



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

**SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS
DE LOCALIZACIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

PRESENTA

ING. DANIELA ADELA AVILA VÁZQUEZ

DIRECTORES DE TESIS

DR. JOSÉ GIOVANNI GUZMÁN LUGO

DR. ROLANDO QUINTERO TÉLLEZ



México D.F., Julio 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 10:00 horas del día 13 del mes de mayo de 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis titulada:

“Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización”

Presentada por la alumna:

ÁVILA

Apellido paterno

VÁZQUEZ

Apellido materno

DANIELA ADELA

Nombre(s)

Con registro:

A	1	2	0	3	6	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de Tesis

Dr. José Giovanni Guzmán Lugo

Dr. Rolando Quintero Téllez

Dr. Marco Antonio Moreno Armendáriz

Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

Dr. Jesús Yajá Montiel Pérez

Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Alfonso Villa Vargas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN COMPUTACIÓN
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 20 del mes de Mayo del año 2014, el (la) que suscribe Daniela Adela Avila Vázquez alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias de la Computación, con número de registro A120368, adscrito(a) al Centro de Investigación en Computación, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. José Giovanni Guzmán Lugo y Dr. Rolando Quintero Téllez y cede los derechos del trabajo titulado Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección dania.nika@gmail.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Daniela Adela Avila Vázquez
Nombre y firma del alumno(a)

RESUMEN

Hoy en día, el uso de los dispositivos móviles en la población, así como el uso de los diferentes servicios que nos ofrecen (como es el servicio de correo, de mensajería instantánea, el uso de Bluetooth, el uso del servicio de posicionamiento), ha ido en constante crecimiento.

El uso del servicio de ubicación proporcionado por los dispositivos móviles es de gran ayuda, puesto que permite poder ubicarnos en un mapa y partiendo de esa ubicación poder brindar servicios como son el trazo de rutas desde nuestra posición hasta un punto dado, o el mostrar los locales o negocios que puedan encontrarse a nuestro alrededor.

Existen problemas en torno al servicio de posicionamiento utilizado comúnmente, como es el caso de una condición ambiental no óptima o el cálculo de la posición cuando el dispositivo se encuentra al interior de un edificio o construcción, aunado a esto existen algoritmos que pretenden resolver estas problemáticas sin embargo presentan otro tipo de problemas al momento de la implementación y el cálculo.

Partiendo de las deficiencias de los métodos existentes en los dispositivos móviles, en este trabajo se propone, la validación de una técnica llamada *Multilateración Probabilística*, la cual sirve para estimar la posición de un nodo haciendo uso de tres balizas o antenas y las distancias estimadas de manera imprecisa hacia ellas. Y para poder probar el buen funcionamiento del método, se implementará el uso del dispositivo GPS así como del método de trilateración.

ABSTRACT

Nowadays, the use of mobile devices in the population and the use of the various services that they provide (such as mail service, instant messaging, use of Bluetooth and the service of positioning) has been growing up.

The use of the location service provided by mobile devices is helpful, since it allows locating us on a map, and starting from that location provide services like the trace route from our position to a given point, or show local or businesses that can be found around us.

There are issues around positioning service commonly used, as in the case of a non-optimal environmental condition or calculation of the position when the device is inside a building or construction, coupled with this, there are algorithms that try to solve these problems, however have other problems at the time of implementation and the computation.

Based on the shortcomings of existing methods on mobile devices, this work proposes the validation of a technique called Probabilistic Multilateration, which can be used to estimate the position of a node using three antennas as references and their distances estimated imprecise manner to them. And to prove the good performance of this method also is implemented the use of GPS device and the method of trilateration.

DEDICATORIAS

A mi mamá, a mi papá y a mi hermano, porque sin el apoyo de ellos esto no sería posible.

A mis viejitos Adela y Jesús.

A “Yo pepe” y a Koki, gracias por cuidarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá , a mi papá y a mi hermano por apoyarme día a día, por creer que este trabajo podía salir adelante, por estar ahí dándome ánimos y fuerza, por apoyar cada desvelo, fiesta e idea loca que sale de esta cabeza, por ser mi sol, mi luna y mi estrella.

A la familia Vázquez Estrada y a la familia Avila Chávez por el apoyo en mi vida académica.

A la M. en C. Nayeli Vega García...gracias por todo querida amiga, realmente eres de mis más grandes apoyos, gracias por los ánimos, por los consejos, por la ayuda.

A la Dra. Anabel Pineda Briseño, sin su cooperación y grandes consejos este trabajo no habría sido posible.

Al M. en C. Jorge Ferrer, un gran maestro e incondicional amigo y gran apoyo en mi vida.

Al IPN porque desde mi educación media superior me ha dado un lugar dentro de sus instalaciones para continuar con mi formación.

Al CIC, por brindarme la oportunidad de superar un escalón más en mi vida académica.

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Programa Institucional de Formación de Investigadores por el financiamiento económico brindado durante mi estadía en el centro.

Al Dr. José Giovanni Guzmán Lugo, por su gran apoyo en este trabajo, por la gran amistad que me ha brindado y por todos esos sabios consejos.

Al Dr. Rolando Quintero Téllez por su asesoría y su apoyo en este trabajo.

Al Dr. Miguel Torres por sus asesorías, sus revisiones, sus correcciones y por el apoyo brindado para las publicaciones de este trabajo.

A los sinodales por el tiempo y apoyo brindado para la finalización de este trabajo.

Al Dr. Jesús Yaljá Montiel Pérez, por apoyar cada una de las ideas, por esa gran amistad que tenemos, por tantas y tantas cosas que he aprendido a su lado.

A Manuel, Enrique e Ismael, definitivamente este grado académico no habría sido posible de no haberlos conocido, formar un equipo y una gran amistad con ustedes ha sido de lo más genial.

A Paty, Edgar, Juan Luis, Alejandro, Montse y Karla, porque han estado en cada etapa importante de mi vida, brindándome su amistad incondicional y apoyándome.

A Lola, a Dafne y a Xóchitl, por esos increíbles ratos de trabajo que pasamos, por esas risas, por los consejos, por la gran amistad que me brindaron.

ÍNDICE

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VIII
DEDICATORIAS.....	X
AGRADECIMIENTOS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS	XXII
GLOSARIO	XXIV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Descripción del problema.	4
1.2 Solución propuesta.....	5
1.3 Justificación.	5
1.4 Objetivos.	6
1.4.1 Objetivo General.	6
1.4.2 Objetivos Particulares.	6
1.5 Hipótesis.....	7
1.6 Alcances y limitaciones	7
1.7 Organización de la tesis.....	8
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 GNSS.....	12
2.1.1 GPS	13
2.1.2 GLONASS	15
2.4 Redes Móviles	16
2.4.1 Redes inalámbricas.....	16
2.4.2 Redes MANET	17
2.4.3. Redes de Sensores.....	18
2.4.4. Sistemas de localización en redes inalámbricas.....	19
2.4.4.1 Estimación de distancia/ángulo.	19
2.4.4.2 Procesamiento de la posición.	21
2.4.4.3 Algoritmos de localización	22
2.4.3.3.1 DV- Hop	23

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

2.4.3.3.2 Amorphus.....	23
2.4.5 Aplicaciones existentes.....	24
2.4.5.1 Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización	27
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	30
3.1 Introducción	32
3.2 Etapa 1 – Recolección de datos.....	32
3.3 Etapa 2 – Calibración.....	32
3.3.1 Calibración directa.	33
3.3.2 Calibración por atenuación	34
3.3.3 Calibración por promedio.	36
3.4 Etapa 3 – Métodos de posicionamiento	37
3.4.1 Multilateración probabilística	38
3.4.2 Trilateración de antenas.....	41
3.4.3 GPS	42
3.5 Visualización	42
CAPÍTULO 4. Diseño e implementación	44
4.1 Diseño del sistema	46
4.1.1 Diagrama de Casos de uso	46
4.1.2 Diagrama de clases.....	46
4.1.3 Diagrama de secuencia	48
4.1.3.1 Diagrama de secuencia calibración directa.....	48
4.1.3.2 Diagrama de secuencia calibración por conteo	49
4.1.3.3 Diagrama de secuencia calibración por promedios.....	49
4.2 Implementación del sistema	50
4.2.1 Etapa 1 – Recolección de datos.....	50
4.2.2 Etapa 2 – Calibración.....	56
4.2.3 Etapa 3 – Métodos de posicionamiento	57
4.2.4 Etapa 4 - Visualización.....	61
CAPÍTULO 5. Pruebas y resultados.....	64
5.1 Introducción	66
5.2 Resultados de calibración.....	67

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

5.3 Resultados de los métodos de ubicación.....	72
CAPÍTULO 6. Conclusiones y trabajo a futuro	84
6.1 Conclusiones.....	86
6.2 Trabajo a futuro.....	87
6.3 Divulgación de la investigación	87
ANEXO A. Obtención de la llave para el uso de Google Maps v2.	90
REFERENCIAS.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Problemas comunes en el sistema de posicionamiento	4
---	---

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Constelación GPS.....	13
Figura 2.2 Estimación de la posición	13
Figura 2.3 GPS Diferencial.	15
Figura 2.4 Constelación de satélites GLONASS.	15
Figura 2.5 Red Inalámbrica basada en infraestructura.	16
Figura 2.6 Red Inalámbrica Ad Hoc.	17
Figura 2.7 Red de sensores.	18
Figura 2.8 Componentes de los sistemas de localización.	19
Figura 2.9 Método de triangulación.....	21
Figura 2.10 Método de trilateración	22
Figura 2.11 Resultados en el uso de sensores para la mejora de posición.....	25
Figura 2.12 Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización.	28

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Visión general de la calibración.....	32
Figura 3.2 Mediciones “Calibración promedio”	36
Figura 3.3 Figuras formadas por la ecuación de probabilidad.	39
Figura 3. 4 Producto de las balizas	40
Figura 3.5 Antenas Colineales.	41

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Diagrama de casos de uso.	46
Figura 4.2 Diagrama de clases del sistema.....	47
Figura 4.3 Diagrama de secuencia del sistema.	48
Figura 4.4 Diagrama de secuencia “Calibración directa”	48
Figura 4.5 Diagrama de secuencia “Calibración por conteo”	49
Figura 4.6 Diagrama de secuencia “Calibración por promedios”.	49
Figura 4.7 Nivel 0 – Centro de Investigación en Computación.	51
Figura 4.8 Nivel 1 – Centro de Investigación en Computación	52

Figura 4.9 Nivel 2 – Centro de Investigación en Computación	52
Figura 4.10 Nivel 3 – Centro de Investigación en Computación.	53
Figura 4.11 Plano Escuela Superior de Cómputo	53
Figura 4.12 Tipos de calibración en la aplicación.	56
Figura 4.13 Menú del sistema.	58

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 Zona de pruebas.....	66
Figura 5.2 Dispositivo a utilizar “Galaxy Tab”	66
Figura 5.3 Ubicación de antenas calibradas en CIC-IPN.....	67
Figura 5.4 Análisis de variación de distancias en CIC – IPN.....	67
Figura 5.5 Ubicación de antenas calibradas en CIDETEC-IPN.....	68
Figura 5.6 Ubicación de antenas calibradas en CIDETEC-IPN.....	69
Figura 5.7 Ubicación de antenas calibradas ESCOM-IPN	70
Figura 5.8 Ubicación de antenas calibradas en ESCOM-IPN	70
Figura 5.9 Ubicación de las antenas calibradas en el Centro Comercial “Plaza Torres Lindavista” ..	71
Figura 5.10 Ubicación de antenas calibradas en ESCOM-IPN	72
Figura 5.11 Multilateración probabilística CIC- IPN	73
Figura 5. 12 Trilateración en CIC-IPN	73
Figura 5. 13 GPS en CIC-IPN.....	74
Figura 5.14 Análisis de variación de resultados de posicionamiento CIC - IPN.....	74
Figura 5. 15 Multilateración probabilística en CIDETEC - IPN	75
Figura 5.16 Trilateración en CIDETEC - IPN	76
Figura 5.17 GPS en CIDETEC – IPN.....	76
Figura 5.18 Análisis de variación de resultados de posicionamiento CIDETEC - IPN	77
Figura 5.19 Multilateración probabilística ESCOM - IPN.....	78
Figura 5.20 Trilateración en ESCOM – IPN	78
Figura 5.21 Posición real trilateración en ESCOM - IPN	79
Figura 5. 22 GPS en ESCOM – IPN	79
Figura 5.23 Análisis de variación de resultados de posicionamiento ESCOM – IPN.....	80
Figura 5. 24 Análisis de variación de resultados en ESCOM – IPN	80
Figura 5.25 Multilateración probabilística en Plaza Torres Lindavista.....	81
Figura 5.26 Trilateración en “Plaza Torres Lindavista”	82
Figura 5.27 GPS en “Torres Lindavista”	82
Figura 5.28 Análisis de variación de resultados de posicionamiento “Torres Lindavista”	83
Figura 5.29 Diferencia de errores en posicionamiento.....	83

ANEXO A

Figura A.1 Creación de proyecto en Developers Console..... 90
Figura A.2 Activación de servicios. 90
Figura A.3 Petición de nueva llave. 91
Figura A.4 Obtención de ruta debug.keystore..... 91
Figura A.5 Código SHA1..... 92
Figura A.6 Ingreso de SHA1 y paquete..... 92
Figura A.7 API key..... 93

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Errores en la precisión del GPS.....	14
Tabla 2.2 Atenuación de la señal satelital por algunos materiales [8].....	14
Tabla 2.3 Comparaciones Generales del estado del arte.....	28

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Datos de balizas.....	54
---------------------------------	----

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1 Resultados de calibración obtenidos en el CIC-IPN.....	67
Tabla 5. 2 Resultados de calibración obtenidos en CIDETEC-IPN.....	68
Tabla 5.3 Resultados de calibración obtenidos en ESCOM-IPN.....	69
Tabla 5.4 Resultados de calibración obtenidos en el Centro Comercial “Plaza Torres Lindavista” ..	71
Tabla 5.5 Resultados métodos de ubicación en CIC-IPN.....	72
Tabla 5. 6 Resultados de métodos de ubicación CIDETEC – IPN.....	75
Tabla 5.7 Resultados de métodos de ubicación ESCOM – IPN.....	77
Tabla 5. 8 Resultados de métodos de ubicación “Plaza Torres Lindavista” ..	81
Tabla 5.9 Errores en posicionamiento.....	83

GLOSARIO

AoA: Por sus siglas en inglés *Angle of Arrival* o ángulo de arribo, se refiere a un método que es utilizado para determinar la dirección de propagación de una señal.

dB: Es una unidad de medición conocida como decibelio, cuya función es expresar la relación entre dos magnitudes.

dBm: Es la unidad de medida de potencia, es utilizada principalmente en las telecomunicaciones para expresar la potencia absoluta de una onda. Esta potencia es medida en relación a dB y a mW.

FAF: Por sus siglas en inglés, *Floor Attenuation Factor*, es un valor utilizado en una técnica de calibración el cual está dado en dBm y este valor representa la potencia de atenuación de los techos de un edificio.

GLONASS: Por sus siglas en ruso *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*, es un sistema global de navegación desarrollado por la unión Soviética y se encuentra administrado por la Federación Rusa. Representa la equivalencia de GPS para Estados Unidos.

GNSS: Por sus siglas en inglés, *Global Navigation Satellite System*, es una constelación de satélites que transmiten rangos de señales las cuales son utilizadas para poder determinar las coordenadas geográficas de un punto dado.

GPS: Por sus siglas en inglés *Global Positioning System*, es un sistema de navegación por satélite que permite determinar la posición de un objeto alrededor del mundo

IEEE: Por sus siglas en inglés, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, es una asociación dedicada a la estandarización de las tecnologías de la información así como de la electrónica y ciencias en general.

MAC: Por sus siglas en inglés, *Media Access Control*, es un identificador de 48 bits, distribuidos en 6 bloques hexadecimales, que corresponden de manera única a una tarjeta o un dispositivo de red.

MANET: Acrónimo de *Mobile Ad hoc Network*, es una red de Dispositivos móviles conectados por wireless que son capaces de poseer cierta movilidad en los nodos.

RSSI: Acrónimo de *Recived Signal Strength Indicator*, es el indicador de la fuerza de señal recibida en una red inalámbrica.

SHA1: Es un algoritmo de Hash seguro, es un algoritmo perteneciente a una familia de funciones de cifrado hash publicado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, esta es la segunda versión del algoritmo.

SPA: Por sus siglas en inglés *Self Positioning Algorithm*, es un algoritmo de localización para redes de sensores.

SSID: Acrónimo de *Service Set Identifier*, es conocido como el nombre de una red inalámbrica, este nombre consiste en un máximo de 32 caracteres alfanuméricos, todas las redes cuentan con un identificador de este tipo.

ToA: Por sus siglas en inglés *Time of Arrival*, es el tiempo que tarda la transmisión de una señal en un dispositivo base hacia otro dispositivo.

