.0	6	170	59	3.5	1.0																
5	3	170	53	6	170	59	3.5	0.5	6	170	59	3.5	0.5	6	170	59	3.5	0.5	5	170	53	3.0	0.0																
6	3.5	170	59	6	170	59	3.5	0	6	170	59	3.5	0.0	6	170	59	3.5	0.0	6	170	59	3.5	0.0																
7	4	170	64	6	170	59	3.5	0.5	6	170	59	3.5	0.5	6	170	59	3.5	0.5	6	170	59	3.5	0.5																
8	4.5	170	70	6	170	59	3.5	1	6	170	59	3.5	1.0	6	170	59	3.5	1.0	6	170	59	3.5	1.0																
9	5	170	75	2	170	37	1.5	3.5	8	170	70	4.5	0.5	6	170	59	3.5	1.5	7	170	54	3.1	1.9																
10	5.5	170	81	8	170	70	4.5	1	6	170	59	3.5	2.0	6	170	59	3.5	2.0	7	170	54	3.1	2.4																
11	6	170	86	5	170	53	3	3	5	170	53	3.0	3.0	5	170	53	3.0	3.0	5	170	53	3.0	3.0																
12	6.5	170	92	17	170	119	9	2.5	0	170	26	0.5	6.0	0	170	26	0.5	6.0	0	170	26	0.5	6.0																
13	7	170	97	2	170	37	1.5	5.5	2	170	37	1.5	5.5	2	170	37	1.5	5.5	2	170	37	1.5	5.5																
14	7.5	170	103	2	170	37	1.5	6	2	170	37	1.5	6.0	2	170	37	1.5	6.0	13	170	97	7.0	0.5																
15	8	170	108	1	170	31	1	7	14	170	103	7.5	0.5	13	170	97	7.0	1.0	13	170	97	7.0	1.0																
16	8.5	170	114	13	170	97	7	1.5	13	170	97	7.0	1.5	14	170	103	7.5	1.0	1	170	31	1.0	7.5																
17	9	170	119	2	170	37	1.5	7.5	2	170	37	1.5	7.5	2	170	37	1.5	7.5	2	170	37	1.5	7.5																
18	9.5	170	125	17	170	119	9	0.5	17	170	119	9.0	0.5	17	170	119	9.0	0.5	17	170	119	9.0	0.5																
19	10	170	130	23	170	152	12	2	18	170	125	9.5	0.5	29	170	185	15.0	5.0	19	170	130	10.0	0.0																
20	10.5	170	136	13	170	97	7	3.5	13	170	97	7.0	3.5	19	170	130	10.0	0.5	19	170	130	10.0	0.5																
21	11	170	141	29	170	185	15	4	29	170	185	15.0	4.0	33	153	175	NA	3.5	18	170	125	9.5	1.5																
22	11.5	170	147	23	170	152	12	0.5	22	170	147	11.5	0.0	28	170	180	14.5	3.0	22	170	147	11.5	0.0																
23	12	170	152	19	170	130	10	2	19	170	130	10.0	2.0	19	170	130	10.0	2.0	19	170	130	10.0	2.0																
24	12.5	170	158	23	170	152	12	0.5	26	170	169	13.5	1.0	27	170	174	14.0	1.5	26	170	169	13.5	1.0																
25	13	170	163	21	170	141	11	2	15	170	108	8.0	5.0	14	170	103	7.5	5.5	15	170	108	8.0	5.0																
26	13.5	170	169	21	170	141	11	2.5	21	170	141	11	2.5	21	170	141	11	2.5	23	170	152	12.0	1.5																
27	14	170	174	22	170	147	11.5	2.5	21	170	141	11.0	3.0	33	113	170	13.5	0.5	33	113	170	13.5	0.5																
28	14.5	170	180	28	170	180	14.5	0	28	170	180	14.5	0.0	24	170	158	12.5	2.0	24	170	158	12.5	2.0																
29	15	170	185	24	170	158	12.5	2.5	24	170	158	12.5	2.5	24	170	158	12.5	2.5	24	170	158	12.5	2.5																
								PROMEDIO# ERROR	2.47									PROMEDIO# ERROR	2.18									PROMEDIO# ERROR	2.5									PROMEDIO# ERROR	1.9
								Número# Aciertos	4									Número# Aciertos	4									Número# Aciertos	2									Número# Aciertos	5

ERROR#RUTA1(m)  
2.25

ZONA#2																																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																				
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)																
30	0	170	175	31	164	175	0.5	0.5	30	0	170	0	0	30	170	175	0	0	31	164	175	0.5	0.5																
31	0.5	164	175	32	158	175	1	0.5	48	133	225	NA	5.62	49	170	281	NA	11.00	32	164	175	1	0.5																
32	1	158	175	32	158	175	1	0	52	170	297	NA	12.53	24	170	158	NA	2.42	52	170	297	NA	12.53																
33	1.5	153	175	26	170	169	NA	1.92	33	153	175	1.5	0	18	170	125	NA	5.41	18	170	125	NA	5.41																
34	2	149	175	40	133	181	NA	1.46	27	170	174	NA	2.12	40	133	181	NA	1.46	37	133	175	3.5	1.5																
35	2.5	143	175	40	133	181	NA	1.15	37	133	175	3.5	1	43	133	198	NA	2.56	40	133	181	NA	1.15																
36	3	138	175	40	133	181	NA	1.00	40	133	181	NA	1.00	37	138	175	3.5	0.5	37	133	175	3.5	0.5																
37	3.5	133	175	38	133	175	3.5	0	37	133	175	3.5	0	37	138	175	3.5	0	37	133	175	3.5	0																
								PROMEDIO# ERROR	0.82									PROMEDIO# ERROR	2.78									PROMEDIO# ERROR	2.92									PROMEDIO# ERROR	2.76
								Número# Aciertos	2									Número# Aciertos	3									Número# Aciertos	2									Número# Aciertos	1

ERROR#RUTA2(m)  
2.32

ZONA#3																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)				
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)
38	0	133	175	35	143	175	NA	0.57	35	143	175	NA	0.57	40	133	181	1	1	35	143	175	NA	0.57
39	0.5	133	176	35	143	175	NA	0.76	43	133	198	2.5	2	35	143	175	NA	0.76	40	133	181	1	0.5
40	1	133	181	40	133	181	1	0	40	133	181	1	0	24	170	158	NA	4.07	40	133	181	1	0
41	1.5	133	187	35	143	175	NA	1.60	38	133	175	0	1.5	43	133	198	2.5	1	35	143	175	NA	1.60
42	2	133	192	43	133	198	2.5	0.5	43	133	198	2.5	0.5	45	133	209	3.5	1.5	44	133	203	3	1
43	2.5	133	198	45	133	209	3.5	1	45	133	209	3.5	1	38	133	175	0	2.5	40	133	181	1	1.5
44	3	133	203	47	133	220	4.5	1.5	38	133	175	0	3	38	133	175	0	3	43	133	198	2.5	0.5
45	3.5	133	209	45	133	209	3.5	0	45	133	209	3.5	0	46	133	214	4	0.5	34	149	175	NA	3.66
46	4	133	214	44	133	203	3	1	44	133	203	3	1	46	133	214	4	0	46	133	214	4	0
47	4.5	133	220	44	133	203	3	1.5	24	170	158	NA	6.89	24	170	158	NA	6.89	46	133	214	4	0.5

48	5	133	225	46	133	214	4	1	46	133	214	4	1	47	133	220	4.5	0.5	22	170	147	NA	8.26																
								PROMEDIO ERROR	0.86									PROMEDIO ERROR	1.59									PROMEDIO ERROR	1.97									PROMEDIO ERROR	1.65
								# ACIERTOS	2									Número de Aciertos	2									Número de Aciertos	1									Número de Aciertos	2