WAF: Por sus siglas en inglés, *Wall Attenuation Factor*, es un valor utilizado en una técnica de calibración el cual está dado en dBm y este valor representa la potencia de atenuación de los pisos de un edificio.

WiFi: Es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica, estos dispositivos poseen la característica de poderse conectar a internet o a una red a través de un punto de acceso de una red inalámbrica.

WNS: Acrónimo de *Wireless Sensor Networks*, es una red de sensores, estas redes están compuestas por sensores con ciertas capacidades de comunicación inalámbrica, las cuales permiten formar redes sin necesidad de contar con una infraestructura física.

Capítulo 1

“Introducción”

En este capítulo se presenta una introducción a los dispositivos móviles, al uso de los servicios de localización con los que cuentan, así como el problema de localización que se presenta al trabajar con GPS en el interior de edificios, se plantea el objetivo de este trabajo de investigación, los alcances del mismo.

1.1 Descripción del problema.

Actualmente las tecnologías evolucionan de manera acelerada, así como la dependencia que tienen los usuarios hacia las mismas. Conforme han ido evolucionando se crean más necesidades, una de ellas es el contar con un servicio de localización, el cual actualmente es proporcionado por la mayoría de los dispositivos móviles.

La localización de los dispositivos, ha sido reconocida como una de las principales componentes de los sistemas sensibles al contexto; la solución general al problema de la localización está basada en el uso de GPS (*Global Positioning System*).

En esencia, el GPS es un sistema de posicionamiento global, el cuál es capaz de determinar la ubicación propia del dispositivo. Este sistema está integrado por una constelación de 24 satélites los cuales cubren la superficie de la tierra.

Para que este sistema logre determinar la posición lleva a cabo ciertos pasos:

- Inicializar el dispositivo y buscar los datos de 4 o más satélites para proceder con la localización.
- Una vez que el receptor tiene los datos de los satélites, sincroniza los datos con el dispositivo y empleando un método de triangulación, calcula la posición en la que se encuentra.
- Entre mayor sea el número de satélites más precisa es la localización final.

Cabe señalar que la principal desventaja de este sistema es que no está disponible en entornos interiores, o bien, presenta un margen de error entre 60 y 100 metros. , lo cual lo convierte en inoperante e ineficaz (Figura 1.1). Adicionalmente, en entornos exteriores se requieren ciertas condiciones para su correcta operación, como son: la presencia un clima no nuboso, que se encuentre en una zona libre de objetos geográficos altos y que no esté densamente saturada de los mismos. En [10] se describe que en este tipo de sistemas, el contexto es de gran importancia para el usuario, ya que el dispositivo responde diferente en los entornos móviles a los que puede ser sometido.

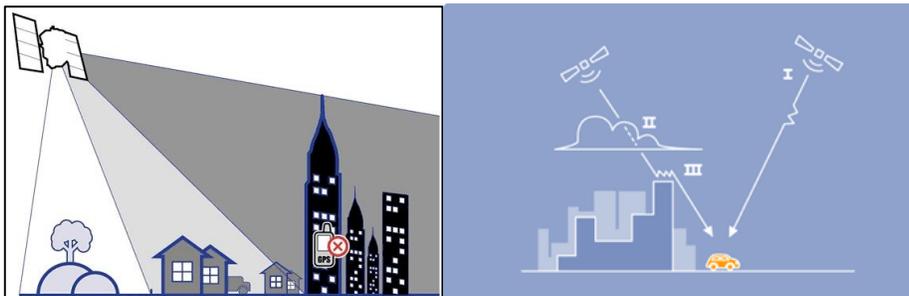


Figura 1.1 Problemas comunes en el sistema de posicionamiento

El rango promedio de error de un GPS en exterior es de 5 a 15 metros, mientras que en interiores este valor se puede incrementar hasta 50 metros [2].

Existe una mejora al GPS, el cual es llamado GPS diferencial. Este sistema se encarga de mejorar el posicionamiento utilizando referencias a lugares conocidos, estos lugares pueden proporcionar datos para contribuir en las mediciones para la determinación de la ubicación. Sin embargo, también se siguen presentando errores en la determinación de la ubicación en entornos interiores, ya que sigue funcionando a partir de los satélites que se encuentran en la órbita terrestre y estos presentan errores en las condiciones mencionadas anteriormente.

En [3] se especifica que para que un sistema de posicionamiento sea ideal se deben contemplar los siguientes puntos:

- Capacidad de proporcionar posicionamiento en cualquier momento o lugar (exteriores, interiores) con una buena precisión. Una buena precisión es aquella en la que el margen de error no excede 5 metros.
- La incorporación de un posicionamiento relativo el cual esta diseñado para hacer uso de nodos móviles a través de los cuales se pueda determinar la posición solicitada.

Una propuesta para solucionar este problema es trabajar con redes basadas en sensores, en donde a partir de un determinado escenario, se estima la posición con base en la posición conocida de los sensores base. En este trabajo, una restricción clave para determinar la ubicación es que los sensores no deben estar colineales, ya que esto representará una posible indeterminación para los métodos existentes [4].

1.2 Solución propuesta.

En el presente trabajo se propone la validación práctica de un método de posicionamiento llamado **multilateración probabilística**, que sea auxiliar en la determinación de la ubicación en 2D. Este método hace uso de redes ad hoc, donde son utilizados métodos de calibración para implementar un algoritmo de multilateración.

El método de multilateración probabilística será implementado dentro de una aplicación para dispositivos que cuenten con el sistema operativo Android, en esta aplicación se seleccionará el tipo de calibración con la que se va a trabajar, además de realizar una comparación entre la ubicación proporcionada por el GPS y por trilateración de las balizas o puntos de acceso.

A priori se cuenta con la información que permite describir la posición geográfica de las balizas que se utilizarán para determinar la ubicación del usuario, estos datos pueden ser actualizados dependiendo del escenario en el que se va a trabajar.

1.3 Justificación.

En el estudio de hábitos y percepciones de los mexicanos sobre internet y diversas tecnologías asociadas realizado en el 2013 [5] se afirma que 59.2 millones de personas utilizan internet en

México, de los cuales la gran mayoría está entre 12 a 53 años, y el 64% de esos usuarios cuentan con dispositivos móviles. Esta última cifra representa un crecimiento del doble con respecto al obtenido en el año 2012.

En el estudio también se menciona que los dispositivos son utilizados para redes sociales, para registrar visitas en lugares, para buscar direcciones y/o rutas, así como para revisar correos electrónicos.

A partir de lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que la cantidad de usuarios que utilizan un dispositivo móvil se incrementa rápidamente, y con ello también la solicitud de servicios tanto de redes como de servicios proporcionados por los dispositivos.

Partiendo del hecho de que cada vez se genera más dependencia hacia la tecnología y que los sistemas que auxilian en la determinación de la ubicación aún presentan grandes márgenes de error, es importante desarrollar un sistema que apoye el proceso de la localización y que haga uso de los recursos que estén a su alrededor, como son las redes inalámbricas (utilizando la intensidad de señal de las mismas), las redes de sensores, o mejor aún, poder obtener la información de los dispositivos móviles a su alrededor.

Otro aspecto a cubrir en el desarrollo del proyecto es la implementación del sistema hacia dispositivos móviles los cuales cuentan con recursos de procesamiento y almacenamiento reducidos.

Finalmente, podemos decir que, con el sistema propuesto se pueden cubrir puntos como es la reducción del margen de error del GPS o la ausencia en condiciones no adecuadas, el cual va a reducir errores en la solicitud de la ubicación en entornos interiores.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Definir un procedimiento por calibración, ubicación y comparación que permita validar la técnica de ubicación basada en un algoritmo de multilateración probabilística para determinar la posición de un dispositivo móvil en un escenario de dos dimensiones (2D) utilizando la intensidad de señal de un conjunto de balizas al alcance del dispositivo.

1.4.2 Objetivos Particulares.

- Implementar un mecanismo para la recuperación de datos base de las balizas o antenas fijas en el entorno a probar.
- Desarrollar, implementar y validar métodos de calibración los cuales serán utilizados en la transformación de señales de intensidad (dBm) a distancia (metros).

- Implementar y validar el algoritmo “Multilateración probabilística” para un dispositivo móvil haciendo uso del método Newton-Raphson para la solución de un sistema de ecuaciones.
- Implementar el método de trilateración.
- Implementar el uso de GPS.
- Reducir el margen de error en la ubicación proporcionada por el GPS.
- Probar en escenarios no simulados para comparar los resultados con soluciones existentes y revisar la precisión del método implementado.

1.5 Hipótesis

Las hipótesis de este trabajo son:

- La alineación de las antenas impide la efectividad del método de trilateración.
- El resultado final, suele verse afectado por el entorno donde se encuentre el dispositivo móvil ya que la estructura del edificio o el ambiente afectan directamente el cálculo de la posición.
- El cálculo de la posición en 2D en un dispositivo móvil puede realizarse con un método probabilístico dando como resultado valores similares a los que presentan los sistemas de posicionamiento.

1.6 Alcances y limitaciones

- Aplicación instalable en un dispositivo móvil que cuente con sistema operativo Android en el cual se podrá ejecutar el algoritmo de **multilateración probabilística**.
- Al finalizar el presente trabajo se espera mostrar que los valores obtenidos con la técnica anteriormente mencionada son similares a los presentados por el sistema de posicionamiento global.
- En este trabajo se presentaran métodos que convierten la intensidad de señal de una red a una distancia (métodos de calibración).
- Serán implementados el método de trilateración y el sistema de posicionamiento global para poder realizar una comparativa entre la solución propuesta y los mismos.
- La calibración por promedios implementada en este trabajo puede ser expandida a mas antenas siempre y cuando se pueda realizar el proceso de toma de mediciones para obtener los valores.

1.7 Organización de la tesis.

En el primer capítulo se muestran los antecedentes y fundamentos del problema, así como el rumbo que se busca seguir para la solución del tema en cuestión.

En el segundo capítulo se describirá el marco teórico, así como el estado del arte que existe con respecto al tema, mostrando los diferentes algoritmos implementados en escenarios controlados similares a los de este trabajo.

En el tercer capítulo se detalla el análisis y diseño del sistema, mostrando la arquitectura que establece el ciclo de vida del mismo, así como el desarrollo e implementación del mismo.

En el capítulo cuarto se exponen las pruebas y resultados del sistema, se muestran las evaluaciones ejecutadas en el sistema para la comprobación de la efectividad del algoritmo **Multilateración probabilística** y la comparación con los existentes.

En el capítulo quinto se muestran los logros alcanzados, las aportaciones, logrando mostrar las conclusiones que permitan evaluar los beneficios alcanzados en el trabajo, así como el planteamiento de los posibles trabajos a futuro.

Capítulo 2

“Estado del arte y marco teórico”

En este capítulo se presenta la descripción de los sistemas globales de navegación por satélite, su funcionamiento, ventajas y desventajas. Adicionalmente, se describe el concepto de redes inalámbricas así como algunas de sus vertientes como son las redes de sensores o redes Ad Hoc.

Posteriormente, se presentan las diferentes técnicas para determinar la posición en redes inalámbricas.

Finalmente, se realiza un comparativo entre algunas de las técnicas existentes y la forma como contribuye la solución propuesta en el presente trabajo de investigación.

2.1 GNSS

Es un sistema global de navegación por satélite integrado por satélites que orbitan alrededor de la tierra, los cuales transmiten rangos de señales que son utilizados para poder determinar coordenadas geográficas de un punto [6] [7]. Este tipo de sistemas están disponibles las 24 horas del día y pueden ser usados gracias a su alta precisión.

El uso de estos sistemas de navegación y las técnicas que utilizan han ido incrementando. Las principales aplicaciones que emplean este tipo de navegación son sistemas de rastreo y sistemas que brindan soporte con base en posicionamiento.

A pesar de que estos sistemas presentan una gran precisión, cuentan con cierta vulnerabilidad en diversos escenarios [9]. Algunas de las debilidades son dependientes del medio, por lo que no son consideradas grandes amenazas, ya que son producidas por el conjunto de ondas electromagnéticas de los sistemas que orbitan en el espacio. Estas vulnerabilidades van desde errores en los relojes de sincronización, radiación solar, en las órbitas de los satélites, hasta errores que presenta la señal por el paso entre la ionosfera y la troposfera.

Por otra parte, existen otro tipo de vulnerabilidades de bloqueo intencionales [9] las cuales dependen del incremento de aplicaciones que utilicen los sistemas de navegación.

Dentro de los sistemas globales de navegación se encuentran varias constelaciones de satélites que proveen servicios de posicionamiento (como son GPS y Galileo). Estas constelaciones buscan cubrir requisitos operacionales a través de tres segmentos, donde se busca cubrir la exactitud, la integridad, la continuidad y la disponibilidad del servicio.

- Segmento espacial: este segmento está formado por los satélites que conforman las órbitas de los servicios de posicionamiento, los satélites se encuentran equipados con relojes atómicos, antenas de navegación y subsistemas de poder [7] [9].
- Segmento de control: consiste en un sistema de estaciones de monitoreo localizadas alrededor del mundo además de ciertas antenas telemétricas. Las estaciones de monitoreo se encargan de medir la posición de cada satélite, controlar su altitud y órbita, monitorean las señales enviadas por los satélites, envían información a los satélites para ajustar sus relojes, así como mensajes de navegación [7] [9].
- Segmento de usuario: este segmento consiste en los receptores con los que cuentan los usuarios de los sistemas de navegación que reciben las señales emitidas por los satélites y estiman la posición del usuario [9].

2.1.1 GPS

En la Figura 2.1 se observa que el sistema de posicionamiento global es una constelación de 27 satélites que se encuentran distribuidos en 6 órbitas localizadas a una altitud de 20200 km cuyas trayectorias sincronizadas son casi circulares, con esto se cubre toda la superficie de la tierra.

Estos satélites orbitan alrededor de la tierra teniendo periodos orbitales de 11 horas con 58 minutos [7], además de 5 estaciones de monitoreo una de ellas ubicada en Hawái [10].

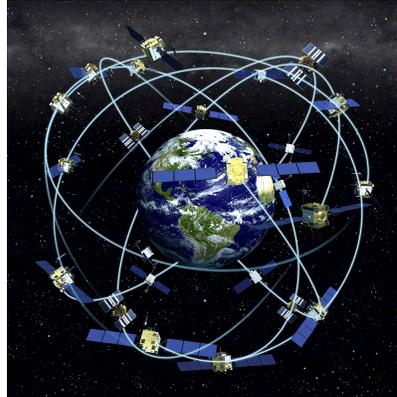


Figura 2.1 Constelación GPS

Esta constelación fue desarrollada por el departamento de defensa de los Estados Unidos y es considerado un sistema útil en cualquier tipo de clima. Fue creado con el objetivo de auxiliar a las fuerzas militares para determinar la posición en la que se encontraban los soldados, utilizando un sistema de referencia que los ayudaba a calcular su posición en un mapa [7].

Al haber 6 planos orbitales, el receptor puede tener constante comunicación con al menos 3 satélites, la comunicación se da a través de radio señales las cuales contienen la posición en el espacio del satélite, así como el tiempo exacto en el que es enviada la señal. A partir de estas señales es posible determinar la posición en términos de latitud y longitud, el problema es que se requiere de 4 satélites para que la estimación de la posición no presente un margen de error amplio, como se muestra en la Figura 2.2. Lo anterior se debe a que la precisión de la medición depende de la sincronización de los relojes y aunque se tienen estaciones de monitoreo.

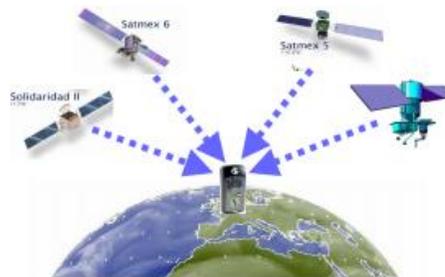


Figura 2.2 Estimación de la posición

Debido a que las señales emitidas por los satélites que conforman la constelación GPS deben llegar a la tierra, es necesario que atraviesen sus capas (como la atmosfera y la ionósfera) lo cual retrasa la recepción de la señal entre el satélite, ver Tabla 2.1. Otro factor que influye demasiado es la estructura de los edificios que rodeen al receptor, ya que los materiales influyen en la atenuación. Algunos factores de atenuación se describen la Tabla 2.2.

Tabla 2.1 Errores en la precisión del GPS.

Fuente	Efecto
Ionosfera	±3m
Reloj satelital	±2m
Distorsión multibandas	±1m
Troposfera	±0.5m
Errores numéricos	±1m o menos

Tabla 2.2 Atenuación de la señal satelital por algunos materiales [8].

Nivel de Atenuación	Material	dBm
Baja	Madera	1 – 3 dBm
	Yeso	
	Plásticos y materiales sintéticos	
	Cristal	
Media	Pared de ladrillos	5 – 12 dBm
	Agua	
	Personas	
	Mármol	
Alta	Hormigón	15 – 25 dBm
	Papel grueso	
	Cristal antibalas	
Muy alta	Metales	>30 dBm
	Materiales plateados (espejos)	
	Hormigón reforzado	

Existe una mejora al GPS llamado GPS diferencial [10]. Este sistema proporciona a los receptores de GPS correcciones sobre los datos recibidos, para ello se realiza un proceso el cual consiste en colocar un receptor en una ubicación conocida. Esta posición será conocida como una estación base o referencia, en tanto que el otro receptor es el que tendrá el usuario; entre estos receptores se hará una comparación de señales, entre la posición de referencia y la posición del receptor. A partir de las diferencias se corrigen los errores producidos en la precisión del GPS, lo anterior se muestra en la Figura 2.3.

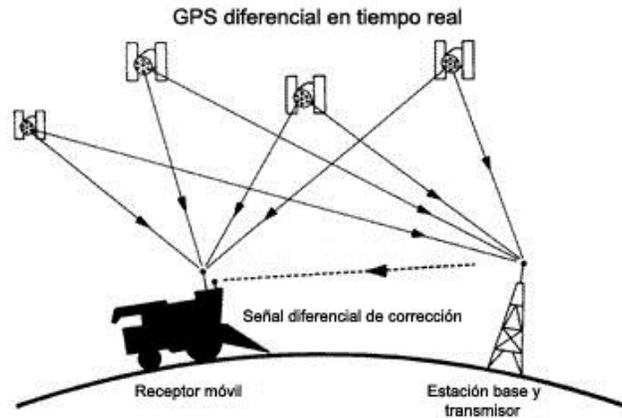


Figura 2.3 GPS Diferencial.

2.1.2 GLONASS

Es un sistema de navegación satelital formado por la unión soviética (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), actualmente el sistema está compuesto por 24 satélites distribuidos en tres planos orbitales a una altitud de 19 130 km sobre la tierra [9] [7], ver Figura 2.4.

El centro de control en la tierra del sistema se encuentra en Moscú y las estaciones de rastreo están en las fronteras de la federación rusa.

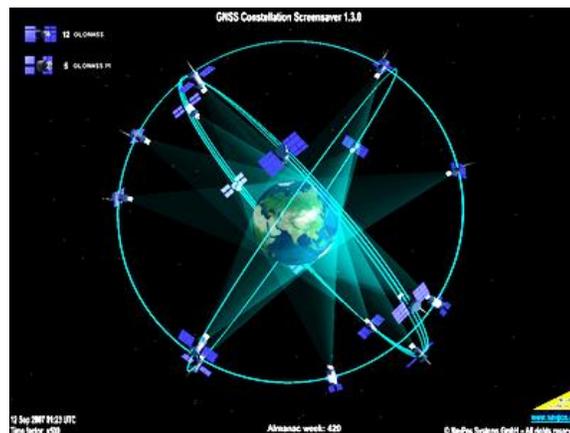


Figura 2.4 Constelación de satélites GLONASS.

2.4 Redes Móviles

2.4.1 Redes inalámbricas

La industria de los dispositivos móviles ha crecido en los últimos años y juegan un rol muy importante en nuestras rutinas diarias, reflejándose en un incremento en la demanda de los servicios libres de cableado y el servicio de internet en lugares públicos, en casas y oficinas

Una red inalámbrica se caracteriza por la interconexión de computadoras o nodos sin la necesidad de una conexión cableada [3] [11] [12]. Estas redes se dividen en dos clases:

- Red basada en infraestructura: Este tipo de redes funcionan a partir de un dispositivo central o punto de acceso el cual actúa como puente entre la red cableada y los dispositivos móviles [13].

Ejemplos de estas redes inalámbricas son las que encontramos en los aeropuertos, las oficinas, los hogares y los hospitales donde los clientes se conectan a internet con la ayuda de un punto de acceso, como se muestra en la Figura 2.5.

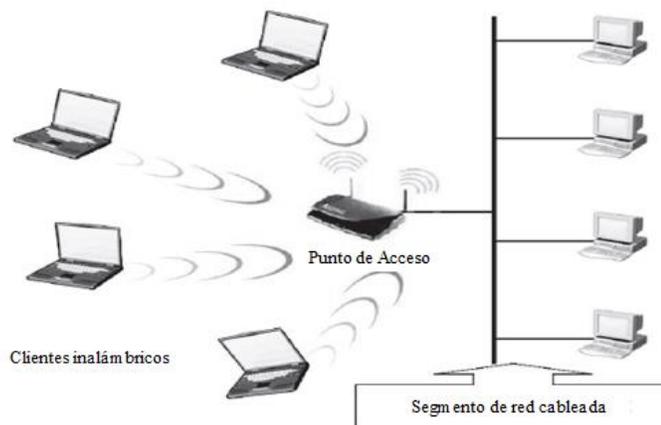


Figura 2.5 Red Inalámbrica basada en infraestructura.

- Red libre de infraestructura: Este tipo de red también suele ser llamada red inalámbrica Ad Hoc, la palabra puede traducirse como improvisado o no organizado. Esta red se utiliza para conectar clientes sin la necesidad de un punto de acceso, una conexión cableada existente o un dispositivo central [13].

Ejemplos de este tipo de redes se pueden encontrar en dispositivos interconectados entre sí. Por ejemplo, en el envío de información de un dispositivo a otro dispositivo, la comunicación es realizada peer to peer, es decir los dispositivos son los encargados de la organización del envío y recepción de los datos, ver Figura 2.6.



Figura 2.6 Red Inalámbrica Ad Hoc.

2.4.2 Redes MANET

También conocidas como redes inalámbricas Ad Hoc, son una colección de dos o más dispositivos inalámbricos que tienen la capacidad de comunicarse sin la ayuda de ningún administrador centralizado donde los nodos se pueden mover libremente. Estas redes se caracterizan por ser flexibles, ya que deben ser capaces de soportar cambios topológicos debido a que no tienen una administración centralizada [13] [3]. En este tipo de redes, cada nodo tiene la función de cliente y de servidor.

La topología de este tipo de redes es dinámica, ya que la conectividad de los nodos varía debido a la movilidad de la red, esto incluye la salida o la llegada de nuevos nodos a la red ya que los nodos presentes deben ser capaces de detectar nuevas presencias, así como el tipo de servicio del nodo.

En este tipo de redes los nodos son libres de moverse y seguir conectados a la red (siempre y cuando se respete el límite de distancia establecido por la norma IEEE 802.11) ya que no se tiene una infraestructura y el objetivo principal es el soporte robusto y eficiente de las redes móviles incorporando la funcionalidad de ruteo en los nodos móviles. También existen nodos semi-móviles que pueden ser utilizados en áreas donde tal vez puede ser necesario un nodo temporal central [13].

La flexibilidad de este tipo de redes permite que puedan ser aplicadas en diversos campos y gracias al aumento de los dispositivos portátiles se pueden generar nuevos servicios para diferentes entornos como los que se mencionan a continuación [13]:

- Militar: Una red Ad Hoc puede ser útil en el establecimiento de comunicación dentro de un grupo de soldados de operaciones tácticas para mantener la comunicación entre soldados, vehículos y grupos de táctica.
- Salud: Los equipos médicos pueden utilizar este tipo de redes en operaciones de rescate, ya que se requiere estar en constante y efectiva comunicación y en este tipo de operaciones existe un constante movimiento en los nodos.

- Laboral: Estas redes pueden ser utilizadas para compartir información entre participantes de conferencias, clases virtuales y reuniones. Adicionalmente, los dispositivos (nodos) pueden hacer uso de servicios sin necesidad de la conexión de cables.
- Juegos: Dentro de los juegos se pueden formar pequeños grupos de dispositivos para jugar en conjunto sin necesidad de tener un nodo centralizado.

2.4.3. Redes de Sensores

Las redes de sensores o WSN (*Wireless Sensor Networks*) son redes que están compuestas por una gran cantidad de sensores móviles. Estos sensores sirven para poder revisar constantemente cierto tipo de fenómenos, para ello, cuentan con un procesador y con una memoria que les permite procesar los eventos para determinar los cambios detectados [14]. En este tipo de redes, los sensores pueden ser colocados cerca de donde se prevé que ocurra el evento o estos solo son colocados para que puedan estarse comunicando entre ellos para el envío de datos; adicionalmente, monitorean aplicaciones censando diferentes propiedades físicas entre las que figuran el movimiento y la presencia de nuevos nodos. Este tipo de redes puede ser auxiliar en el proceso de la ubicación de un dispositivo, como se ilustra en la Figura 2.7.

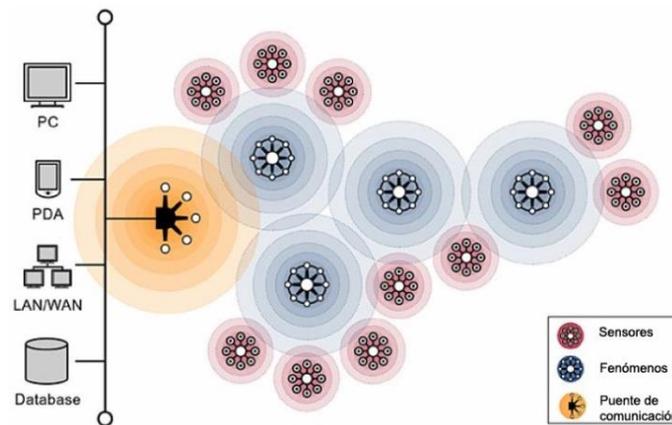


Figura 2.7 Red de sensores.

Para formar una red de este tipo es necesario considerar que los sensores pueden no tener un diseño o una infraestructura predeterminada (red libre de estructura), ya que esto va a permitir un despliegue aleatorio en caso de que lo necesite, estas redes deben ser capaces de auto-organizarse en caso de que se necesite [15].

A pesar de que las redes Ad Hoc y las redes de sensores son consideradas redes libres de estructuras, existen varias diferencias entre ellas:

- Los sensores son propensos a fallos.
- La topología de una red de sensores cambia frecuentemente.

- Para la comunicación en las redes de sensores se utiliza el *broadcast*, mientras en que en las redes Ad Hoc se utiliza comunicación punto a punto.
- Los sensores tienen limitaciones en cuanto a la potencia de procesamiento con la que cuentan.

2.4.4. Sistemas de localización en redes inalámbricas.

La mayoría de los sistemas de información están formados por tres componentes, en los que se aplican diversas técnicas para la obtención de datos o la estimación de información (como es distancia, ángulos), que pueden ayudar a determinar el posicionamiento de un nodo. Es importante aclarar que algunos de los componentes solo se encargan de la obtención de datos, en tanto que otros aplican diversas técnicas a los datos obtenidos para calcular la ubicación. Estos componentes se ilustran en la Figura 2.8 y son los siguientes:

- Estimación de ángulo distancia.
- Procesamiento de la posición.
- Algoritmos de localización.

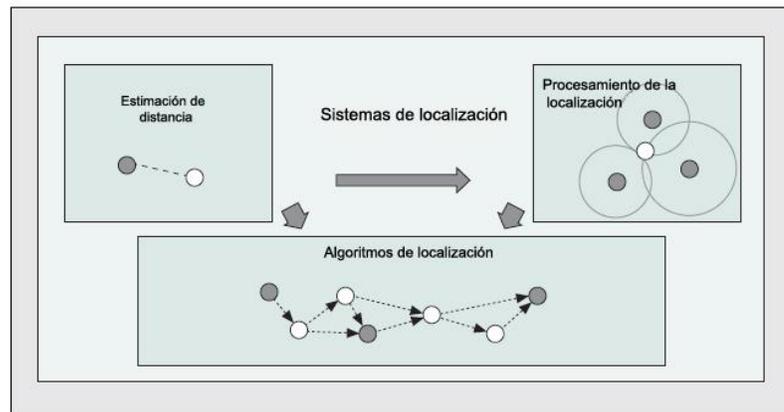


Figura 2.8 Componentes de los sistemas de localización.

2.4.4.1 Estimación de distancia/ángulo.

Este componente es el encargado de realizar los cálculos necesarios que pueden ser utilizados por los algoritmos de localización para poder obtener información sobre las distancias o ángulos entre dos nodos como son la intensidad de señal y medidas de tiempo. La información resultante de los cálculos podrá ser utilizada por los algoritmos de localización; algunos de los cálculos que son ejecutados son muy precisos pero representan grandes inversiones de hardware y de recursos de procesamiento [15].

- *RSSI*: Muchos algoritmos utilizan el indicador de la intensidad de señal para poder calcular distancias entre nodos. Teóricamente, la intensidad de la señal es inversamente proporcional al

cuadrado de la distancia, pero al momento de llevar este concepto a la práctica se sabe que la intensidad de señal puede resultar afectada por diversos factores decrementando su potencia, haciendo que el cálculo de la distancia no sea exacto y que la propagación de la señal no se realice de forma radial.

La principal ventaja de este método es el bajo costo de implementación, ya que cualquier dispositivo móvil puede tener acceso a la intensidad de la señal que recibe. En la literatura, este tipo de métodos son conocidos como métodos de calibración, los cuales aplican fórmulas [17], promedios de intensidades de señal en varios puntos con diferentes obstáculos [18] y atenuación por materiales [4].

Los resultados de estos métodos varían en cuanto a la precisión, dado que las señales de cada antena se ven afectadas por los diferentes tipos de ruidos que hay en el ambiente, además se debe considerar lo descrito en la Tabla 2.2, los materiales influyen en la atenuación de la señal.

- *Tiempo de llegada:* Se maneja como ToA (*Time of Arrival*), este método se encarga de estimar la distancia entre dos nodos utilizando el tiempo que tarda la propagación de la señal. En [15] se maneja que la distancia entre dos nodos es directamente proporcional al tiempo que la señal tarda en llegar de un nodo a otro, por lo tanto se puede utilizar la ecuación 2.1.

$$d = s_r (t_2 - t_1) \quad (2.1)$$

Donde:

d es la distancia que se desea conocer.

s_r es la velocidad de propagación.

t_1 y t_2 son el tiempo en que la señal es enviada y recibida, respectivamente.

Al igual que en otros métodos que persiguen el mismo fin, se requieren tres antenas para poder conocer con más precisión la ubicación. Al utilizar el proceso en cada antena, se aplica un algoritmo de trilateración para poder calcular la posición.

Este método puede ser aplicado a partir de la medición del tiempo de una sola señal hacia muchos nodos o el tiempo de múltiples señales hacia un solo nodo. Los errores de este método se ubican en un intervalo pequeño.

Existe una variante de este método el cual es llamado diferencia de tiempo de llegada o TDoA [15] [3]. Esta técnica utiliza el tiempo de arribo absoluto a las antenas base, este método calcula la diferencia de tiempos formando hipérbolas las cuales al intersectarse determinan la posición.

- *Ángulo de llegada:* este método se encarga de calcular el ángulo o dirección de la que proviene una señal, este cálculo se hace a través de un conjunto de antenas (por lo regular 3 antenas) que se encuentran separadas uniformemente [15].

La forma de operar de este método parte de la detección de un nodo móvil que se encuentre en línea de vista de alguna de las antenas, una vez que sucede lo anterior, el nodo le envía una señal a la antena, con esta señal la antena podrá determinar la dirección y a partir de esto podrá medir el ángulo, entre más antenas sean las que ayuden a determinar el ángulo más preciso será el proceso. Una vez que los datos han sido recolectados, éstos serán enviados a un procesador central que calcula la posición del nodo móvil [3] [16].

2.4.4.2 Procesamiento de la posición.

Cuando un nodo puede tener acceso a la información de las antenas, como distancias, ángulos o posiciones de las antenas restantes, se puede aplicar un método de posicionamiento, como es trilateración, multilateración, triangulación o métodos probabilísticos. La selección del método está fuertemente ligada con la información disponible y con la capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles.

- *Triangulación:* Es un método que se emplea para determinar la posición de un nodo móvil o punto de interés. El proceso que sigue para estimar tal posición es como se describe a continuación: un nodo que desconoce su posición estima su ángulo (dirección) a cada uno de los tres nodos referencia. Entonces, con base en los ángulos y posiciones de los nodos referencia (los cuales forman un triángulo), el nodo móvil estima su posición usando simples relaciones de trigonometría, leyes de senos y cosenos, lo cual se puede apreciar en la Figura 2.9 [3].

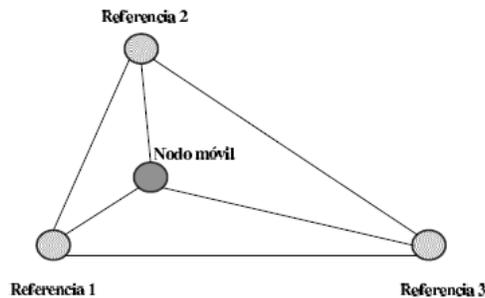


Figura 2.9 Método de triangulación.

- *Trilateración:* Es un método para determinar la posición relativa de nodos móviles u objetos usando la geometría de triángulos [3], similar al método de triangulación previamente descrito. Para estimar posición a través de trilateración, un nodo móvil requiere conocer la posición de tres nodos referencia (cuatro para espacios tridimensionales) y las distancias a cada uno de los nodos referencia, ver Figura 2.10.