ERROR RUTA3 (m)  
1.52

ZONA 4																																							
VALORES ESPERADOS				VALORES OBTENIDOS (Muestra 1)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 2)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 3)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 4)																				
n	d (m)	x	y	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)																
49	0.5	170	281	66	159	368	NA	7.25	54	170	308	3	2.5	54	170	308	3	2.5	54	170	308	3	2.5																
50	1	170	286	51	170	292	1.5	0.5	54	170	308	3	2	54	170	308	3	2	50	170	286	1	0																
51	1.5	170	292	51	170	292	1.5	0	53	170	303	2.5	1	54	170	308	3	1.5	53	170	303	2.5	1																
52	2	170	297	53	170	303	2.5	0.5	65	170	368	NA	5.93	64	170	368	8	6	51	170	292	1.5	0.5																
53	2.5	170	303	54	170	308	3	0.5	53	170	303	2.5	0	50	170	286	1	1.5	66	159	368	NA	5.26																
54	3	170	308	58	170	330	5	2	58	170	330	5	2	66	159	368	NA	4.76	49	170	281	0.5	2.5																
55	3.5	170	314	66	159	368	NA	4.26	52	170	297	1.5	2	54	170	308	3	0.5	58	170	330	5	1.5																
56	4	170	319	58	170	330	5	1	58	170	330	5	1	58	170	330	5	1	66	159	368	NA	3.77																
57	4.5	170	325	58	170	330	5	0.5	58	170	330	5	0.5	58	170	330	5	0.5	58	170	330	5	0.5																
58	5	170	330	58	170	330	5	0	60	170	341	6	1	60	170	341	6	1	58	170	330	5	0																
59	5.5	170	336	58	170	330	5	0.5	58	170	330	5	0.5	60	170	341	6	0.5	60	170	341	6	0.5																
60	6	170	341	61	170	347	6.5	0.5	60	170	341	6	0	60	170	341	6	0	60	170	341	6	0																
61	6.5	170	347	58	170	330	5	1.5	58	170	330	5	1.5	60	170	341	6	0.5	58	170	330	5	1.5																
62	7	170	352	64	170	363	8	1	64	170	363	8	1	51	170	292	1.5	5.5	67	148	368	NA	0.87																
63	7.5	170	358	68	137	368	NA	1.50	68	137	368	NA	1.50	67	148	368	NA	0.53	64	170	363	8	0.5																
64	8	170	363	62	170	352	7	1	64	170	363	8	0	63	170	358	7.5	0.5	59	170	336	5.5	2.50																
								PROMEDIO ERROR	1.41									PROMEDIO ERROR	1.40									PROMEDIO ERROR	1.80									PROMEDIO ERROR	1.46
								Número de Aciertos	2									Número de Aciertos	3									Número de Aciertos	1									Número de Aciertos	3

ERROR RUTA 4 (m)  
1.52

ZONA 5																																							
VALORES ESPERADOS				VALORES OBTENIDOS (Muestra 1)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 2)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 3)					VALORES OBTENIDOS (Muestra 4)																				
n	d (m)	x	y	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)	n	x	y	d (m)	Error (m)																
65	0	170	368	61	170	347	NA	6.68	61	170	347	NA	6.68	61	170	347	NA	6.68	61	170	347	NA	6.68																
66	1	159	368	66	159	368	1	0	54	170	308	NA	1.79	54	170	308	NA	1.79	54	170	308	NA	1.79																
67	2	148	368	50	170	286	NA	1.11	50	170	286	NA	1.11	51	170	292	NA	1.57	50	170	286	NA	1.11																
68	3	137	368	67	148	368	2	1	69	126	368	4	1	67	148	368	2	1	67	148	368	2	1																
69	4	126	368	69	126	368	4	0	69	126	368	4	0	70	115	368	5	1	70	115	368	6	2																
70	5	115	368	70	115	368	5	0	70	115	368	5	0	73	82	368	8	3	70	115	368	6	1																
71	6	104	368	70	115	368	5	1	75	60	368	10	4	70	115	368	5	1	70	115	368	6	0																
72	7	93	368	75	60	368	10	3	73	82	368	8	1	75	60	368	10	3	70	115	368	6	1																
73	8	82	368	75	60	368	10	2	75	60	368	10	2	75	60	368	10	2	75	60	368	10	2																
74	9	71	368	75	60	368	10	1	75	60	368	10	1	75	60	368	10	1	76	49	368	11	2																
75	10	60	368	75	60	368	10	0	73	82	368	8	2	71	104	368	6	4	71	104	368	6	4																
76	11	49	368	76	49	368	11	0	76	49	368	11	0	76	49	368	11	0	76	59	368	11	0																
								PROMEDIO ERROR	1.32									PROMEDIO ERROR	1.71									PROMEDIO ERROR	2.17									PROMEDIO ERROR	1.88
								Número de Aciertos	5									Número de Aciertos	3									Número de Aciertos	1									Número de Aciertos	2

ERROR RUTA 5 (m)  
1.77

ERROR TOTAL DE LAS 5 RUTAS (m)  
1.93

ANEXO 5B

ZONA#1																																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																					
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)																
33	0.5	170	185	39	170	175	NA	0.91	44	143	175	NA	2.62	39	170	175	NA	0.91	64	170	147	4	3.5																
34	1	170	180	44	143	175	NA	2.49	34	170	180	1	0	38	170	158	3	2	48	133	176	NA	3.38																
35	1.5	170	174	44	143	175	NA	2.46	34	170	180	1	0.5	34	170	180	1	0.5	48	133	176	NA	3.37																
36	2	170	169	34	170	180	1	1	34	170	180	1	1	47	133	175	NA	3.42	44	143	175	NA	2.52																
37	2.5	170	163	44	143	175	NA	2.69	34	170	180	1	1.5	64	170	147	4	1.5	63	170	152	3.5	1.0																
38	3	170	158	63	170	152	3.5	0.5	63	170	152	3.5	0.5	64	170	147	4	1	63	170	152	3.5	0.5																
63	3.5	170	152	63	170	152	3.5	0	64	170	147	4	0.5	64	170	147	4	0.5	63	170	152	3.5	0.0																
64	4	170	147	38	170	158	3	1	64	170	147	4	0	64	170	147	4	0	64	170	147	4	0.0																
65	4.5	170	141	64	170	147	4	0.5	64	170	147	4	0.5	34	170	180	1	3.5	64	170	147	4	0.5																
66	5	170	136	45	138	175	NA	4.62	64	170	147	4	1	35	170	174	1.5	3.5	65	170	141	4.5	0.5																
67	5.5	170	130	73	170	97	8.5	3	66	170	136	5	0.5	66	170	136	5	0.5	66	170	136	5	0.5																
68	6	170	125	71	170	108	7.5	1.5	45	138	175	NA	5.44	45	138	175	NA	5.44	45	138	175	NA	5.44																
69	6.5	170	119	74	170	92	9	2.5	73	170	97	8.5	2	73	170	97	8.5	2	66	170	136	5	1.5																
70	7	170	114	73	170	97	8.5	1.5	72	170	103	8	1	66	170	136	5	2	68	170	125	6	1.0																
71	7.5	170	108	73	170	97	8.5	1	73	170	97	8.5	1	70	170	114	7	0.5	65	170	141	4.5	3.0																
72	8	170	103	72	170	103	8	0	75	170	86	9.5	1.5	45	138	175	NA	7.20	70	170	114	7	1.0																
73	8.5	170	97	66	170	136	5	3.5	66	170	136	5	3.5	77	170	75	10.5	2	70	170	114	7	1.5																
74	9	170	92	76	170	81	10	1	73	170	97	8.5	0.5	70	170	114	7	2	73	170	97	8.5	0.5																
75	9.5	170	86	74	170	92	9	0.5	77	170	75	10.5	1	74	170	92	9	0.5	83	170	42	13.5	4.0																
76	10	170	81	73	170	97	8.5	1.5	72	170	103	8	2	72	170	103	8	2	73	170	97	8.5	1.5																
77	10.5	170	75	74	170	92	9	1.5	74	170	92	9	1.5	72	170	103	8	2.5	82	170	48	13	2.5																
78	11	170	70	74	170	92	9	2	72	170	103	8	3	72	170	103	8	3	74	170	92	9	2.0																
79	11.5	170	64	82	170	48	13	1.5	76	170	81	10	1.5	73	170	97	8.5	3	71	170	108	7.5	4.0																
80	12	170	59	74	170	92	9	3	76	170	81	10	2	77	170	75	10.5	1.5	71	170	108	7.5	4.5																
81	12.5	170	53	77	170	75	10.5	2	73	170	97	8.5	4	82	170	48	13	0.5	73	170	97	8.5	4.0																
82	13	170	48	82	170	48	13	0	76	170	81	10	3	73	170	97	8.5	4.5	77	170	75	10.5	2.5																
83	13.5	170	42	82	170	48	13	0.5	71	170	108	7.5	6	82	170	48	13	0.5	82	170	48	13	0.5																
84	14	170	37	82	170	48	13	1	82	170	48	13	1	72	170	103	8	6	72	170	103	8	6.0																
85	14.5	170	31	74	170	92	9	5.5	82	170	48	13	1.5	82	170	48	13	1.5	82	170	48	13	1.5																
86	15	170	26	73	170	97	8.5	6.5	82	170	48	13	2	77	170	75	10.5	4.5	82	170	48	13	2.0																
								PROMEDIO# ERROR	1.86									PROMEDIO# ERROR	1.74									PROMEDIO# ERROR	2.3									PROMEDIO# ERROR	2.2
								Número#le# Aciertos	3									Número#le# Aciertos	2									Número#le# Aciertos	1									Número#le# Aciertos	2