Si distancia_1 , distancia_2 y distancia_3 son exactas, la posición del nodo móvil se determinará como el punto de intersección de los tres círculos. Si las distancias son imprecisas, entonces el nodo estará posicionado dentro de la región de intersección de los tres círculos. Cabe señalar que se

requiere que las antenas utilizadas no queden co-lineales ya que esto indeterminaría el sistema de ecuaciones utilizado por este método.

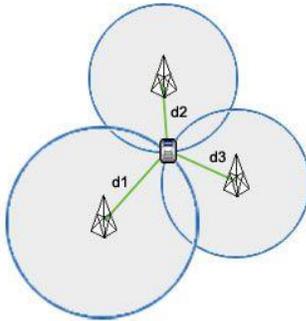


Figura 2.10 Método de trilateración

Las técnicas mencionadas anteriormente suelen ser ineficientes en el caso de las redes móviles, ya que estas son dinámicas y entonces las distancias suelen ser demasiado imprecisas y como consecuencia, la precisión del cálculo de posición presenta grandes márgenes de error

Existe otro tipo de métodos que pueden ser utilizados en el cálculo y determinación de la posición, los cuales son conocidos como métodos probabilísticos. Son pocos los métodos que se conocen de esta categoría, sin embargo en [15] se hace énfasis en los principales inconvenientes de estos métodos. Entre estos inconvenientes se encuentran el alto costo computacional, así como el uso de espacio de almacenamiento para poder tener acceso a los datos de la red.

Dentro de los métodos probabilísticos existe uno llamado *multilateración probabilística* [3], este método es novedoso y aún no se encuentra implementado en dispositivos móviles. Esta técnica se utiliza para determinar la posición de un objeto basándose en la posición de tres o más referencias o antenas, además del uso de las distancias hacia ellas, el objetivo de esta técnica es resolver los errores que llega a presentar el método de trilateración.

2.4.4.3 Algoritmos de localización

El algoritmo de localización es el principal componente de un sistema de localización, existen requerimientos que un algoritmo de posicionamiento debe satisfacer [19]:

- Debe ser distribuido, ya que la red en la que se puede llegar a implementar puede ser grande, con poca memoria y con un ancho de banda muy bajo, además, las grandes redes hacen que la centralización del algoritmo sea difícil de trabajar.
- Debe considerar que debido a que es implementado sobre un dispositivo o nodo móvil, el tiempo de uso de la batería se puede ver afectado o influenciado por el procesamiento del algoritmo.
- El algoritmo de localización debe funcionar incluso si alguna parte o la red entera es desconectada, es por esto que se hace uso de una estación base en la cual se podrán tener los datos de la red almacenados.

Dentro de la literatura se manejan diversos tipos de algoritmos, los más mencionados son los algoritmos distribuidos y centralizados; en los primeros, se envían los datos de cada nodo a una estación base, la cual se va a encargar de realizar el cómputo para poder estimar la ubicación. La ventaja de estos algoritmos radica en que no se hace un procesamiento en el nodo, en tanto que la principal desventaja parte del alto costo de comunicación entre los diferentes nodos de la red y la estación base. En el segundo tipo de algoritmo, se elimina el costo de comunicación, ya que la carga de procesamiento es distribuida entre todos los nodos de la red y cada nodo se encarga de determinar su posición, la principal ventaja de estos algoritmos es que son más eficientes ya que no se necesita enviar ningún tipo de datos a una unidad centralizada, ni se requiere la respuesta de algún nodo para proceder con el procesamiento de la información. Este tipo de algoritmos no es recomendado para redes muy amplias, ya que resulta difícil la implementación debido al poco procesamiento computacional que tienen los nodos [3].

También se hace mención de algoritmos para interiores o exteriores, basados en nodos referencia o que utilicen distancias [15].

2.4.3.3.1 DV- Hop

En [19] y [3] se habla del algoritmo DV-HOP, que es un algoritmo para estimar la posición de un nodo en tres etapas:

- En la primer etapa, cada nodo determina la distancia hacia los nodos restantes a partir de los saltos que pueden efectuar hacia los mismos, cada nodo tendrá una tabla donde se registrará la coordenada actual y el número de salto.
- Una vez que cada nodo cuenta con una tabla de saltos, estos saltos contemplan la cantidad de vecinos con los cuales se debe enlazar para poder llegar a un objetivo. Al tener estos datos se aplica la ecuación 2.2, la cual ayudará en el cálculo de las distancias euclidianas hacia los nodos.

$$c_1 = \frac{\sum \sqrt{(x_1 - x_j)^2 + (y_1 - y_j)^2}}{\sum h_1} \quad (2.2)$$

- En la tercera etapa se aplica el método de trilateración para determinar la posición final.

Este algoritmo se caracteriza por no hacer uso de técnicas de calibración o de medición de intensidad de señal. Sin embargo, suele dar mejores resultados si es aplicado en una red donde sus propiedades son iguales en todas las direcciones, ya que debe contar saltos para obtener un cálculo más preciso.

2.4.3.3.2 Amorphus

Al igual que DV-Hop, este algoritmo también utiliza los saltos. El primer paso consiste en determinar la distancia en saltos, es decir, hace un cálculo de los saltos que se necesitan para llegar a cualquier nodo; una vez hecho lo anterior, los nodos comparten la información solo con sus vecinos, en el tercer paso se aplica el algoritmo de trilateración.

La principal diferencia con DV-Hop es que en este algoritmo lo recomendable es que se conozca la intensidad de señal para que se pueda tener como base en el cálculo de los saltos [3] [20].

2.4.5 Aplicaciones existentes.

En la literatura se encuentran algoritmos que intentan solucionar el problema del posicionamiento aplicado en redes móviles. Sin embargo, estos algoritmos solo han sido probados en escenarios completamente simulados bajo condiciones ideales.

Por otra parte, existen aplicaciones que hacen uso de los sensores de los dispositivos móviles para mejorar la ubicación dada por el GPS para poder usarla en interiores o poder tener una mayor precisión, como es el caso de [21], donde se propone un algoritmo el cual está basado en tres puntos:

- Detectar la dirección en la que se mueve: para esto se utiliza la brújula integrada en el teléfono inteligente.
- Se obtiene la distancia recorrida: esta se calcula haciendo la suma de las distancias de coordenadas obtenidas por el GPS.
- Se realiza una estimación combinando los datos del GPS con los obtenidos anteriormente.

Además de los 3 puntos mencionados, se aplica la ecuación 2.3, donde se hace uso de los datos que se obtienen a partir de los sensores del dispositivo.

$$x_n = (x_{n-1} + d_n + a_n)/(n + 1) \quad (2.3)$$

Donde:

a : el valor arrojado por la brújula del dispositivo móvil.

n es el número de mediciones realizadas.

d_n es la distancia entre el punto anterior y la nueva medición.

Para demostrar el correcto funcionamiento de esta aplicación el autor realizó un recorrido a través del campus de la Universidad Católica de Korea del Sur obteniendo el resultado de la Figura 2.11.



Figura 2.11 Resultados en el uso de sensores para la mejora de posición.

En el caso de [22], Joshva Devadas propone solucionar los grandes márgenes de error en el uso del GPS con la limpieza de datos (*data cleaning*). Este método busca remover los datos erróneos ya sea porque los datos son de calidad muy baja o porque contienen demasiado ruido. La principal ventaja de este tipo de sistemas o métodos es que al ayudarse de sensores del dispositivo móvil el error se reduce hasta 8 metros.

También en la literatura se encuentran trabajos que utilizan redes de sensores (WSN) o con redes Ad Hoc; dentro de las redes de sensores aparecen dos sistemas, en [23], Wang menciona un algoritmo de localización para las redes de sensores (*SPA – Self Positioning Algorithm*) donde se utiliza una matriz de transformación. El autor menciona que el principal problema de localización en las redes de sensores, es la obtención de la información de las ubicaciones de todos o de un subconjunto de estaciones

Este algoritmo puede ser utilizado en redes de sensores, donde cada nodo establece su sistema de coordenadas locales seguido por otros dos nodos que están comunicados entre ellos, entonces cualquier otro nodo puede ser localizado si la distancia a los otros nodos puede ser estimada por saltos. El establecimiento de las coordenadas se despliega en dos fases:

- Se establecen coordenadas locales de un subconjunto de nodos.
- La convergencia de los sistemas individuales de coordenadas junto con los sistemas de coordenadas globales.

La desventaja del SPA es que el costo de la comunicación y el tiempo crecen exponencialmente con el número de nodos, ya que cada nodo individual participa en el proceso de construcción del sistema de coordenadas local. Para poder aplicar SPA se deben cumplir los siguientes puntos:

- Todos los sensores son estacionarios, por lo que la topología de la red es fija.
- No existen los puntos de referencia en la red.

- Todos los sensores son homogéneos, tienen las mismas características y el mismo rango de transmisión.
- Todos los sensores tienen energía suficiente para ejecutar un algoritmo de localización.
- Cuentan con una antena omnidireccional.
- Los links entre los sensores son bidireccionales.
- No existen estaciones bases para coordinar o supervisar las actividades de los sensores.

La topología en las redes de sensores solo puede cambiar por dos motivos:

- Algunos sensores se apagan o entran en estado de inactividad periódicamente.
- Algunos sensores son suplantados por mantenimiento para el trabajo eficiente de la red.

Para poder construir el sistema de coordenadas se siguen los siguientes pasos:

- Cada sensor decrementará su tiempo de vida
- Si el nodo i expira, enviara un mensaje con un factor $\alpha \geq 1$ donde notifica que ahora es un nodo maestro, un nuevo punto focal en clustering.
- Todos los nodos en el rango de comunicación de i reciben un mensaje convirtiéndose en nodos esclavos.
- Una vez que se establecieron los nodos esclavos se envía un segundo mensaje a los nodos vecinos donde se envía la distancia entre dos nodos.
- Los nodos que escuchan del resto de los nodos maestros y son conocidos como nodos borde.
- El algoritmo termina cuando el tiempo de espera de todos los sensores es eliminado.

Mientras que en [24], Akcan y Brönnimann proponen un algoritmo de localización en redes de sensores con nodos móviles que favorece la rápida localización y cálculo de la distancia entre los nodos y su vecindario, además de que trabaja para cualquier tamaño de red. Este algoritmo contempla las siguientes restricciones:

- Cada nodo contará con una brújula que apuntará hacia una dirección de referencia.
- Los nodos pueden medir la distancia a sus vecinos utilizando ToA y AoA.

- Existirán módulos centrales los cuales almacenarán información y harán cálculos.

El algoritmo inicia con el cálculo de la distancia entre los nodos y sus vecinos, acto seguido empieza un movimiento de nodos para poder calcular tiempos de llegada, ángulos de llegada; para finalmente computar la información y entregar una coordenada.

Cabe señalar que los dos algoritmos anteriormente mencionados han sido probados en escenarios simulados, ninguno ha sido implementado para ser probado y comparado en un dispositivo móvil.

2.4.5.1 Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización

Partiendo de que son escasos los sistemas móviles que apoyen el servicio de la localización y que contemplen las fallas de GPS o de los métodos de trilateración se propone la implementación de un sistema para un dispositivo móvil con sistema operativo Android, el cual implemente el método de multilateración probabilística. Para lograrlo el sistema estará compuesto por las etapas que se muestran en la Figura 2.12:

- *Recolección de datos:* En esta etapa se recolectan los datos sobre las antenas del área en la que se vaya a trabajar.
- *Calibración:* En esta etapa se aplica la transformación de intensidad de señal (RSSI) a distancia, con la ayuda de los datos recolectados previamente.
- *Métodos de posicionamiento:* En esta etapa es implementado el algoritmo probabilístico llamado "Multilateración probabilística" propuesto en [3], para poder comparar la precisión de este algoritmo también se implementará el uso del GPS así como de la trilateración de las antenas.
- *Visualización:* En esta etapa se muestran los resultados obtenidos en la etapa de métodos de posicionamiento.

En Tabla 2.3 se muestra un resumen de los métodos que fueron descritos a lo largo del presente capítulo.

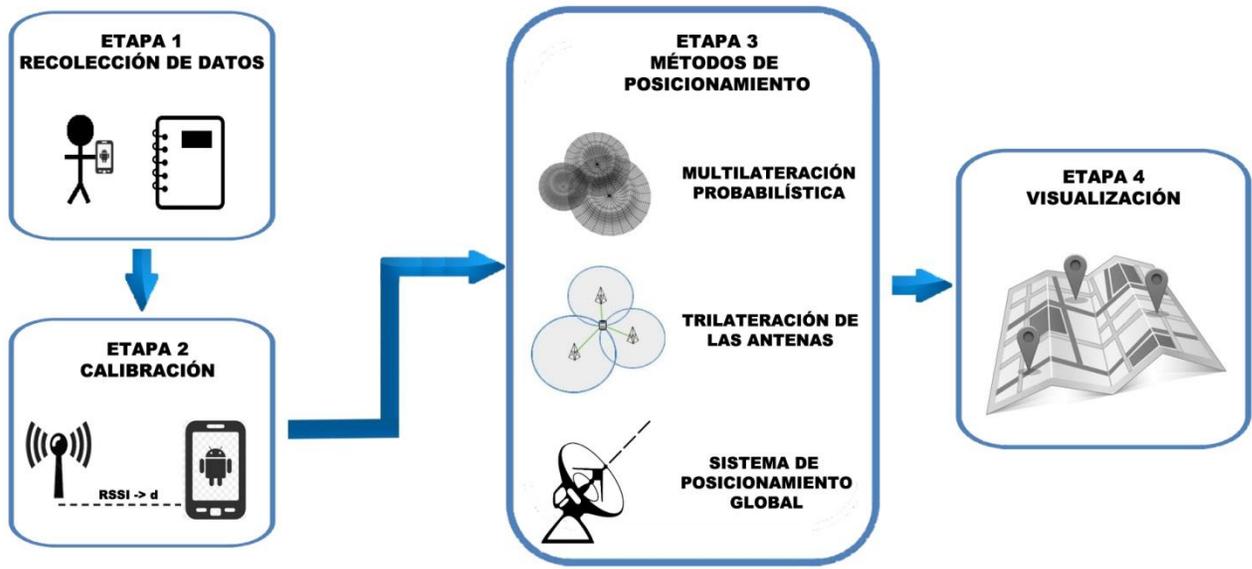


Figura 2.12 Sistema ubicuo para el soporte de servicios de localización.

Tabla 2.3 Comparaciones Generales del estado del arte.

Tipo de red	Método	Algoritmo usado	Interiores/exteriores	Extras	Implementado en dispositivo móvil	Referencia
WSN	SPA (Self Positioning Algorithm)		Interiores/exteriores	Red de sensores simulada, sistema de coordenadas propio.	No	Lei, W., & Qingzheng, X. (2010). GPS-Free Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks Sensors
	Algoritmo de localización en WSN con nodos móviles		Interiores/exteriores	ToA, AoA, escenario simulado de red de sensores	No	Akcan, H., Kriakov, V., Brönnimann, H., Delis, A., (2006). GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks.
AdHoc	DV-Hop	Trilateración	Interiores /Exteriores	Utiliza las antenas en el alcance.	No	Niculescu, D., Nath, B. (2003). DV Based Positioning in Ad hoc Networks.
	Trilateración		Interiores/Exteriores	Antenas no colineales	Si	Pineda Briseño, A. (2013). <i>Enrutamiento y posicionamiento integrado en redes móviles Ad Hoc.</i>
	GPS	Trilateración	Exteriores	Vulnerabilidades hacia el medio ambiente y estructuras de edificios	Si	Jin, S., Cardellach, E., Xie, F., (2013). Introduction to GNSS.
	Mejora de Lecturas GPS	GPS	Exteriores	Utiliza los sensores de los dispositivos.	Si	Hwang, S., Yu, D. (2012). GPS localization improvement of Smartphones Using Built-in Sensors.

Capítulo 3

“Metodología”

El objetivo de este capítulo es presentar cada una de las etapas en las que está compuesto el sistema propuesto que resuelve el problema presentado en el capítulo 1.

En este capítulo se detalla a fondo los métodos que fueron utilizados, describiendo su función en el sistema propuesto.

3.1 Introducción

Para poder cumplir con los objetivos principales de este sistema se deben llevar a cabo diversas etapas que serán descritas a continuación. Cabe señalar, que estas fueron realizadas considerando que el sistema final se ejecuta en un dispositivo móvil que cuente con sistema operativo Android con versión 2.3 o superior. Adicionalmente, el dispositivo se encuentra dentro del área de la unidad profesional “Adolfo López Mateos” comprendida por la Escuela Superior de Cómputo, el Centro de Investigación en Computación y el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo.

3.2 Etapa 1 – Recolección de datos

Esta etapa se maneja, bajo el principio de que existe un conjunto de antenas en el área de trabajo y prueba, de las cuales se obtienen los datos de las mismas, como son la dirección MAC, la longitud y la latitud de su ubicación, quedando el registro de cada antena de la siguiente manera: 00:00:00:00:00:00,-19.45454545,99.234323423.

Las limitaciones de esta etapa están dadas por los siguientes puntos:

- En el caso de los centros de investigación y las escuelas, solamente serán consideradas las antenas oficiales, es decir, las antenas ajenas a la institución no serán consideradas.
- Las coordenadas (latitud, longitud) deberán estar en grados-decimales.

3.3 Etapa 2 – Calibración

Como bien se mencionó en el capítulo anterior, la calibración es un método el cual estima distancias entre dos dispositivos inalámbricos con base en la intensidad de señal (RSSI) que hay entre los mismos, lo cual se ilustra en la Figura 3.1. Para este sistema se propone el uso de tres tipos de calibración: por atenuación, por promedio o directa. En los tres casos, se considera una atenuación diferente, la atenuación es la pérdida de potencia sufrida por una señal al transitar por cualquier medio.

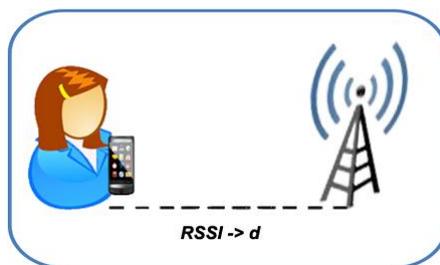


Figura 3.1 Visión general de la calibración.

3.3.1 Calibración directa.

En [17] se propone un tipo de calibración para la estimación de la distancia basada en la intensidad de señal de una red (RSSI). Este tipo de calibración contempla valores fijos de pérdidas de intensidad de señal en la trayectoria, más un sesgo detectado. Cabe aclarar que esta calibración fue diseñada para entornos interiores donde los nodos están libres de interferencias y el entorno no influye en el cambio de valores, y todos se encuentran a la misma altura.

Dado que la intensidad de señal (*RSSI*) tiene una relación lineal con el logaritmo de la distancia, se calcula de la siguiente manera:

$$RSSI = 10 \log(P) \quad (3.1)$$

Donde *P* es la potencia de la señal recibida y dado que la potencia de señal es inversamente proporcional a la distancia, adquiere el valor que se indica en la Ecuación 3.2:

$$P = \frac{1}{D^n} \quad (3.2)$$

Sustituyendo la Ecuación 3.2 en la Ecuación 3.1:

$$RSSI = 10 \log\left(\frac{1}{D^n}\right) \quad (3.3)$$

$$RSSI = -10 \log(D^n) \quad (3.4)$$

Donde se puede aplicar la propiedad descrita en la Ecuación 3.5:

$$\log_a m^n = n \log_a m \quad (3.5)$$

Por lo cual se obtiene la Ecuación 3.6:

$$RSSI = -10n \log D \quad (3.6)$$

Donde *n* es el factor de pérdida que está dado por la Ecuación 3.7:

$$n = \frac{m}{10} + C \quad (3.7)$$

Sustituyendo la Ecuación 3.7 en la Ecuación 3.6:

$$RSSI = \frac{-10m}{10} \log D + C \quad (3.8)$$

$$RSSI = -m \log D + C \quad (3.9)$$

Al despejar *D* de la ecuación 3.9:

$$RSSI - C = -m \log D \quad (3.10)$$

$$\frac{RSSI - C}{-m} = \log D \quad (3.11)$$

$$D = 10^{\frac{RSSI-C}{-m}} \quad (3.12)$$

Donde:

D es el valor de distancia a calcular (m).

$RSSI$ es la intensidad de señal registrada en el momento de la lectura (dBm).

C es una constante para reducir el error, esta constante fue obtenida por el autor que propone el método(-35.289).

m es el factor de pérdida de intensidad en la trayectoria (-26.4432 dB).

Ejemplo.

Suponga que se tiene un valor de -60 dBm, al sustituir el valor en la Ecuación 3.12:

$$D = 10^{\left(\frac{-60 - (-35.289)}{-26.4432}\right)} \quad (3.13)$$

$$D = 8.60 \text{ m} \quad (3.14)$$

3.3.2 Calibración por atenuación

En [4] se propone un método de calibración por atenuación en el cual se realiza un conteo de paredes, techos y pisos. En este método es necesario conocer información predefinida del área del trabajo, como son la afluencia de personas en el área, la existencia de equipos de cómputo, el material de las puertas, de las paredes, entre otros puntos. Al conocer estos datos, se podrá hacer un despeje y se aplicará el método para la obtención de los valores:

$$L(d) = l_0 + 10\alpha \log_{10}(d) + WAF + FAF \quad (3.15)$$

Donde:

$L(d)$ Es la intensidad de señal en el punto en que se realiza la calibración ($RSSI$ dBm).

l_0 Es la pérdida de trayectoria a la distancia de un metro (-10.06 dBm¹).

α Es el factor de atenuación del aire (1.45 dB²).

d Distancia a calcular (m).

¹ Valor propuesto por el autor del artículo.

² Valor propuesto por el autor del artículo.

WAF (Wall Attenuation Factor), es el valor de atenuación de los materiales que componen las paredes que en promedio deberá atravesar la señal de la red.

FAF Floor Attenuation Factor, es el valor de atenuación de los materiales que componen el suelo y/o techo que debe cruzar la señal.

Para el caso de esta calibración se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el caso de WAF se contempló una pared de cristal (-6 dBm), una puerta de madera (-3 dBm), una pared de concreto (-4 dBm), personas (-3 dBm), equipos de cómputo (-5 dBm).
- En el caso de FAF se contempló que la construcción del edificio considera través de metal, partes de cemento y detalles de madera, lo cual da una atenuación de -20 dBm.
- Al menos una señal debe atravesar un piso y un bloque de paredes.

Al despejar d de la Ecuación 3.15:

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI + WAF + FAF - l_0}{10\alpha}\right)} \quad (3.16)$$

Al sustituir valores en la Ecuación 3.16:

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI + (-21 \text{ dBm}) + (-20 \text{ dBm}) - (-10.06 \text{ dBm})}{10 (1.45 \text{ dB})}\right)} \quad (3.17)$$

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI - 41 \text{ dBm} + 10.06 \text{ dBm}}{14.5 \text{ dB}}\right)} \quad (3.18)$$

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI - 30.94 \text{ dBm}}{14.5 \text{ dBm}}\right)} \quad (3.19)$$

Ejemplo.

Si la lectura de la intensidad de señal (RSSI) en el dispositivo móvil arroja un valor de -60 dBm, sustituimos el valor en la Ecuación 3.19:

$$d = 10^{\left(\frac{-60 \text{ dBm} - 30.94 \text{ dBm}}{14.5 \text{ dB}}\right)} \quad (3.20)$$

$$d = 10^{-6.2718 \text{ m}} \quad (3.21)$$

$$d = 5.34905 \text{ m} \quad (3.22)$$

Si comparamos el resultado obtenido en la Ecuación 3.14 con el resultado obtenido en la Ecuación 3.20, varía por 3.25 m, esto se debe a que el segundo método de calibración fue diseñado y probado para un escenario donde no existen interferencias es decir un escenario ideal.

3.3.3 Calibración por promedio.

En [18] se maneja una calibración a través de promedios; este procedimiento se realiza tomando tres diferentes medidas de la intensidad de señal de la baliza a una misma distancia, pero con diferentes obstáculos de por medio. Al analizar el campo en el que se iban a realizar las mediciones, se visualizó que el único obstáculo en común que podían tener era una pared. Por lo anterior, se tomaron 2 mediciones con paredes de por medio, como se ilustra en la Figura 3.7a y para la tercer medición que se realizó una lectura con una línea de vista limpia de obstáculos entre la antena y el dispositivo móvil, ver Figura 3.7b.

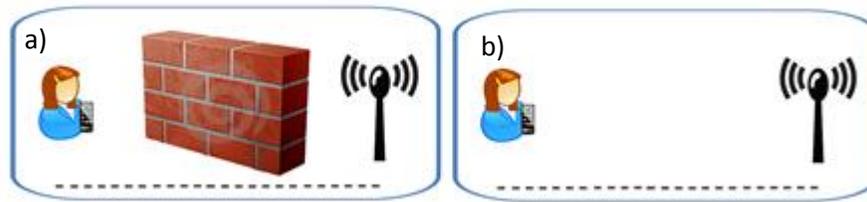


Figura 3.2 Mediciones “Calibración promedio”

Una vez que fueron registradas las medidas se relacionan con la dirección MAC de cada red y se genera un listado con los resultados obtenidos, como se muestra en la Tabla 3.1, donde se enlistan los valores que fueron medidos en las instalaciones del Centro de Investigación en Computación.

Tabla 3.1 Promedios antenas CIC

Dirección MAC	Distancia (m)	RSSI promedio (dBm)
58:6d:8f:e1:24:a6	4	-64
00:1f:45:46:c9:38	3	-43
00:1f:45:46:c9:30	3.5	-43
00:18:0a:50:3f:24	4.5	-40
20:99:4b:49:64:4b	4	-45
20:99:4b:49:64:4c	4	-47
00:1f:45:94:5a:f0	8	-67
00:1f:45:94:5a:f8	8.5	-61
00:1f:45:4a:ee:78	4.5	-55
00:1f:45:4a:ee:70	4.5	-55
20:aa:4b:49:64:78	5	-62
20:aa:4b:49:64:79	5	-60
00:1f:45:7f:f6:08	3	-44

00:1f:45:7f:f6:00	3	-50
00:1f:45:94:50:60	2.5	-50
00:1f:45:94:50:68	2.5	-40
00:1f:45:4a:e4:38	2	-37
00:1f:45:4a:e4:30	2	-43
00:1f:45:4a:e3:78	3	-43
00:1f:45:4a:e3:70	3	-45
00:1f:45:4b:c4:e0	3	-40
00:1f:45:4b:c4:e8	5	-41
00:1f:45:4a:fc:f8	6	-47
00:1f:45:4a:fc:f0	4	-50
00:1f:45:4b:c2:c0	4	-48
00:1f:45:4b:c2:c8	5	-46
00:1f:45:4b:03:e8	3.5	-40
00:1f:45:4b:03:e0	3.5	-50
00:1f:45:4b:c0:f8	3	-22
00:1f:45:4b:c0:f0	3	-25
00:18:09:50:a8:2c	2.5	-44
00:1f:45:4b:c6:30	2.5	-59
00:1f:45:4b:c6:38	2.5	-54
00:1f:45:4b:c8:c0	3	-52
00:1f:45:4b:c8:c8	3	-52
00:18:09:50:d1:a4	3	-45
00:18:0a:50:a0:52	3	-53
00:40:a0:01:35:d6	8	-83
00:24:56:19:f5:f9	4	-63
60:33:4b:e7:29:a1	4	-40
00:1a:70:78:0a:70	6	-47
00:14:78:d3:ef:ee	4	-50

3.4 Etapa 3 – Métodos de posicionamiento

Para este sistema se implementaron tres tipos de posicionamiento. El primer método, de multilateración probabilística, fue implementado como una técnica nueva que aún no está probada para los dispositivos móviles. Con el objeto de poder determinar la efectividad del método también se implementó el método de trilateración de las antenas y la interacción con el GPS.

3.4.1 Multilateración probabilística

En [3] se especifica que el objetivo principal de este método es estimar la ubicación de un nodo o dispositivo basado en tres o más balizas y las distancias hacia las mismas, además de resolver las deficiencias del método de trilateración y el margen de error del GPS.

Las principales propiedades de este método son:

- **Consistencia:** Este método puede hacer uso de un número indeterminado de antenas. Si existe un número grande de antenas no es necesario utilizar un subconjunto de las mismas.
- **Oposición a la colinealidad:** Dentro de los resultados experimentales mostrados en [3], la autora menciona que el método de multilateración probabilística puede producir estimaciones de posición razonablemente exactas sin importar la posición en el plano de las antenas.

En este método se establece que para cada antena o baliza se establecerá una función de densidad de probabilidad que será la encargada de estimar que tan posible es que ese nodo se encuentre en el radio de cobertura de la antena o baliza. Debido a que tanto las posiciones de las antenas como la del nodo que se determinará su posición son independientes, la probabilidad de encontrar un nodo en un punto (x, y) se puede calcular como el producto de las probabilidades definidas por el producto de n funciones de probabilidad (ver Ecuación 3.23). Donde, n es el número de antenas a considerar para determinar la ubicación.

$$P_B(x,y) = \prod_{i=1}^n P_i(x,y) \quad (3.23)$$

Una vez que se tiene la función de densidad de probabilidad se define una función Gaussiana que considera las distancias de las antenas a las balizas, como se describe en la Ecuación 3.24.

$$P_\beta(x,y) = \frac{1}{N_\beta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{(x-x_\beta)^2 + (y-y_\beta)^2} - \mu_\beta}{\sigma_\beta} \right)^2} \quad (3.24)$$

Donde:

N_β es una constante de normalización.

x_β, y_β son las coordenadas de la posición de la baliza β .

μ_β es la distancia estimada a la baliza β .

σ_β es un error proporcional a la estimación de la distancia.

x, y son las coordenadas a encontrar.

La ecuación anterior, formará una figura geométrica similar a la forma de una campana de Gauss. Al analizar esta figura se puede observar que contiene varios puntos máximos y se contempla que el centro de la figura es una antena. Esta ecuación deberá aplicarse para tres o más balizas, para poder determinar el punto en el que se encuentra ubicado el dispositivo, en la Figura 3.8 se puede visualizar la representación gráfica de tres funciones de probabilidad donde se puede determinar un punto para señalar la ubicación del dispositivo.

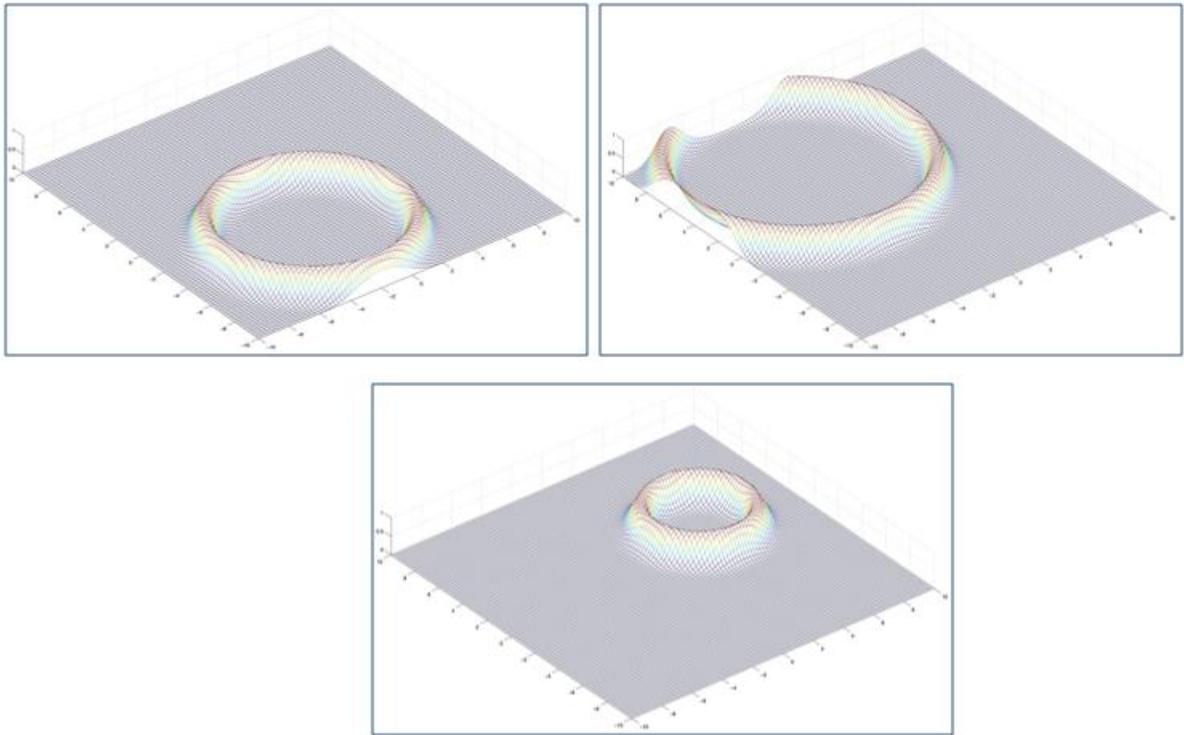


Figura 3.3 Figuras formadas por la ecuación de probabilidad.

Si aplicamos la Ecuación 3.24 para n balizas la fórmula quedaría de la siguiente manera, gráficamente la siguiente ecuación se visualiza en la Figura:

$$P_B(x, y) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{N_i} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (3.25)$$

Donde:

N_β es una constante de normalización.

x_β, y_β son las coordenadas de la posición de la baliza β .

μ_β es la distancia estimada a la baliza β .

σ_β es un error proporcional a la estimación de la distancia.

x, y son las coordenadas a encontrar.

n es el número de balizas a utilizar.