ERROR#RUTA1(m)  
2.01

ZONA#2																																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																					
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)																
39	0	170	175	66	170	136	NA	3.59	39	170	175	NA	0.00	39	170	175	NA	0.00	39	170	175	NA	0.00																
40	0.5	164	175	31	170	233	NA	5.30	66	170	136	NA	3.63	34	170	180	NA	0.68	39	170	175	NA	0.55																
41	1	158	175	54	133	209	NA	3.80	66	170	136	NA	3.75	66	170	136	NA	3.75	39	170	175	NA	1.09																
42	1.5	153	175	40	164	175	0.5	1.00	40	164	175	0.5	1.00	66	170	136	NA	3.91	35	170	174	NA	1.55																
43	2	149	175	44	143	175	2.5	0.50	43	149	175	2	0.00	67	170	130	NA	4.51	35	170	174	NA	1.91																
44	2.5	143	175	43	149	175	2	0.50	49	133	181	NA	1.06	43	149	175	2	0.50	34	170	180	NA	2.49																
45	3	138	175	43	149	175	2	1.00	43	149	175	2	1.00	50	133	187	NA	1.14	44	143	175	2.5	0.50																
46	3.5	133	175	50	133	187	NA	1.05	50	133	187	NA	1.05	43	149	175	2	1.50	48	133	176	NA	0.05																
								PROMEDIO# ERROR	2.09									PROMEDIO# ERROR	1.44									PROMEDIO# ERROR	2.0									PROMEDIO# ERROR	1.0
								Número#le# Aciertos	0									Número#le# Aciertos	2									Número#le# Aciertos	1									Número#le# Aciertos	2

ERROR#RUTA2(m)  
1.64

ZONA#3																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)					
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)
47	0	133	175	39	170	175	NA	3.36	48	133	176	0.5	0.50	48	133	176	0.5	0.50	48	133	176	0.5	0.50
48	0.5	133	176	49	133	181	1	0.50	47	133	175	0	0.50	50	133	187	1.5	1.00	48	133	176	0.5	0.00
49	1	133	181	49	133	181	1	0.00	48	133	176	0.5	0.50	48	133	176	0.5	0.50	48	133	176	0.5	0.50
50	1.5	133	187	48	133	176	0.5	1.00	48	133	176	0.5	1.00	44	143	175	NA	1.39	48	133	176	0.5	1.00
51	2	133	192	44	143	175	NA	1.79	49	133	181	1	1.00	44	143	175	NA	1.79	44	143	175	NA	1.79
52	2.5	133	198	52	133	198	2.5	0.00	47	133	175	0	2.50	46	133	175	3.5	1.00	53	133	203	3	0.50

53	3	133	203	46	133	175	NA	2.55	53	133	203	3	0.00	55	133	214	4	1.00	46	133	175	3.5	0.50
54	3.5	133	209	55	133	214	4	0.50	53	133	203	3	0.50	53	133	203	3	0.50	46	133	175	3.5	0.00
55	4	133	214	55	133	214	4	0.00	53	133	203	3	1.00	46	133	175	3.5	0.50	46	133	175	3.5	0.50
56	4.5	133	220	55	133	214	4	0.50	53	133	203	3	1.50	53	133	203	3	1.50	53	133	203	3	1.50
57	5	133	225	57	133	225	5	0.00	56	133	220	4.5	0.50	53	133	203	3	2.00	53	133	203	3	2.00
PROMEDIO# ERROR 0.93 Número#e# Aciertos 4									PROMEDIO# ERROR 0.86 Número#e# Aciertos 1					PROMEDIO# ERROR 1.1 Número#e# Aciertos 0					PROMEDIO# ERROR 0.8 Número#e# Aciertos 2				

ERROR#RUTA3#(m)  
0.91

ZONA#4																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)				
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)
16	0.5	170	352	19	170	336	2	1.50	16	170	352	0.5	0.0	21	170	325	3	2.5	20	170	330	2.5	2.0
17	1	170	347	19	170	336	2	1.00	22	170	319	3.5	2.5	24	170	308	4.5	3.5	19	170	336	2	1.0
18	1.5	170	341	19	170	336	2	0.50	21	170	325	3	1.5	25	170	303	5	3.5	19	170	336	2	0.5
19	2	170	336	20	170	330	2.5	0.50	19	170	336	2	0.0	19	170	336	2	0.0	19	170	336	2	0.0
20	2.5	170	330	25	170	303	5	2.50	20	170	330	2.5	0.0	25	170	303	5	2.5	29	170	281	7	4.5
21	3	170	325	27	170	292	6	3.00	27	170	292	6	3.0	27	170	292	6	3.0	27	170	292	6	3.0
22	3.5	170	319	27	170	292	6	2.50	11	165	368	NA	4.47	27	170	292	6	2.5	20	170	330	2.5	1.0
23	4	170	314	27	170	292	6	2.00	28	170	286	6.5	2.5	27	170	292	6	2.0	29	170	281	7	3.0
24	4.5	170	308	27	170	292	6	1.50	28	170	286	6.5	2.0	27	170	292	6	1.5	26	170	297	5.5	1.0
25	5	170	303	28	170	286	6.5	1.50	11	165	368	NA	5.97	27	170	292	6	1.0	27	170	292	6	1.0
26	5.5	170	297	40	164	175	NA	11.11	27	170	292	6	0.5	28	170	286	6.5	1.0	27	170	292	6	0.5
27	6	170	292	41	158	175	NA	10.65	28	170	286	6.5	0.5	41	158	175	NA	10.65	28	170	286	6.5	0.5
28	6.5	170	286	41	158	175	NA	10.15	40	164	175	NA	10.11	31	170	233	NA	4.82	27	170	292	6	0.5
29	7	170	281	31	170	233	NA	4.32	41	158	175	NA	9.65	28	170	286	6.5	0.5	31	170	233	NA	4.32
PROMEDIO# ERROR 3.77 Número#e# Aciertos 0									PROMEDIO# ERROR 3.05 Número#e# Aciertos 3					PROMEDIO# ERROR 2.8 Número#e# Aciertos 1					PROMEDIO# ERROR 1.6 Número#e# Aciertos 1				