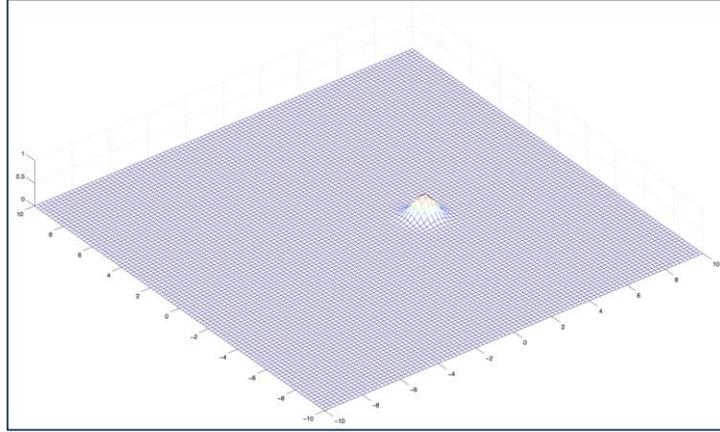


Figura 3. 4 Producto de las balizas

Al observar la Figura 3.8 podemos observar que al unirse las representaciones de la campana de Gauss se necesita obtener el punto máximo, para esto se deberá obtener la primera derivada con respecto a x y con respecto a y . Como resultado se obtienen las Ecuaciones 3.24 y 3.25.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \mu_i)(x-x_i)}{\sigma_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} = 0 \quad (3.26)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{(\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \mu_i)(y-y_i)}{\sigma_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}} = 0 \quad (3.27)$$

Donde:

x, y son las coordenadas a encontrar.

x_i es la coordenada en el eje x de la antena.

y_i es la coordenada en el eje y de la antena.

μ es el factor de error (0.25).

σ es la distancia entre la antena y el usuario.

Una vez que se han definido las ecuaciones, éstas serán resueltas utilizando el método Newton-Raphson [25] el cual es utilizado para encontrar las raíces de ecuaciones. Teóricamente, este método se basa en el trazo de rectas tangentes que tomen la forma de la función. Este método garantiza la

convergencia siempre y cuando se seleccione un valor de inicio similar o muy cercano a la raíz que se está buscando. Lo anterior se debe a que al trazar las rectas tangentes a la función original, se obtienen nuevos valores que son similares a los que se está buscando. El Algoritmo 3.1, muestra la implementación del método Newton-Raphson.

Entrada: aproximación inicial (p_0), tolerancia (TOL), cantidad máxima de iteraciones(N);

Salida: solución aproximada p o mensaje de fracaso;

Paso 1: Tomar i ;

Paso 2: Mientras que $i \leq N$ seguir pasos 3-6;

Paso 3: Tomar $p = p_0 - \frac{f(p_0)}{f'(p_0)}$

Paso 4: Si $|p - p_0| < TOL$ entonces SALIDA (p);

Paso 5: Tomar $i=i+1$;

Paso 6: Tomar $p_0 = p$;

Paso 7: SALIDA ('El método fracasó después de N iteraciones'); Parar.

Algoritmo 3.1 Método Newton-Raphson

3.4.2 Trilateración de antenas

El método de trilateración es empleado para determinar la posición de un nodo haciendo uso de las estimaciones de las distancias entre él y varias balizas que no se encuentren colineales. Una determinada configuración de antenas es considerada colineal si la ubicación de las antenas se encuentra en una misma línea recta, como se ilustra en la Figura 3.9.

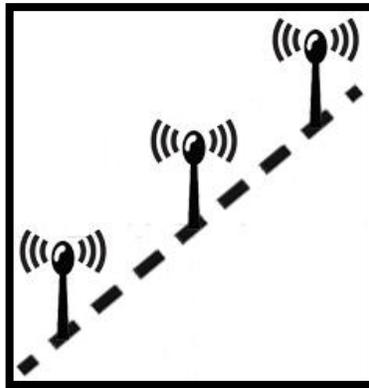


Figura 3.5 Antenas Colineales.

Matemáticamente, la trilateración está basada en la ecuación del círculo, misma que es aplicada a tres antenas formando las siguientes ecuaciones.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \tag{3.28}$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (3.29)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (3.30)$$

Estas ecuaciones pueden ser reducidas a las dos siguientes:

$$2(x_2 - x_1) \cdot x + 2(y_2 - y_1) \cdot y = \alpha \quad (3.31)$$

$$2(x_3 - x_1) \cdot x + 2(y_3 - y_1) \cdot y = \beta \quad (3.32)$$

Donde la ecuación 3.29 y la ecuación 3.30 son resueltas utilizando operaciones de matrices:

$$x = f(d_1, d_2, d_3) = \frac{\begin{vmatrix} \alpha & 2(y_2 - y_1) \\ \beta & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad (3.33)$$

$$y = g(d_1, d_2, d_3) = \frac{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & \alpha \\ 2(x_3 - x_1) & \beta \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \end{vmatrix}} \quad (3.34)$$

Las Ecuaciones 3.34 y 3.33 son resueltas a través de la regla de Cramer especificada en la ecuación 3.35.

$$x = \frac{\begin{vmatrix} e & b \\ f & d \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} = \frac{ed - bf}{ad - bc} \quad (3.35)$$

3.4.3 GPS

En esta fase de la metodología solo fue necesario implementar el dispositivo GPS en la aplicación, para poder hacer uso de él y comparar los resultados con los obtenidos en las dos técnicas anteriores.

3.5 Visualización

La parte de visualización, se dividirá en dos partes. En la primera, solo se mostrarán las antenas en la zona, para esto solo será necesario conocer la posición. Dada una posición de antena, se utiliza la Tabla 3.2 para determinar el color que le será asignada a la baliza en su visualización.

Tabla 3.2 Asignación de colores a las antenas.

Intensidad de señal (dBm)	Color	Equivalencia
0 dBm...-60 dBm	 Verde	Intensidad de señal buena
-61 dBm...-80 dBm	 Amarillo	Intensidad de señal media
-81 dBm...-100dBm	 Anaranjado	Intensidad de señal baja

La segunda parte estará dada por la visualización de la posición calculada por otro método, la cual será mostrada en un color diferente a los mencionados.

Capítulo 4

“Diseño e Implementación”

En este capítulo se muestra el diseño del sistema, haciendo uso de diagramas *UML*, se describen el diagrama de casos de uso, el diagrama de clases y el diagrama de secuencia. Adicionalmente, se describe la implementación de cada una de las etapas mencionadas en el capítulo 3 realizadas en una aplicación para un dispositivo que cuente con sistema operativo Android.

4.1 Diseño del sistema

En este apartado se muestran los diagramas bajo los cuales el sistema fue construido, se proponen los diagramas UML para mostrar la estructura y comportamiento que tiene el sistema.

4.1.1 Diagrama de Casos de uso

En la Figura 4.1, se observa el diagrama general de casos de uso del sistema, donde se distingue al usuario principal que es quien manipule el sistema, así mismo, se visualizan los casos de uso de la selección del tipo de calibración (mencionados en el Capítulo 3). Este procedimiento es de gran importancia en el sistema, ya que aquí es donde se determinan las distancias con las que se trabajara en los métodos de ubicación.

Una vez que se seleccionó el tipo de calibración, se procede a determinar el método de ubicación que será utilizado. A pesar de que los métodos de multilateración probabilística y de trilateración son los que utilizan las redes calibradas, es necesario calibrar las redes antes de ejecutar el método de GPS, ya que se persigue que en la misma pantalla se pueda visualizar la ubicación aunque se cambie el método, sin necesidad de regresar a calibrar las redes.

Finalmente, se visualiza la posición de las antenas que han sido calibradas, así como el resultado de los métodos de ubicación que han sido implementados.

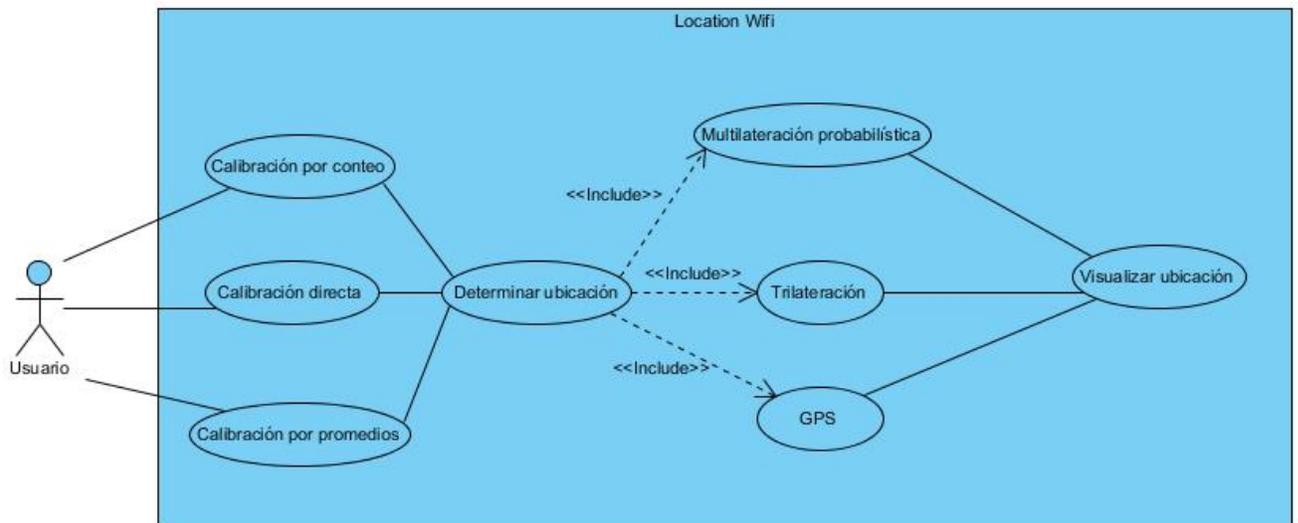


Figura 4.1 Diagrama de casos de uso.

4.1.2 Diagrama de clases

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama de clases que se obtuvo en el diseño sistema, la programación del sistema trabaja de la siguiente manera:

Al cargarse el sistema, el usuario elegirá el tipo de calibración (evento localizado en *MiLocationListener*) este a su vez se va a conectar con la clase *MuestraDistanciasCalibración*, quien es la clase principal en el sistema. Desde este punto se realiza una interacción para poder lograr una conexión con las redes que son detectables en el momento del cálculo a través de la clase *WirelessC*. Esta última clase es la encargada de enviar los datos de las redes inalámbricas a los diferentes tipos de calibración en las clases: *CalibracionConteo*, *CalibracionDirecta* o *CalibracionPromedios*.

Nuevamente, la clase *MuestraDistanciasCalibracion* es la encargada de establecer la comunicación con los métodos de ubicación disponibles como son *Trilateracion*, o bien, *Raphson*. En el caso de GPS no es necesario crear una nueva clase, ya que es implementado en la clase principal.

Para poder hacer uso de la clase *Raphson* es necesario realizar los cálculos para obtener los valores de las ecuaciones de multilateración probabilística, indicados en las Ecuaciones 3.24 y 3.25. Lo anterior se debe a que en la clase *Raphson* se encuentran despejadas las ecuaciones de tal forma que se pueda encontrar una solución.

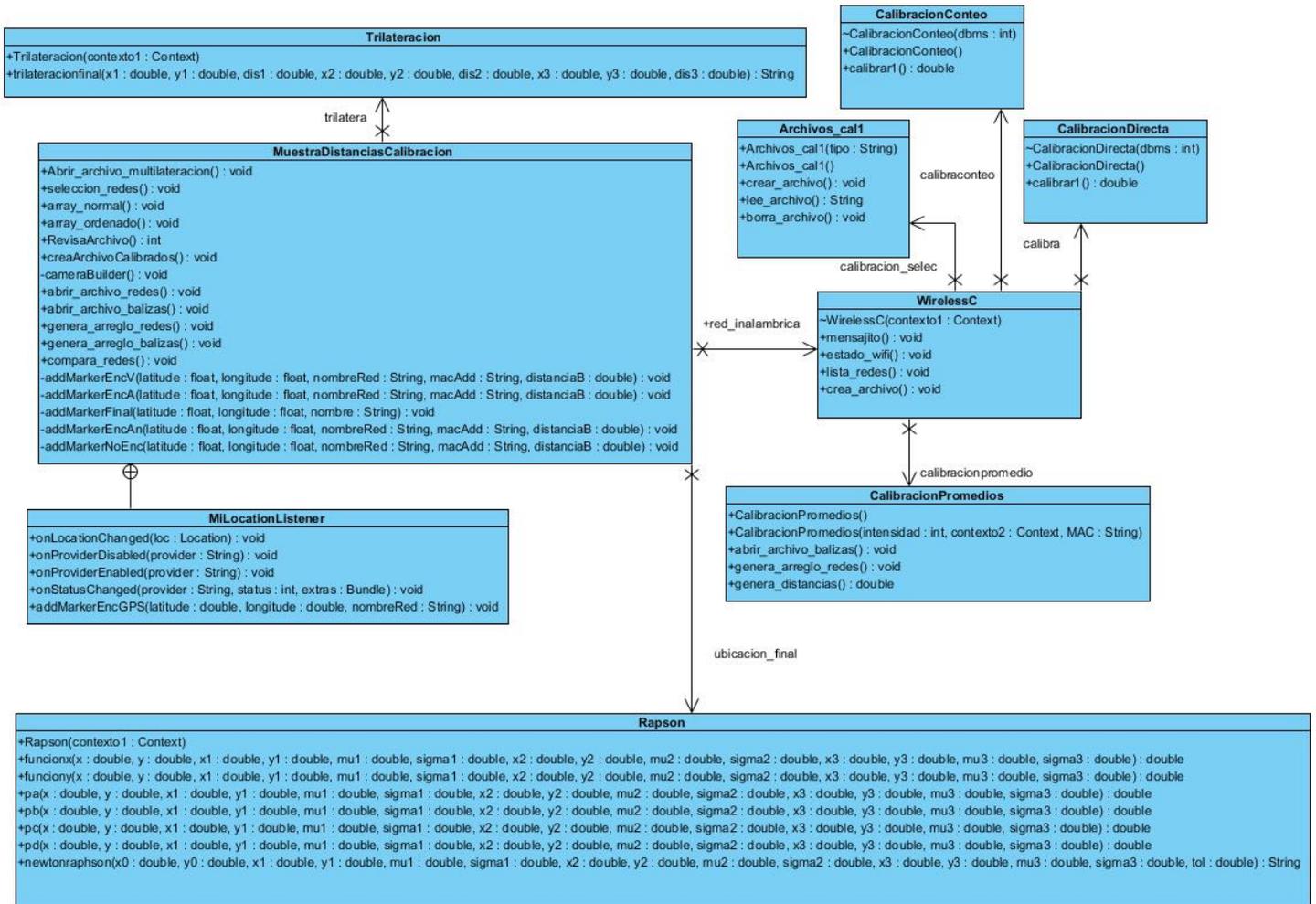


Figura 4.2 Diagrama de clases del sistema

4.1.3 Diagrama de secuencia

A continuación, se presentan los diagramas de secuencia que fueron utilizados para la implementación del sistema. El primero en ser mostrado, es el diagrama general (ver Figura 4.3), seguido por alguno de los tres tipos de métodos que se pueden elegir.

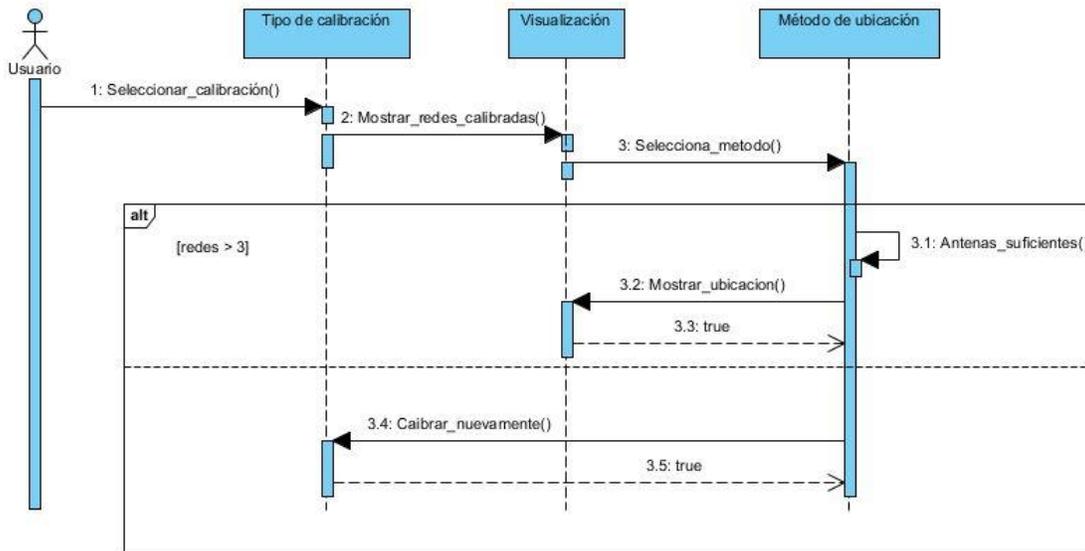


Figura 4.3 Diagrama de secuencia del sistema.

4.1.3.1 Diagrama de secuencia calibración directa.

En la Figura 4.4 se muestra el diagrama de secuencia donde se muestra el proceso para poder llevar a cabo la calibración directa de las redes en el sistema.

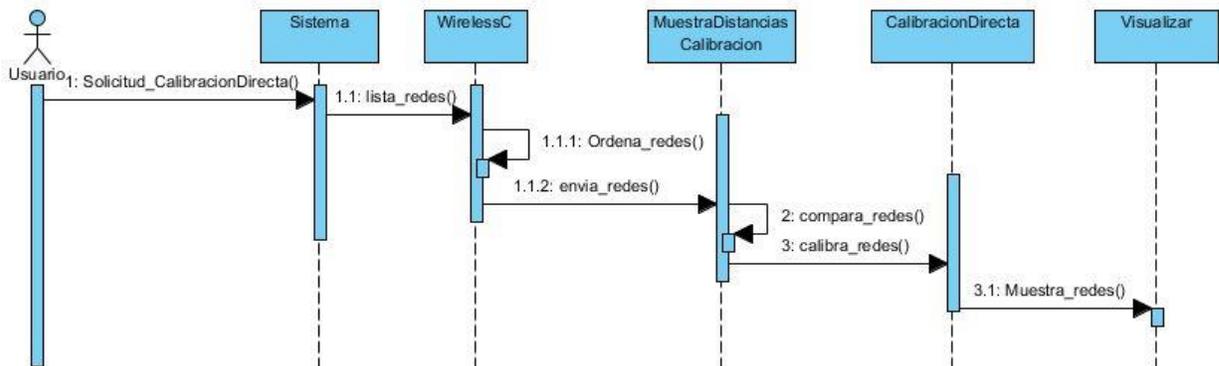


Figura 4.4 Diagrama de secuencia "Calibración directa".

4.1.3.2 Diagrama de secuencia calibración por conteo

En la Figura 4.5 se muestra el diagrama de secuencia donde se describe el proceso para poder llevar a cabo la calibración por conteo de las redes en el sistema.

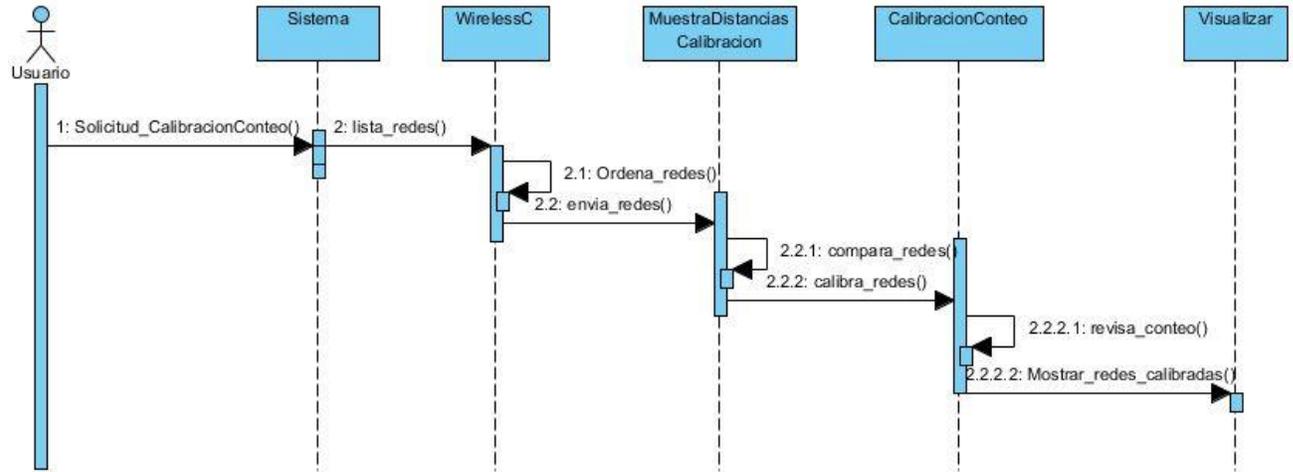


Figura 4.5 Diagrama de secuencia “Calibración por conteo”.

4.1.3.3 Diagrama de secuencia calibración por promedios.

En la Figura 4.6 se muestra el diagrama de secuencia que ilustra el proceso para poder llevar a cabo la calibración por promedios de las redes en el sistema.

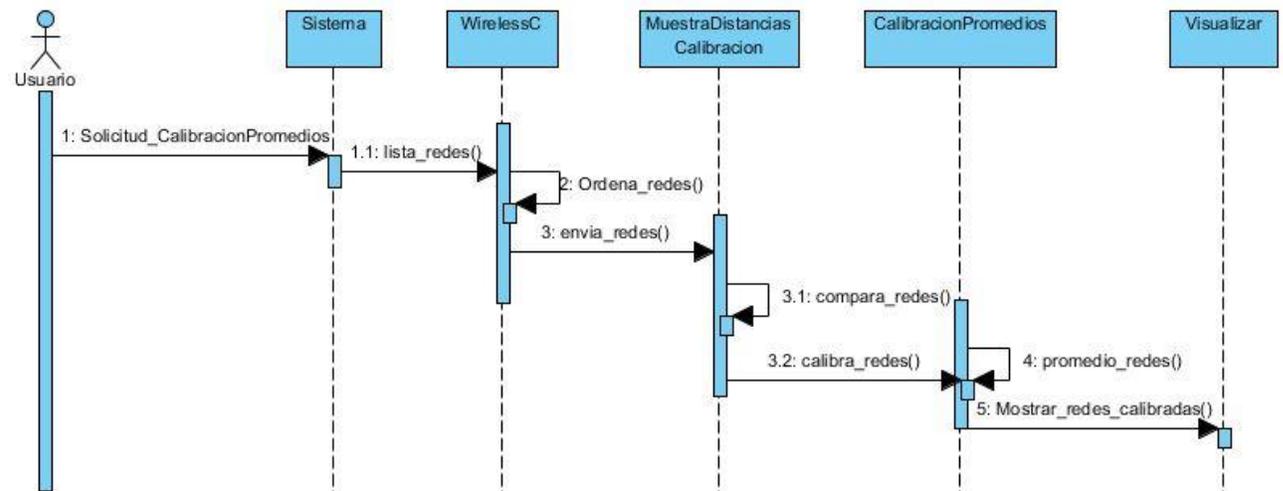


Figura 4.6 Diagrama de secuencia “Calibración por promedios”.

4.2 Implementación del sistema

Para poder familiarizarse con la implementación del sistema, es necesario señalar que fue desarrollado para un dispositivo móvil, el cual debe tener instalado el sistema operativo Android 2.3 o versión superior. Adicionalmente, se debe conocer la estructura general del desarrollo de aplicaciones para este sistema operativo, en particular con la estructura de un proyecto, ya que en algunos puntos se hace referencia a algunas carpetas.

La estructura general de un proyecto para una aplicación es la siguiente:

- `/src`: Esta carpeta contiene todo el código fuente de la aplicación, código de la interfaz gráfica, así como las clases auxiliares.
- `/res`: Contiene todos los ficheros de recursos necesarios para el proyecto: imágenes, vídeos, cadenas de texto. Todos estos archivos son organizados en subcarpetas.
- `/gen`: Esta carpeta contiene una serie de elementos de código que son generados automáticamente al compilar el proyecto, estos archivos sirven para el control de recursos de la aplicación, entre ellos se encuentra la clase `R.java`. Esta clase contiene entre otros elementos, los identificadores de los recursos incluidos en la aplicación. Es importante recordar que el código de esta clase no debe ser tocado por el programador, ya que es un archivo autogenerado por el compilador.
- `/assets`: Esta carpeta podrá contener archivos sin necesidad que sean registrados en la clase `R`.
- `/bin`: Contiene los elementos que se generan del proceso de compilación de la aplicación así como otros ficheros auxiliares. En esta carpeta podemos encontrar un archivo con extensión `“.apk”`, que es el ejecutable de la aplicación que se está desarrollando.
- `/libs`: Contiene las librerías auxiliares en formato `jar`.
- `AndroidManifest.xml`: Este archivo contiene la definición de los aspectos principales de la aplicación, como son el nombre, los componentes principales, las librerías auxiliares y los permisos necesarios para poder ejecutar la aplicación.

4.2.1 Etapa 1 – Recolección de datos.

En el desarrollo, esta etapa es de gran importancia ya que de ella dependen los valores que devuelvan los métodos de ubicación que se van a implementar. Inicialmente, se definió un archivo en el proyecto dentro de la carpeta `assets` con el nombre `balizas_fijas.txt`. Como su nombre lo indica, este archivo contendrá los valores y posiciones de las balizas que van a ser utilizados en los cálculos posteriores.

Esta etapa se divide en dos fases; en la primera, se realiza un escaneo de las redes inalámbricas en la zona en la que se va a trabajar. Adicionalmente, es necesario recolectar el SSID, la latitud, la longitud y la dirección MAC de las antenas que se encuentran dentro del área de estudio.

Para esta etapa fue necesario hacer uso de una aplicación para dispositivos móviles llamada “*Wifi Analyzer*”, la cual nos permite obtener mediciones de las redes inalámbricas. Entre los elementos que se pueden determinar se encuentra un registro sobre su SSID, su RSSI, su dirección MAC, el canal de transmisión y tipo de seguridad establecido. Para poder conocer la posición de cada antena se contó con los siguientes planos en los cuales se puede visualizar la posición sobre un mapa de las antenas a utilizar, ver de las Figuras 4.7 a las Figuras 4.11.

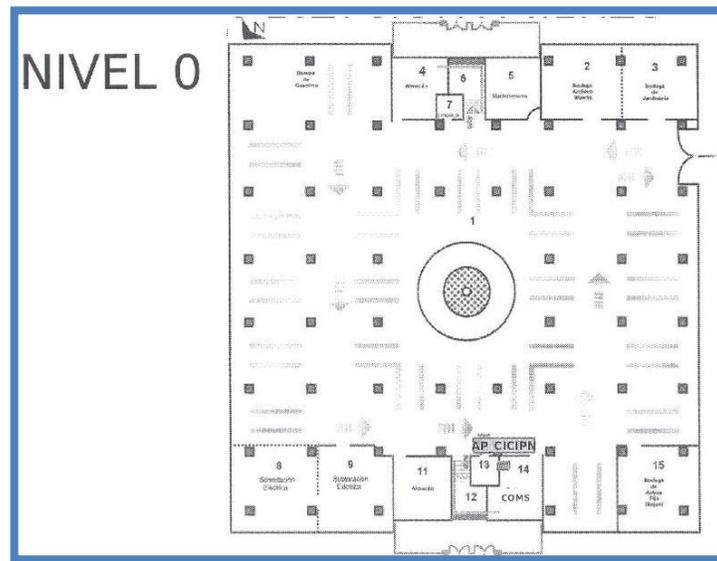


Figura 4.7 Nivel 0 – Centro de Investigación en Computación.

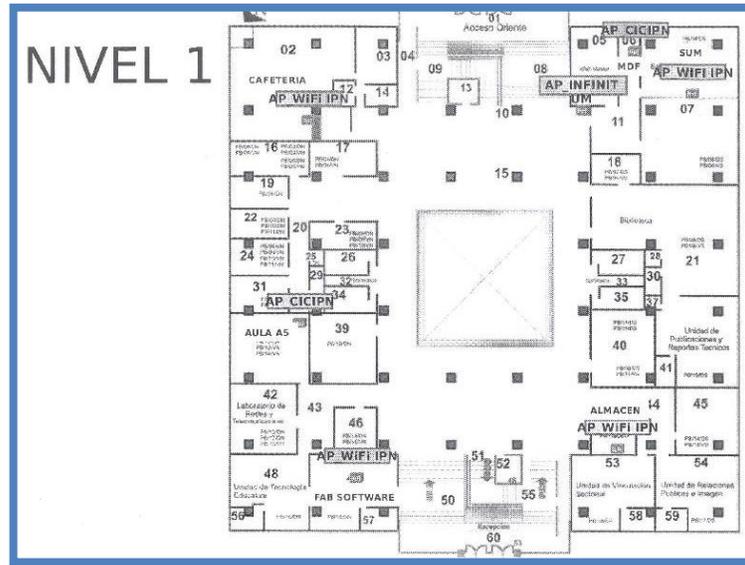


Figura 4.8 Nivel 1 – Centro de Investigación en Computación

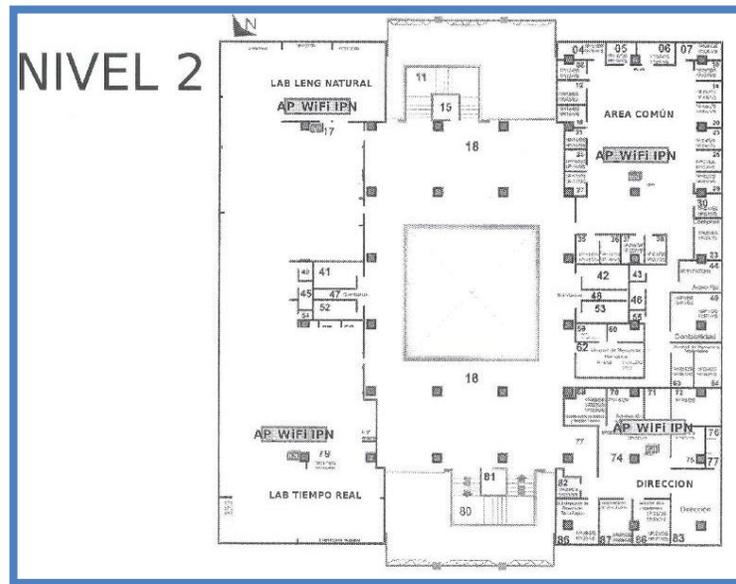


Figura 4.9 Nivel 2 – Centro de Investigación en Computación

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

Una vez que se tuvieron los primeros datos de las antenas es necesario hacer una relación, con respecto a las antenas y los datos obtenidos, estos datos son almacenados dentro de la aplicación en un archivo de texto plano llamado *balizas_fijas.txt*, quedando de la manera que se describe en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Datos de balizas.

RSSI	Latitud	Longitud	Dirección MAC
WireEsscoM-LS2	19.50464492	-99.14649636	98:fc:11:7d:33:55
WireEsscoM-LabProgramacion2	19.50486633	-99.14642186	98:fc:11:4d:97:34
Infinitum Movil	19.50498371	-99.14646953	00:18:0a:50:a0:52
WireEsscoM-Explanada	19.50476628	-99.14680213	c8:d7:19:f8:66:a0
WireESSCOM-S-14	19.50462217	-99.14685577	c0:c1:c0:a3:c7:80
WireEsscoM-Sala14	19.50462217	-99.14685577	00:14:d1:c2:38:c1
Infinitum Movil	19.50469802	-99.14696574	00:18:0a:50:cb:45
Wirlesscom-Edif-Lab-2N	19.5043921	-99.14689332	c0:c1:c0:a3:c7:47
Infinitum Movil	19.50440979	-99.14710253	00:18:0a:50:d0:7c
WireEsscoM-Biblioteca	19.5043921	-99.1470328	00:00:00:00:00:00
ESCOM-SEPI-E	19.50436934	-99.14666802	90:84:0d:d7:95:f7
WireEsscoM-SEPI	19.50436934	-99.14666802	c8:d7:19:f0:5d:3b
WireEsscoM-Dep ISC	19.50442496	-99.14659157	98:fc:11:4d:9f:3c
WireEsscoM-Basica	19.50443634	-99.14660364	00:00:00:00:00:00
WireEsscoM-LabComDig	19.50415064	-99.14670959	00:00:00:00:00:00
WireEsscoM-Anexo-Edif 2	19.50401412	-99.1467981	c0:c1:c0:a3:c7:50
WireEsscoM_Edificio 1 PB -b	19.50531998	-99.14695367	98:fc:11:4d:9f:e8
WireEsscoM-UDI	19.50529596	-99.14699256	00:14:d1:c2:27:fe
Infinitum Movil	19.50527447	-99.14690942	00:18:0a:50:d1:a4
WIFI - IPN	19.50520873	-99.14689466	00:11:88:27:c2:98
WireEsscoM-Cafeteria	19.50518851	-99.14705291	00:00:00:00:00:00
WireEsscoM-RedesLab	19.50509243	-99.14703548	00:00:00:00:00:00
WireEsscoM-CELEXESCOM	19.50505704	-99.14712399	68:7f:74:3b:ef:26
WireEsscoM-Laboratorios	19.50489017	-99.14714277	c0:c1:c0:a3:c8:61
WireESSCOM-SConsejo	19.50467779	-99.14724201	c0:c1:c0:a3:c9:f6
WireEsscoM-Edif 1 Sur B	19.50445657	-99.1474016	c0:c1:c0:a3:c7:95
WireEsscoM-Anexo Edif 1	19.50435544	-99.14746195	c0:c1:c0:a3:ca:86
WireEsscoM-SocyProg	19.50457793	-99.14697302	00:14:d1:c2:38:bf
Infinitum Movil	19.50303692	-99.14700329	00:18:09:50:d1:a4
Infinitum Movil	19.50297625	-99.14692014	00:18:09:50:a0:52
RED IPN	19.50285109	-99.14684907	00:40:90:01:35:d6
ROSS2	19.50289582	-99.14702834	00:24:56:19:f5:f9
19. AP_CICIPN (N0)	19.50312921	-99.14748073	58:6d:8f:e1:24:a6