ERROR#RUTA4#(m)  
2.81

ZONA#5																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#DBTENIDOS#(Muestra#)				
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)
0	11.5	44	368	2	66	368	9.5	2	0	44	368	11.5	0.0	0	44	368	11.5	0.0	3	77	368	8.5	3.0
1	10.5	55	368	0	44	368	11.5	1	3	77	368	8.5	2.0	0	44	368	11.5	1.0	0	44	368	11.5	1.0
2	9.5	66	368	0	44	368	11.5	2	0	44	368	11.5	2.0	2	66	368	9.5	0.0	0	44	368	11.5	2.0
3	8.5	77	368	2	66	368	9.5	1	2	66	368	9.5	1.0	6	110	368	5.5	3.0	13	242	400	NA	15.32
4	7.5	88	368	6	110	368	5.5	2	2	66	368	9.5	2.0	2	66	368	9.5	2.0	15	242	400		7.5
5	6.5	99	368	7	121	368	4.5	2	4	88	368	7.5	1.0	6	110	368	5.5	1.0	4	88	368	7.5	1.0
6	5.5	110	368	6	110	368	5.5	0	5	99	368	6.5	1.0	4	88	368	7.5	2.0	2	66	368	9.5	4.0
7	4.5	121	368	5	99	368	6.5	2	7	121	368	4.5	0.0	7	121	368	4.5	0.0	5	99	368	6.5	2.0
8	3.5	132	368	9	143	368	2.5	1	16	170	352	NA	3.78	5	99	368	6.5	3.0	14	242	400		3.5
9	2.5	143	368	16	170	352	NA	2.88	28	170	286	NA	7.86	16	170	352	NA	2.88	16	170	352	NA	2.88
10	1.5	154	368	11	165	368	0.5	1	27	170	292	NA	7.11	11	165	368	0.5	1.0	11	165	368	0.5	1.0
11	0.5	165	368	20	170	330	NA	3.47	16	170	352	NA	1.51	27	170	292	NA	6.97	27	170	292	NA	6.97
PROMEDIO# ERROR 1.70 Número#e# Aciertos 1									PROMEDIO# ERROR 2.44 Número#e# Aciertos 2					PROMEDIO# ERROR 1.9 Número#e# Aciertos 3					PROMEDIO# ERROR 4.2 Número#e# Aciertos 0				

ERROR#RUTA5#(m)  
2.55

ERROR#RUTA#(m)  
5#(m)  
2.04

## ANEXO 5C

RUTA 1								
DESDE CENTRO DE GRADAS CENTRALES HASTA M303								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia (m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)
0.5	2.34	1.84	1.51	1.01	2.7	2.2	1.07	0.57
1	3.71	2.71	0.66	0.34	0.4	0.6	1.78	0.78
1.5	3.01	1.51	1.78	0.28	2.59	1.09	2.59	1.09
2	2.61	0.61	2.27	0.27	2.41	0.41	2.18	0.18
2.5	2.66	0.16	2.52	0.02	1.53	0.97	2.27	0.23
3	3.16	0.16	2.16	0.84	3.31	0.31	2.46	0.54
3.5	3.22	0.28	10.73	7.23	3.76	0.26	3.79	0.29
4	5.46	1.46	4.68	0.68	3.42	0.58	3.91	0.09
4.5	9.23	4.73	9.1	4.6	3.73	0.77	4.39	0.11
5	10.31	5.31	9.46	4.46	4.73	0.27	9.32	4.32
5.5	9.01	3.51	8.97	3.47	4.58	0.92	10.43	4.93
6	10.61	4.61	10.38	4.38	9.28	3.28	9.1	3.1
6.5	10.9	4.4	7.7	1.2	10.92	4.42	9.81	3.31
7	10.6	3.6	10.76	3.76	9.29	2.29	10.7	3.7
7.5	10.8	3.3	12.55	5.05	9.3	1.8	11.03	3.53
8	10.22	2.22	10.02	2.02	6.23	1.77	10.6	2.6
8.5	10.94	2.44	11.3	2.8	10.08	1.58	10.4	1.9
9	5.61	3.39	14.53	5.53	11.05	2.05	11.11	2.11
9.5	11.31	1.81	10.59	1.09	10.14	0.64	13.48	3.98
10	12.35	2.35	11.36	1.36	11.08	1.08	13.13	3.13
10.5	11.99	1.49	12.41	1.91	13.35	2.85	14.4	3.9
11	13.96	2.96	12.74	1.74	13.76	2.76	13.85	2.85
11.5	13.16	1.66	12.13	0.63	13.7	2.2	14.02	2.52
12	13.67	1.67	13	1	14.39	2.39	14.13	2.13
12.5	16.42	3.92	13.76	1.26	13.2	0.7	15.12	2.62
13	15.4	2.4	15.45	2.45	14.05	1.05	15.5	2.5
13.5	16.29	2.79	16.3	2.8	14.31	0.81	14.52	1.02
14	16.57	2.57	16.29	2.29	13.63	0.37	15.07	1.07
14.5	15.08	0.58	13.36	1.14	15.27	0.77	16.13	1.63
15	15.18	0.18	16.46	1.46	17.28	2.28	15.78	0.78
15.5	16.09	0.59	15.17	0.33	11.56	3.94	18.5	3
16	16.31	0.31	15.16	0.84	13.77	2.23	16.91	0.91
16.5	17.27	0.77	16.42	0.08	17.83	1.33	16.52	0.02
17	17.04	0.04	17.1	0.1	15.28	1.72	15.71	1.29
17.5	16.21	1.29	17.04	0.46	17.37	0.13	15.65	1.85
18	16.49	1.51	16.6	1.4	18	0	16.55	1.45
18.5	16.7	1.8	15.4	3.1	17.07	1.43	15.6	2.9
19	18.92	0.08	18.39	0.61	18.56	0.44	17.45	1.55
	PROMEDIO ERROR (m)	2.03	PROMEDIO ERROR (m)	1.95	PROMEDIO ERROR (m)	1.44	PROMEDIO ERROR (m)	1.96

PROMEDIO ERROR RUTA 1(m)	1.84
--------------------------	------

RUTA 4								
DESDE GRADAS CENTRALES HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia (m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)
0.5	5.23	4.73	6.41	5.91	-2.74	3.24	5.19	4.69
1	5.22	4.22	5.69	4.69	5.62	4.62	1.56	2.56
1.5	5.54	4.04	5.3	3.8	5.52	4.02	1.79	3.29
2	4.24	2.24	1.58	3.58	4.95	2.95	1.22	3.22
2.5	5	2.5	4.29	1.79	2.38	4.88	0.29	2.79
3	5.12	2.12	4.66	1.66	4.9	1.9	0.89	2.11
3.5	5.76	2.26	1.46	2.04	4.42	0.92	0.65	4.15
4	6	2	1.97	2.03	5.96	1.96	2.8	1.2
4.5	6.89	2.39	6.26	1.76	6.58	2.08	6.54	2.04
5	7.86	2.86	6.44	1.44	7.24	2.24	6.79	1.79
5.5	8.8	3.3	6.88	1.38	6.85	1.35	7.11	1.61
6	9.32	3.32	6.89	0.89	7.46	1.46	7.37	1.37
6.5	8.96	2.46	6.28	0.22	7.25	0.75	7.63	1.13
7	9.41	2.41	7.99	0.99	7.22	0.22	7.6	0.6
7.5	9.38	1.88	7.44	0.06	9.06	1.56	8.04	0.54



8	8.92	0.92	7.7	0.3	8.75	0.75	7.82	0.18
8.5	9.45	0.95	8.62	0.12	9.1	0.6	8.55	0.05
9	9.14	0.14	8.76	0.24	8.65	0.35	9.59	0.59
9.5	8.24	1.26	9.19	0.31	9.07	0.43	9.92	0.42
10	8.02	1.98	8.31	1.69	9.52	0.48	9.9	0.1
10.5	9.09	1.41	8.77	1.73	9.89	0.61	8.72	1.78
11	8.02	2.98	8.42	2.58	8.54	2.46	8.86	2.14
	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	2.38	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.78	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.81	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.74

<b>PROMEDIO ERROR RUTA 4(m)</b>	<b>1.93</b>
---------------------------------	-------------

RUTA 5								
DESDE LAB ROBOTICA HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia (m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)
3	7.92	4.30	7.98	4.26	6.49	3.49	6.9	3.9
3.5	6.48	2.98	7.68	4.82	6.1	2.6	7.14	5.21
4	7.91	3.91	8.72	4.60	6.64	2.64	8.79	4.79
4.5	6.96	2.46	8.55	5.12	6.96	2.46	9.73	5.23
5	8.93	3.93	8.77	3.77	7.67	2.67	10.78	5.78
5.5	6.11	0.61	9.49	3.99	6.68	1.18	8.38	2.88
6	6.84	0.84	6.03	0.03	5.95	0.05	7.19	1.19
6.5	7.58	1.08	6.6	0.1	8.66	2.16	6.17	0.33
7	7.9	0.9	8.31	1.31	8.98	1.98	10.48	3.48
7.5	9.79	2.29	11.11	3.61	7.56	0.06	6.69	0.81
8	8.44	0.44	12.64	4.64	7.83	0.17	8.76	0.76
8.5	10.21	1.71	7.67	0.83	8.68	0.18	8.5	0
9	8.3	0.7	10.64	1.64	9.59	0.59	11.37	2.37
9.5	10.48	0.98	9.56	0.06	9.91	0.41	11.31	1.81
10	10.65	0.65	10.59	0.59	7.98	2.02	9.89	0.11
10.5	10.23	0.27	12.8	2.3	10.4	0.1	9.59	0.91
11	12.04	1.04	13.09	2.09	11.22	0.22	12.89	1.89
11.5	12.26	0.76	13.45	1.95	12.15	0.65	13.45	1.95
12	13.21	1.21	13.45	1.45	12.6	0.6	11.82	0.18
12.5	13.45	0.95	13.45	0.95	13.08	0.58	12.97	0.47
13	12.98	0.02	13.45	0.45	13.45	0.45	13.45	0.45
13.5	13.45	0.05	13.45	0.05	13.45	0.05	13.45	0.05
	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.46	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	2.21	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.15	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	2.03

<b>PROMEDIO ERROR RUTA 5(m)</b>	<b>1.71</b>
---------------------------------	-------------

<b>ERROR SISTEMA</b>	<b>1.83</b>
----------------------	-------------

ANEXO 5D

ZONA#															
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)						
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)		
33	0.5	170	185	40	164	175	NA	1.06	66	170	136	5	4.5		
34	1	170	180	34	170	180	1	0	66	170	136	5	4		
35	1.5	170	174	35	170	174	1.5	0	66	170	136	5	3.5		
36	2	170	169	38	170	158	3	1	63	170	152	3.5	1.5		
37	2.5	170	163	38	170	158	3	0.5	37	170	163	2.5	0		
38	3	170	158	67	170	130	5.5	2.5	63	170	152	3.5	0.5		
63	3.5	170	152	34	170	180	1	2.5	64	170	147	4	0.5		
64	4	170	147	34	170	180	1	3	64	170	147	4	0		
65	4.5	170	141	66	170	136	5	0.5	45	138	175	NA	4.24		
66	5	170	136	66	170	136	5	0	45	138	175	NA	4.62		
67	5.5	170	130	66	170	136	5	0.5	74	170	92	9	3.5		
68	6	170	125	66	170	136	5	1	43	149	175	NA	4.97		
69	6.5	170	119	66	170	136	5	1.5	63	170	152	3.5	3		
70	7	170	114	73	170	97	8.5	1.5	74	170	92	9	2		
71	7.5	170	108	73	170	97	8.5	1	76	170	81	10	2.5		
72	8	170	103	73	170	97	8.5	0.5	72	170	103	8	0		
73	8.5	170	97	73	170	97	8.5	0	77	170	75	10.5	2		
74	9	170	92	73	170	97	8.5	0.5	74	170	92	9	0		
75	9.5	170	86	73	170	97	8.5	1	70	170	114	7	2.5		
76	10	170	81	83	170	42	13.5	3.5	74	170	92	9	1		
77	10.5	170	75	77	170	75	10.5	0	68	170	125	6	4.5		
78	11	170	70	79	170	64	11.5	0.5	74	170	92	9	2		
79	11.5	170	64	77	170	75	10.5	1	72	170	103	8	3.5		
80	12	170	59	73	170	97	8.5	3.5	76	170	81	10	2		
81	12.5	170	53	73	170	97	8.5	4	74	170	92	9	3.5		
82	13	170	48	80	170	59	12	1	73	170	97	8.5	4.5		
83	13.5	170	42	83	170	42	13.5	0	83	170	42	13.5	0		
84	14	170	37	77	170	75	10.5	3.5	77	170	75	10.5	3.5		
85	14.5	170	31	74	170	92	9	5.5	74	170	92	9	5.5		
86	15	170	26	72	170	103	8	7	77	170	75	10.5	4.5		
								PROMEDIO#	1.60					PROMEDIO#	2.61
								ERROR						ERROR	
								Número#	6					Número#	5
								Aciertos						Aciertos	

ERROR#RUTA#  
2.11

ZONA#															
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)						
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)		
39	0	170	175	39	170	175	0	0	35	170	174	NA	0.09		
40	0.5	164	175	66	170	136	NA	3.63	35	170	174	NA	0.55		
41	1	158	175	66	170	136	NA	3.75	35	170	174	NA	1.09		
42	1.5	153	175	70	170	114	NA	5.80	66	170	136	NA	3.91		
43	2	149	175	43	149	175	2	0	45	138	175	3	1.0		
44	2.5	143	175	43	149	175	2	0.5	45	138	175	3	0.5		
45	3	138	175	50	133	187	NA	1.14	47	133	175	NA	0.45		
46	3.5	133	175	43	149	175	2	1.5	47	133	175	NA	0.00		
								PROMEDIO#	2.04					PROMEDIO#	0.95
								ERROR						ERROR	
								Número#	2					Número#	2
								Aciertos						Aciertos	

ERROR#RUTA#  
1.50

ZONA#															
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)						
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)		
47	0	133	175	64	170	147	NA	4.25	47	133	175	0	0.00		
48	0.5	133	176	64	170	147	NA	4.27	48	133	176	0.5	0.00		
49	1	133	181	38	170	158	NA	3.98	43	149	175	NA	1.55		
50	1.5	133	187	44	143	175	NA	1.39	67	170	130	NA	6.14		
51	2	133	192	49	133	181	1	1.00	44	143	175	NA	1.79		
52	2.5	133	198	50	133	187	1.5	1.00	46	133	175	NA	2.05		
53	3	133	203	49	133	181	1	2.00	49	133	181	1	2.00		
54	3.5	133	209	31	170	233	NA	4.03	31	170	233	NA	4.03		
55	4	133	214	31	170	233	NA	3.78	31	170	233	NA	3.78		
56	4.5	133	220	53	133	203	3	1.50	55	133	214	4	0.50		
57	5	133	225	56	133	220	4.5	0.50	32	170	208	NA	3.70		
								PROMEDIO#	2.52					PROMEDIO#	2.32
								ERROR						ERROR	
								Número#	0					Número#	2
								Aciertos						Aciertos	

ERROR#RUTA#  
2.42

ZONA#													
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#)				
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)
16	0.5	170	352	22	170	319	3.5	3.00	16	170	352	0.5	0.00
17	1	170	347	22	170	319	3.5	2.50	28	170	286	6.5	5.50
18	1.5	170	341	19	170	336	2	0.50	20	170	330	2.5	1.00
19	2	170	336	22	170	319	3.5	1.50	20	170	330	2.5	0.50
20	2.5	170	330	20	170	330	2.5	0.00	27	170	292	6	3.50
21	3	170	325	16	170	352	0.5	2.50	27	170	292	6	3.00
22	3.5	170	319	25	170	303	5	1.50	27	170	292	6	2.50
23	4	170	314	28	170	286	6.5	2.50	28	170	286	6.5	2.50
24	4.5	170	308	29	170	281	7	2.50	29	170	281	7	2.50
25	5	170	303	28	170	286	6.5	1.50	28	170	286	6.5	1.50
26	5.5	170	297	27	170	292	6	0.50	28	170	286	6.5	1.00

27	6	170	292	28	170	286	6.5	0.50	28	170	286	6.5	0.50
28	6.5	170	286	28	170	286	6.5	0.00	54	133	209	NA	7.81
29	7	170	281	28	170	286	6.5	0.50	40	164	175	NA	9.61
									PROMEDIO#		2.96		
									ERROR		1.39		
									Número#		1		
									Aciertos		2		

ERROR#RUTA#  
2.18

ZONA#5													
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)				
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)
0	11.5	44	368	0	44	368	11.5	0.00	3	77	368	8.5	3.00
1	10.5	55	368	0	44	368	11.5	1.00	0	44	368	11.5	1.00
2	9.5	66	368	0	44	368	11.5	2.00	1	55	368	10.5	1.00
3	8.5	77	368	1	55	368	10.5	2.00	15	242	400	NA	15.32
4	7.5	88	368	2	66	368	9.5	2.00	15	242	400	NA	14.34
5	6.5	99	368	4	88	368	7.5	1.00	2	66	368	9.5	3.00
6	5.5	110	368	13	242	400	NA	12.39	2	66	368	9.5	4.00
7	4.5	121	368	5	99	368	6.5	2.00	6	110	368	5.5	1.00
8	3.5	132	368	14	242	400	NA	10.46	14	242	400	NA	10.46
9	2.5	143	368	16	170	352	NA	2.88	5	99	368	6.5	4.00
10	1.5	154	368	28	170	286	NA	7.60	16	170	352	NA	2.07
11	0.5	165	368	18	170	341	NA	2.48	27	170	292	NA	6.97
									PROMEDIO#		5.51		
									ERROR		3.82		
									Número#		0		
									Aciertos		1		

ERROR#RUTA#  
4.67

ERROR#  
SISTEMA#  
(m)  
2.51

## ANEXO 5E

RUTA 1				
DESDE CENTRO DE GRADAS CENTRALES HASTA M303				
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS			
distancia (m)	Muestra 1		Muestra 2	
	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)
0.5	2.46	1.96	0.63	0.13
1	3.18	2.18	1.94	0.94
1.5	3.61	2.11	1.97	0.47
2	1.76	0.24	1.71	0.29
2.5	2.01	0.49	1.68	0.82
3	1.93	1.07	2.87	0.13
3.5	2.73	0.77	3.83	0.33
4	10.32	6.32	4.65	0.65
4.5	4.78	0.28	9.65	5.15
5	9.5	4.5	9.43	4.43
5.5	5.09	0.41	9.5	4
6	10.66	4.66	9.17	3.17
6.5	9.42	2.92	10.04	3.54
7	6.28	0.72	8.73	1.73
7.5	5.18	2.32	8.96	1.46
8	3.67	4.33	10.88	2.88
8.5	5.41	3.09	11.42	2.92
9	10.16	1.16	11.666	2.666
9.5	9.71	0.21	12.36	2.86
10	13.28	3.28	15.3	5.3
10.5	12.15	1.65	14.62	4.12
11	12.74	1.74	13.16	2.16
11.5	13.13	1.63	12.41	0.91
12	13.27	1.27	11.88	0.12
12.5	15.84	3.34	13	0.5
13	14.22	1.22	12.95	0.05
13.5	13.91	0.41	14.05	0.55
14	16.37	2.37	12.68	1.32
14.5	16.44	1.94	13.4	1.1
15	16.43	1.43	14.02	0.98
15.5	14.97	0.53	13.9	1.6
16	17.63	1.63	16.42	0.42
16.5	17.05	0.55	17.3	0.8
17	16.24	0.76	16.02	0.98
17.5	15.75	1.75	15.09	2.41
18	16.53	1.47	16.3	1.7
18.5	16.27	2.23	16.9	1.6
19	15.74	3.26	17.6	1.4
	PROMEDIO ERROR (m)	1.90	PROMEDIO ERROR (m)	1.75

PROMEDIO ERROR RUTA 1 (m)	1.83
---------------------------	------

RUTA 4				
DESDE GRADAS CENTRALES HASTA SERVIDORES				
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS			
distancia (m)	Muestra 1		Muestra 2	
	distancia (m)	error (m)	distancia (m)	error (m)
0.5	1.57	1.07	1.85	1.35
1	0.83	0.17	5.82	4.82
1.5	4.44	2.94	5.55	4.05
2	5.056	3.056	6.89	4.89
2.5	5.19	2.69	5.16	2.66

3	5.16	2.16	5.39	2.39
3.5	6.19	2.69	6.13	2.63
4	6.15	2.15	6.86	2.86
4.5	6.42	1.92	8.06	3.56
5	7.44	2.44	7.9	2.9
5.5	8.55	3.05	7.67	2.17
6	9.08	3.08	8.5	2.5
6.5	9.03	2.53	8.77	2.27
7	9.19	2.19	8.38	1.38
7.5	9.26	1.76	9.41	1.91
8	9.37	1.37	9.35	1.35
8.5	9.35	0.85	8.48	0.02
9	9.5	0.5	9.12	0.12
9.5	9.64	0.14	9.93	0.43
10	9.68	0.32	9.25	0.75
10.5	9.9	0.6	9.94	0.56
11	9.26	1.74	9.3	1.7
	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	1.79	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	2.15

<b>PROMEDIO ERROR RUTA 4(m)</b>	<b>1.97</b>
---------------------------------	-------------

<b>RUTA 5</b>				
<b>DESDE LAB ROBOTICA HASTA SERVIDORES</b>				
<b>VALORES ESPERADOS</b>	<b>VALORES CALCULADOS</b>			
<b>distancia (m)</b>	<b>Muestra 1</b>		<b>Muestra 2</b>	
	<b>distancia (m)</b>	<b>error (m)</b>	<b>distancia (m)</b>	<b>error (m)</b>
3	0.89	10.56	7.87	4.35
3.5	7.42	5.02	7.28	5.12
4	7.11	5.59	6.9	5.74
4.5	5.66	7.00	6.34	6.49
5	6.88	1.88	6.84	6.52
5.5	6.91	1.41	7.82	6.36
6	8.24	2.24	7.54	1.54
6.5	8.73	2.23	8.41	1.91
7	10.39	3.39	9.87	2.87
7.5	12.55	5.05	13.45	5.95
8	13.45	5.45	12.36	4.36
8.5	12.73	4.23	13.45	4.95
9	13.45	4.45	13.45	4.45
9.5	13.45	3.95	13.45	3.95
10	13.45	3.45	13.45	3.45
10.5	13.45	2.95	13.45	2.95
11	13.45	2.45	13.45	2.45
11.5	13.45	1.95	13.45	1.95
12	13.45	1.45	13.45	1.45
12.5	13.45	0.95	13.45	0.95
13	13.45	0.45	13.45	0.45
13.5	13.45	0.05	13.45	0.05
	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	3.46	<b>PROMEDIO ERROR (m)</b>	3.56

<b>PROMEDIO ERROR RUTA 5(m)</b>	<b>3.51</b>
---------------------------------	-------------

<b>ERROR SISTEMA (m)</b>	<b>2.32</b>
--------------------------	-------------

ANEXO 5F

ZONA#1																																			
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)												
33	0.5	170	185	64	170	147	4	3.5	35	170	174	1.5	1	34	170	180	1	0.5	34	170	180	1	0.5												
35	1.5	170	174	64	170	147	4	2.5	34	170	180	1	0.5	34	170	180	1	0.5	34	170	180	1	0.5												
37	2.5	170	163	34	170	180	1	1.5	44	143	175	NA	2.69	34	170	180	1	1.5	34	170	180	1	1.5												
63	3.5	170	152	48	133	176	NA	3.98	48	133	176	NA	3.98	63	170	152	3.5	0	63	170	152	3.5	0												
65	4.5	170	141	64	170	147	4	0.5	34	170	180	1	3.5	64	170	147	4	0.5	38	170	158	3	1.5												
67	5.5	170	130	70	170	114	7	1.5	34	170	180	1	4.5	48	133	176	NA	5.33	66	170	136	5	0.5												
69	6.5	170	119	66	170	136	5	1.5	66	170	136	5	1.5	33	170	185	0.5	6	47	133	175	NA	6.10												
71	7.5	170	108	73	170	97	8.5	1	67	170	130	5.5	2	45	138	175	NA	6.75	76	170	81	10	2.5												
73	8.5	170	97	72	170	103	8	0.5	66	170	136	5	3.5	77	170	75	10.5	2	80	170	59	12	3.5												
75	9.5	170	86	83	170	42	13.5	4	43	170	136	5	4.5	82	170	48	13	3.5	80	170	59	12	2.5												
77	10.5	170	75	73	170	97	8.5	2	72	170	103	8	2.5	73	170	97	8.5	2	82	170	48	13	2.5												
79	11.5	170	64	72	170	103	8	3.5	74	170	92	9	2.5	73	170	97	8.5	3	82	170	48	13	1.5												
81	12.5	170	53	82	170	48	13	0.5	70	170	114	7	5.5	43	170	136	5	7.5	73	170	97	8.5	4												
83	13.5	170	42	73	170	97	8.5	5	77	170	75	10.5	3	73	170	97	8.5	5	74	170	92	9	4.5												
85	14.5	170	31	74	170	92	9	5.5	73	170	97	8.5	6	43	170	136	5	9.5	74	170	92	9	5.5												
PROMEDIO# ERROR								2.47	PROMEDIO# ERROR								3.14	PROMEDIO# ERROR								3.6	PROMEDIO# ERROR								2.5
Número#e# Aciertos								0	Número#e# Aciertos								0	Número#e# Aciertos								1	Número#e# Aciertos								1

ERROR#UTA1(m)  
2.91

ZONA#2																																			
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)												
39	0	170	175	39	170	175	0	0	41	158	175	1	1	39	170	175	0	0	39	170	175	0	0												
41	1	158	175	39	170	175	0	1	41	158	175	1	0	39	170	175	0	1	39	170	175	0	1												
43	2	149	175	35	170	174	NA	1.91	48	133	176	NA	1.46	41	158	175	1	1	35	170	174	NA	1.91												
45	3	138	175	49	133	181	NA	0.71	47	133	175	NA	0.45	48	133	176	NA	0.46	44	143	175	2.5	0.5												
PROMEDIO# ERROR								0.91	PROMEDIO# ERROR								0.73	PROMEDIO# ERROR								0.6	PROMEDIO# ERROR								0.9
Número#e# Aciertos								1	Número#e# Aciertos								1	Número#e# Aciertos								1	Número#e# Aciertos								1

ERROR#UTA2(m)  
0.77

ZONA#3																																			
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)																
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)												
48	0.5	133	176	43	149	175	NA	1.46	48	133	176	0.5	0	47	133	175	0.0	0.5	48	133	176	0.5	0												
50	1.5	133	187	48	133	176	0.5	1	48	133	176	0.5	1	47	133	175	0.0	1.5	48	133	176	0.5	1												
52	2.5	133	198	44	143	175	NA	2.24	48	133	176	0.5	2	47	133	175	0.0	2.5	46	133	175	NA	2.05												
54	3.5	133	209	46	133	175	NA	3.05	44	143	175	NA	3.18	46	133	175	NA	3.05	46	133	175	NA	3.05												
56	4.5	133	220	52	133	198	2.5	2	57	133	225	5	0.5	57	133	225	5	0.5	53	133	203	3.0	1.5												
PROMEDIO# ERROR								1.95	PROMEDIO# ERROR								1.34	PROMEDIO# ERROR								1.6	PROMEDIO# ERROR								1.5
Número#e# Aciertos								0	Número#e# Aciertos								1	Número#e# Aciertos								0	Número#e# Aciertos								1

ERROR#UTA3(m)  
1.60

ZONA#4																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)				
n	d(m)	x	y	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)	n	x	y	d(m)	Error(m)
16	0.5	170	352	22	170	319	3.5	3	21	170	325	3	2.5	17	170	347	1	0.5	18	170	341	1.5	1
18	1.5	170	341	19	170	336	2	0.5	17	170	347	1	0.5	22	170	319	3.5	2	17	170	347	1	0.5

20	2.5	170	330	21	170	325	3	0.5	22	170	319	3.5	1	22	170	319	3.5	1	28	170	286	6.5	4
22	3.5	170	319	22	170	319	3.5	0	22	170	319	3.5	0	29	170	281	7	3.5	29	170	281	7	3.5
24	4.5	170	308	11	165	368	NA	5.47	29	170	281	7	2.5	28	170	286	6.5	2	28	170	286	6.5	2
26	5.5	170	297	20	170	330	2.5	3	28	170	286	6.5	1	28	170	286	6.5	1	28	170	286	6.5	1
28	6.5	170	286	27	170	292	6	0.5	28	170	286	6.5	0	27	170	292	6	0.5	29	170	281	7	0.5
				PROMEDIO#				1.85	PROMEDIO#				1.07	PROMEDIO#				1.5	PROMEDIO#				1.8
				ERROR					ERROR					ERROR					ERROR				
				Número#				1	Número#				2	Número#				0	Número#				0
				Aciertos					Aciertos					Aciertos					Aciertos				

ERROR#RUTA4#(m)  
1.55

ZONA#5																							
VALORES#ESPERADOS				VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#1)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#2)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#3)					VALORES#OBTENIDOS#(Muestra#4)				
n	d#(m)	x	y	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)	n	x	y	d#(m)	Error#(m)
0	11.5	44	368	3	77	368	8.5	3	1	55	368	10.5	1	0	44	368	11.5	0	1	55	368	10.5	1
1	10.5	55	368	1	55	368	10.5	0	3	77	368	8.5	2	1	55	368	10.5	0	3	77	368	8.5	2
2	9.5	66	368	15	215	345	NA	13.75	2	66	368	9.5	0	0	44	368	11.5	2	3	77	368	8.5	1
3	8.5	77	368	3	77	368	8.5	0	3	77	368	8.5	0	0	44	368	11.5	3	0	44	368	11.5	3
4	7.5	88	368	0	44	368	11.5	4	0	44	368	11.5	4	3	77	368	8.5	1	15	215	345	NA	11.78
5	6.5	99	368	3	77	368	8.5	2	13	215	345	NA	10.80	2	66	368	9.5	3	0	44	368	11.5	5
6	5.5	110	368	2	66	368	9.5	4	7	121	368	4.5	1	3	77	368	8.5	3	2	66	368	9.5	4
7	4.5	121	368	2	66	368	9.5	5	2	66	368	9.5	5	2	66	368	9.5	5	4	88	368	7.5	3
8	3.5	132	368	7	121	368	4.5	1	6	110	368	5.5	2	2	66	368	9.5	6	13	215	345	NA	7.87
9	2.5	143	368	16	170	352	NA	2.88	12	215	345	NA	6.91	5	99	368	6.5	4	9	143	368	2.5	0
10	1.5	154	368	10	154	368	1.5	0	9	143	368	2.5	1	10	154	368	1.5	0	11	165	368	0.5	1
11	0.5	165	368	11	165	368	0.5	0	11	165	368	0.5	0	28	170	286	6.5	6	9	143	368	2.5	2
				PROMEDIO#				2.97	PROMEDIO#				2.81	PROMEDIO#				2.8	PROMEDIO#				3.5
				ERROR					ERROR					ERROR					ERROR				
				Número#				4	Número#				3	Número#				3	Número#				1
				Aciertos					Aciertos					Aciertos					Aciertos				

ERROR#RUTA5#(m)  
3.00

ERROR#RUTA#5#(m)  
2.36

## ANEXO 5F

RUTA 1								
DESDE CENTRO DE GRADAS CENTRALES HASTA M303								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
0.5	1.96	1.46	3	2.50	3.11	2.61	2.41	1.91
1.5	2.4	0.9	1.96	0.46	3.24	1.74	2.11	0.61
2.5	2.71	0.21	2.61	0.11	3.51	1.01	1.84	0.66
3.5	3.38	0.12	4.63	1.13	3.73	0.23	2.71	0.79
4.5	3.48	1.02	3.95	0.55	4.65	0.15	4.64	0.14
5.5	9.69	4.19	10.36	4.86	11.67	6.17	9.06	3.56
6.5	12.48	5.98	11.25	4.75	10.21	3.71	8.31	1.81
7.5	10.37	2.87	9.33	1.83	11.18	3.68	8.59	1.09
8.5	9.55	1.05	8.52	0.02	9.05	0.55	10.43	1.93
9.5	11.17	1.67	10.64	1.14	11.3	1.8	10.65	1.15
10.5	13.86	3.36	13.24	2.74	14.31	3.81	12.08	1.58
11.5	16.33	4.83	14.85	3.35	13.56	2.06	14.25	2.75
12.5	15.92	3.42	14.09	1.59	15.24	2.74	16.14	3.64
13.5	16.78	3.28	16.4	2.90	16.15	2.65	15.53	2.03
14.5	14.26	0.24	12.74	1.76	15.83	1.33	16.4	1.9
15.5	16.24	0.74	17.37	1.87	16.31	0.81	14.33	1.17
16.5	17.51	1.01	16.61	0.11	16.91	0.41	16.46	0.04
17.5	16.56	0.94	16.94	0.56	15.34	2.16	17.37	0.13
18.5	17.1	1.4	17.1	1.40	16.09	2.41	17.05	1.45
PROMEDIO ERROR(m)	2.04		PROMEDIO ERROR(m)	1.77	PROMEDIO ERROR(m)	2.11	PROMEDIO ERROR(m)	1.49

PROMEDIO ERROR RUTA 1(m)	1.85
--------------------------	------

RUTA 2								
DESDE GRADAS CENTRALES HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
0.5	5.97	5.47	5.3	4.80	5.47	4.97	5.52	5.02
1.5	5.51	4.01	5.51	4.01	5.66	4.16	5.71	4.21
2.5	5.19	2.69	4.99	2.49	5.46	2.96	6.04	3.54
3.5	6.15	2.65	5.55	2.05	5.97	2.47	5.39	1.89
4.5	6.86	2.36	6.48	1.98	6.27	1.77	5.93	1.43
5.5	5.21	0.29	8.41	2.91	7.13	1.63	7.75	2.25
6.5	8.76	2.26	8.85	2.35	8.91	2.41	9.38	2.88
7.5	9.72	2.22	9.4	1.90	9.11	1.61	9.59	2.09
8.5	9.62	1.12	9.01	0.51	9.69	1.19	8.98	0.48
9.5	9.63	0.13	10.11	0.61	9.62	0.12	10.1	0.6
10.5	10.21	0.29	10.09	0.41	9.99	0.51	9.38	1.12
PROMEDIO ERROR(m)	2.14		PROMEDIO ERROR(m)	2.18	PROMEDIO ERROR(m)	2.16	PROMEDIO ERROR(m)	2.32

PROMEDIO ERROR RUTA 4(m)	2.20
--------------------------	------

RUTA 3								
DESDE LAB ROBOTICA HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
3	8.38	4.00	7.87	4.35	8.19	5.19	9.16	5.16
4	7.86	5.10	8.47	4.74	8.95	4.95	7.55	2.45
5	-9.1	14.1	8.19	5.75	6.48	1.48	7.45	6.65
6	12.02	6.08	4.47	1.53	4.59	1.41	4.78	1.22
7	6.31	0.69	6.22	0.78	6.75	0.25	5.52	1.48
8	6.6	1.4	7.61	0.39	12.5	4.5	7.32	0.68
9	7.8	1.2	12.71	3.71	10.47	1.47	9.39	0.39
10	11.76	1.76	13.45	3.45	6.97	3.03	9.25	0.75
11	13.45	2.45	12.86	1.86	9.19	1.81	11.43	0.43
12	12.45	0.45	13.45	1.45	13.45	1.45	13.45	1.45
13	12.52	0.48	13.45	0.45	12.18	0.82	11.7	1.3
PROMEDIO ERROR(m)	3.43		PROMEDIO ERROR(m)	2.59	PROMEDIO ERROR(m)	2.40	PROMEDIO ERROR(m)	2.00

PROMEDIO ERROR RUTA 5(m)	2.60
--------------------------	------

ERROR SISTEMA	2.15
---------------	------



RUTA 1								
DESDE CENTRO DE GRADAS CENTRALES HASTA M303								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
0.5	1.96	1.46	3	2.50	3.11	2.61	2.41	1.91
1.5	2.4	0.9	1.96	0.46	3.24	1.74	2.11	0.61
2.5	2.71	0.21	2.61	0.11	3.51	1.01	1.84	0.66
3.5	3.38	0.12	4.63	1.13	3.73	0.23	2.71	0.79
4.5	3.48	1.02	3.95	0.55	4.65	0.15	4.64	0.14
5.5	9.69	4.19	10.36	4.86	11.67	6.17	9.06	3.56
6.5	12.48	5.98	11.25	4.75	10.21	3.71	8.31	1.81
7.5	10.37	2.87	9.33	1.83	11.18	3.68	8.59	1.09
8.5	9.55	1.05	8.52	0.02	9.05	0.55	10.43	1.93
9.5	11.17	1.67	10.64	1.14	11.3	1.8	10.65	1.15
10.5	13.86	3.36	13.24	2.74	14.31	3.81	12.08	1.58
11.5	16.33	4.83	14.85	3.35	13.56	2.06	14.25	2.75
12.5	15.92	3.42	14.09	1.59	15.24	2.74	16.14	3.64
13.5	16.78	3.28	16.4	2.90	16.15	2.65	15.53	2.03
14.5	14.26	0.24	12.74	1.76	15.83	1.33	16.4	1.9
15.5	16.24	0.74	17.37	1.87	16.31	0.81	14.33	1.17
16.5	17.51	1.01	16.61	0.11	16.91	0.41	16.46	0.04
17.5	16.56	0.94	16.94	0.56	15.34	2.16	17.37	0.13
18.5	17.1	1.4	17.1	1.40	16.09	2.41	17.05	1.45
PROMEDIO ERROR(m)	2.04	PROMEDIO ERROR(m)	1.77	PROMEDIO ERROR(m)	2.11	PROMEDIO ERROR(m)	1.49	

PROMEDIO ERROR RUTA 1(m)	1.85
--------------------------	------

RUTA 2								
DESDE GRADAS CENTRALES HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
0.5	5.97	5.47	5.3	4.80	5.47	4.97	5.52	5.02
1.5	5.51	4.01	5.51	4.01	5.66	4.16	5.71	4.21
2.5	5.19	2.69	4.99	2.49	5.46	2.96	6.04	3.54
3.5	6.15	2.65	5.55	2.05	5.97	2.47	5.39	1.89
4.5	6.86	2.36	6.48	1.98	6.27	1.77	5.93	1.43
5.5	5.21	0.29	8.41	2.91	7.13	1.63	7.75	2.25
6.5	8.76	2.26	8.85	2.35	8.91	2.41	9.38	2.88
7.5	9.72	2.22	9.4	1.90	9.11	1.61	9.59	2.09
8.5	9.62	1.12	9.01	0.51	9.69	1.19	8.98	0.48
9.5	9.63	0.13	10.11	0.61	9.62	0.12	10.1	0.6
10.5	10.21	0.29	10.09	0.41	9.99	0.51	9.38	1.12
PROMEDIO ERROR(m)	2.14	PROMEDIO ERROR(m)	2.18	PROMEDIO ERROR(m)	2.16	PROMEDIO ERROR(m)	2.32	

PROMEDIO ERROR RUTA 4(m)	2.20
--------------------------	------

RUTA 3								
DESDE LAB ROBOTICA HASTA SERVIDORES								
VALORES ESPERADOS	VALORES CALCULADOS							
distancia(m)	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)	distancia(m)	error(m)
3	8.38	4.00	7.87	4.35	8.19	5.19	9.16	5.16
4	7.86	5.10	8.47	4.74	8.95	4.95	7.55	2.45
5	-9.1	14.1	8.19	5.75	6.48	1.48	7.45	6.65
6	12.02	6.08	4.47	1.53	4.59	1.41	4.78	1.22
7	6.31	0.69	6.22	0.78	6.75	0.25	5.52	1.48
8	6.6	1.4	7.61	0.39	12.5	4.5	7.32	0.68
9	7.8	1.2	12.71	3.71	10.47	1.47	9.39	0.39
10	11.76	1.76	13.45	3.45	6.97	3.03	9.25	0.75
11	13.45	2.45	12.86	1.86	9.19	1.81	11.43	0.43
12	12.45	0.45	13.45	1.45	13.45	1.45	13.45	1.45
13	12.52	0.48	13.45	0.45	12.18	0.82	11.7	1.3
PROMEDIO ERROR(m)	3.43	PROMEDIO ERROR(m)	2.59	PROMEDIO ERROR(m)	2.40	PROMEDIO ERROR(m)	2.00	

PROMEDIO ERROR RUTA 5(m)	2.60
--------------------------	------

ERROR SISTEMA	2.15
---------------	------