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

1. Wi-Fi IPN (N1)	19.50338583	-99.14771542	00:1f:45:4a:ee:70
1. Wi-Fi IPN (N1)	19.50337678	-99.14770202	00:1f:45:4a:ee:78
2. AP_CICIPN (N1)	19.50330721	-99.14758471	20:aa:4b:49:64:78
2. AP_CICIPN (N1)	19.50330148	-99.14757318	20:aa:4b:49:64:79
3. Wi-Fi IPN (N1)	19.50324551	-99.14740562	00:1f:45:7f:f6:08
3. Wi-Fi IPN (N1)	19.50324011	-99.1473966	00:1f:45:7f:f6:00
7. AP_CICIPN (N1)	19.5029004	-99.14747536	20:99:4b:49:64:cd
7. AP_CICIPN (N1)	19.50289582	-99.14746777	20:99:4b:49:64:4c
5. Wi-Fi IPN (N1)	19.50288017	-99.14754376	00:1f:45:94:5a:f8
5. Wi-Fi IPN (N1)	19.5028784	-99.14753704	00:1f:45:94:5a:f0
6. infinitum movil (N1)	19.50298636	-99.14756119	00:18:0a:50:3f:24
4. Wi-Fi IPN (N1)	19.50308117	-99.14780661	00:1f:45:46:c9:38
4. Wi-Fi IPN (N1)	19.5030783	-99.14779665	00:1f:45:46:c9:30
10. Wi-Fi IPN (N2)	19.50304451	-99.1477637	00:1f:45:94:50:60
10. Wi-Fi IPN (N2)	19.50304069	-99.14775634	00:1f:45:94:50:68
11. Wi-Fi IPN (N2)	19.50294211	-99.14754778	00:1f:45:4a:e4:38
11. Wi-Fi IPN (N2)	19.50293858	-99.1475408	00:1f:45:4a:e4:30
8. Wi-Fi IPN (N2)	19.50335676	-99.14767921	00:1f:45:4b:c4:e0
8. Wi-Fi IPN (N2)	19.5033491	-99.14767157	00:1f:45:4b:c4:e8
9. Wi-Fi IPN (N2)	19.50324172	-99.14738551	00:1f:45:4a:e3:78
9. Wi-Fi IPN (N2)	19.50323784	-99.1473781	00:1f:45:4a:e3:70
15. Wi-Fi IPN (N2)	19.50307485	-99.1478616	00:1f:45:4b:c8:c0
15. Wi-Fi IPN (N2)	19.50307052	-99.1478536	00:1f:45:4b:c8:c8
18. Wi-Fi IPN (N3)	19.50293326	-99.14753705	00:1f:45:4b:c0:f8
18. Wi-Fi IPN (N3)	19.50293064	-99.14753114	00:1f:45:4b:c0:f0
17. infinitum movil(N3)	19.50306221	-99.14765507	00:18:09:50:a8:2c
17. infinitum movil(N3)	19.50306221	-99.14765507	00:18:0a:50:a8:2c
16. Wi-Fi IPN (N3)	19.50297955	-99.14768505	00:1f:45:4b:c6:30
16. Wi-Fi IPN (N3)	19.50297652	-99.14767857	00:1f:45:4b:c6:38
14. Wi-Fi IPN (N3)	19.50326502	-99.14740669	00:1f:45:4b:03:e8
14. Wi-Fi IPN (N3)	19.50326169	-99.14739914	00:1f:45:4b:03:e0
Iron-PIIG	19.50326169	-99.14739914	60:33:4b:e7:29:a1
Iron-PIIG	19.50326169	-99.14739914	60:33:4b:e7:29:a2
12. Wi-Fi IPN (N3)	19.50339089	-99.14769933	00:1f:45:4a:fc:f8
12. Wi-Fi IPN (N3)	19.5033856	-99.14769223	00:1f:45:4a:fc:f0
13. Wi-Fi IPN (N3)	19.50325815	-99.14756387	00:1f:45:4b:c2:c0
13. Wi-Fi IPN (N3)	19.50325264	-99.14755713	00:1f:45:4b:c2:c8

4.2.2 Etapa 2 – Calibración

En esta segunda etapa, el primer paso a llevar a cabo es la elección del tipo de calibración, la cuál es establecida por el usuario.

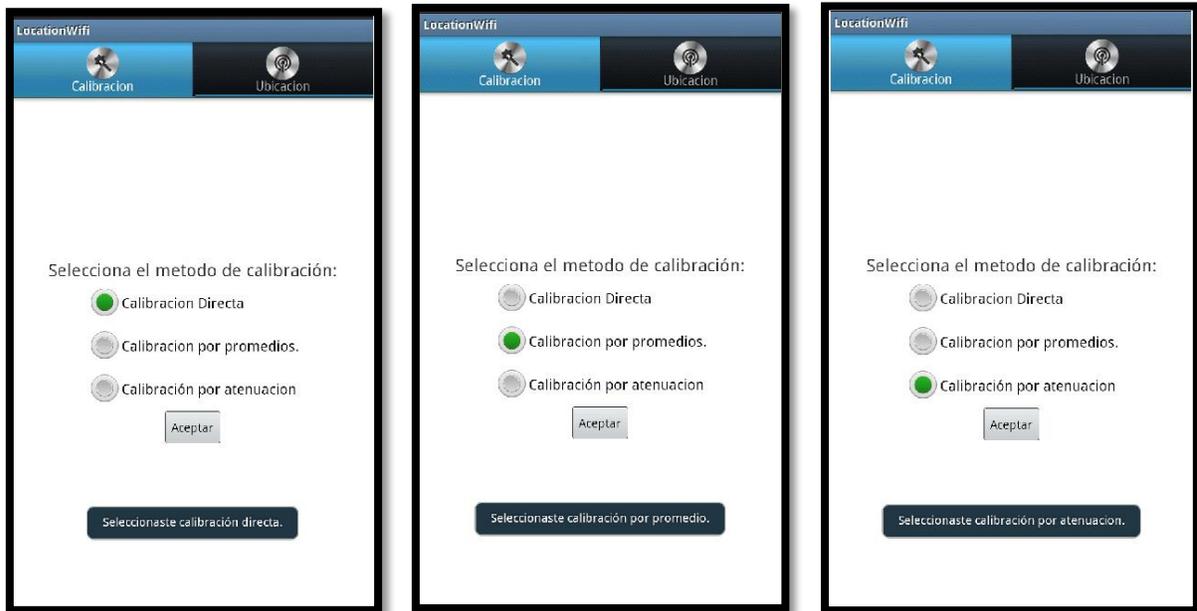


Figura 4.12 Tipos de calibración en la aplicación.

Una vez elegida, el sistema obtiene las redes inalámbricas que se encuentren dentro del alcance del dispositivo móvil. Para lograrlo se hace uso de las siguientes bibliotecas:

- *android.net.wifi.**: Esta biblioteca provee las funciones necesarias para poder comunicarse con la tarjeta de red inalámbrica, donde está contenida la información como la dirección IP del dispositivo, la dirección IP de las redes inalámbricas disponibles, la intensidad de señal en el momento de la lectura, el tipo de seguridad, el canal en el que trabaja, además de capacidades como es cambiar el estado de la red o iniciar alguna conexión. Para obtener la lista de redes son necesarias las siguientes líneas de código:

```
wifi = (WifiManager) contextowifi.getSystemService(Context.WIFI_SERVICE);
WifiInfo info = wifi.getConnectionInfo();
List<ScanResult> results = wifi.getScanResults();
String cadena = "";
cadena = "Nombre: " + result.SSID + "\n Potencia de red: " + result.level + "\n MAC: " +
result.BSSID;
```

Listado 4.1 Obtención de datos en una red inalámbrica

- *android.content.Context*: Con esta librería se pueden acceder a los recursos y a las clases de la aplicación, a continuación se especifican las líneas de código necesarias:

```
Context contexto2;
contexto2 = getApplicationContext();
```

Listado 4.2 Obtención del contexto de la aplicación

En el caso de la calibración por conteo existe una clase llamada *CalibracionConteo.java*, la cual contiene el siguiente código para ejecutar la ecuación 3.5 (Capítulo 3) y poder obtener un valor para el método de ubicación.

```
double d = 0;
d = Math.pow(10, ((dbms+30.94)/(-14.5)));
return d;
```

Listado 4.3 Calibración por conteo

Para la calibración directa se utiliza la clase *CalibracionDirecta.java*. Esta clase contiene las líneas de código suficientes para resolver la Ecuación 3.18 en la que está desarrollada esta calibración.

```
double d = 0;
d = Math.pow(10, ((dbms+35.289)/(-26.4432)));
return d;
```

Listado 4.4 Calibración directa

Finalmente para la calibración por promedios se hace uso del archivo *promedios_antenas.txt*, en donde se encuentran las direcciones MAC de cada red registrada en el archivo *balizas_fijas.txt* junto con la distancia a la que se tomó la medición y la intensidad de señal promediada.

Para esta calibración se hace uso de la clase *CalibracionPromedios.java*, donde se realiza una lectura de las redes dentro del alcance de la posición del dispositivo móvil y se compara con el contenido con el contenido del archivo *balizas_fijas.txt*, promediando la lectura con el registro del archivo.

4.2.3 Etapa 3 – Métodos de posicionamiento

Una vez que el usuario ha seleccionado el tipo de calibración, se despliega una pantalla en la que se mostrarán las redes calibradas así como un menú alterno donde se podrá elegir el método que queremos utilizar, ver Figura 4.13, lo cual estará en la clase *MuestraDistanciasCalibracion.java*.

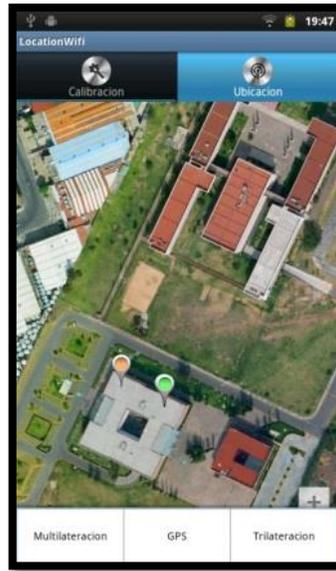


Figura 4.13 Menú del sistema.

Al seleccionar la opción multilateración el sistema enlaza los cálculos del método de calibración elegido hacia el método de multilateración, para esto se necesita tener los datos de tres balizas, tres distancias. En caso de cumplirse la restricción anterior se ejecutará la clase *Raphson.java*; esta clase contiene las instrucciones que permiten realizar los cálculos que fueron especificados en las Ecuaciones 3.24 y 3.25. Esta clase recibe como información de entrada, la posición en x y la posición en y de las antenas (longitud y latitud), el punto x,y donde inicia la búsqueda del par de coordenadas (en este caso, los puntos de inicio que le serán proporcionados son los de la antena que se encuentra a la distancia más corta, ya que por la corta distancia se infiere que el usuario debe encontrarse cerca de la misma), también se incluyen las distancias calculadas en el método de calibración, este método devuelve un par de coordenadas que son utilizadas para visualizar el resultado.

El método de **multilateración probabilística** puede aplicarse con las n antenas que se hayan detectado. Sin embargo, para este sistema solo se toman tres antenas, ya que al querer comparar el par de coordenadas con los resultados obtenidos con trilateración es necesario probar los métodos bajo las mismas condiciones.

En caso de que el usuario elija la opción de trilateración, se interactúa con la clase *Trilateracion.java*. Esta clase recibe como entrada la posición de las tres antenas a utilizar (x, y) además de la distancia calculada en el método de calibración utilizado. En la clase *Trilateración.java* se encuentran las instrucciones de código que permiten cuantificar la Ecuación 3.33 así como el procedimiento para solucionar la ecuación. Este procedimiento, devuelve una cadena con un par de coordenadas.

```

public String trilateracionfinal (double x1, double y1, double dis1, double x2, double y2, double dis2,
double x3, double y3, double dis3){

    double [][] test = {{ap11, ap12, b11}, {ap21, ap22,b21}};
    double sel [][] = new double [3][6];
    String finalito = "";
    double ap11, ap12, ap21, ap22, b11,b21,px,py,dt;
    sel[0][2]=x1; //x
    sel[0][3]=y1;//y
    sel[0][5]=dis1;//d1
    sel[1][2]=x2;
    sel[1][3]=y2;
    sel[1][5]=dis2;
    sel[2][2]=x3;
    sel[2][3]=y3;
    sel[2][5]=dis3;
    ap11= (2 * (sel[1][2] - sel[0][2]));//2*(x2-x1)
    ap12= (2 * (sel[1][3] - sel[0][3]));//2*(y2-y1)
    ap21= (2 * (sel[2][2] - sel[0][2]));//2*(x3-x1)
    ap22= (2 * (sel[2][3] - sel[0][3]));//2*(y3-y1)

    b11= ((sel[0][5] * sel[0][5]) - (sel[1][5] * sel[1][5])) - ((sel[0][2] * sel[0][2]) - (sel[1][2] *
        sel[1][2])) - ((sel[0][3] * sel[0][3]) - (sel[1][3] * sel[1][3]));
    b21= ((sel[0][5] * sel[0][5]) - (sel[2][5] * sel[2][5])) - ((sel[0][2] * sel[0][2]) - (sel[2][2] *
        sel[2][2])) - ((sel[0][3] * sel[0][3]) - (sel[2][3] * sel[2][3]));

    dt=(ap11*ap22)-(ap21*ap12);
    px((((b11*ap22)-(b21*ap12))/dt));
    py((((ap11*b21)-(ap21*b11))/dt));
    System.out.println("Punto x: " + px + " punto y: " + py);
    finalito = px + "," + py;
    return finalito;
}

```

Listado 4.5 Trilateración

Finalmente, al elegir el método de GPS se utiliza la clase *GPSTracker.java*, donde se implementaron las siguientes líneas de código para obtener un par de coordenadas a través del uso del GPS o de la antena WiFi a la que se encuentre conectado del dispositivo móvil.

```
public class GPSTracker extends Service implements LocationListener {
    private final Context mContext;
    boolean isGPSEnabled = false;
    boolean isNetworkEnabled = false;
    boolean canGetLocation = false;
    Location location; // location
    double latitude; // latitude
    double longitude; // longitude
    protected LocationManager locationManager;

    public GPSTracker(Context context) {
        getLocation();
    }

    public Location getLocation() {
        try {
            locationManager = (LocationManager) mContext.getSystemService(LOCATION_SERVICE);
            isGPSEnabled = locationManager.isProviderEnabled(LocationManager.GPS_PROVIDER);
            isNetworkEnabled = locationManager.isProviderEnabled(LocationManager.NETWORK_PROVIDER);
            if (!isGPSEnabled && !isNetworkEnabled) {
            }
            else {
                this.canGetLocation = true;
                if (isNetworkEnabled) {
                    locationManager.requestLocationUpdates(
                        LocationManager.NETWORK_PROVIDER,
                        MIN_TIME_BW_UPDATES,
                        MIN_DISTANCE_CHANGE_FOR_UPDATES, this);
                    Log.d("Network", "Network");
                    if (locationManager != null) {
                        location = locationManager.getLastKnownLocation(LocationManager.NETWORK_PROVIDER);
                        if (location != null) {
                            latitude = location.getLatitude();
                            longitude = location.getLongitude();
                        }
                    }
                }
            }
            if (isGPSEnabled) {
                if (location == null) {
                    locationManager.requestLocationUpdates(LocationManager.GPS_PROVIDER,
                        MIN_TIME_BW_UPDATES, MIN_DISTANCE_CHANGE_FOR_UPDATES, this);
                }
            }
        }
    }
}
```


mapa de acuerdo con lo expuesto en la Tabla 3.2. Es importante mencionar que para cada método programado el color del marcador también cambia.

```
private void addMarkerEncV(float latitude, float longitude, String nombreRed, String macAdd,
double distanciaB){
    this mMap.addMarker(new MarkerOptions()
        .position(new LatLng(latitude, longitude))
        .title(nombreRed)
        .snippet(macAdd + " Distancia: " + distanciaB + "m")
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_GREEN))
        .visible(true));
}
private void addMarkerEncA(float latitude, float longitude, String nombreRed, String macAdd,
double distanciaB){
    this mMap.addMarker(new MarkerOptions()
        .position(new LatLng(latitude, longitude))
        .title(nombreRed)
        .snippet(macAdd + " Distancia: " + distanciaB + "m")
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_YELLOW))
        .visible(true));
}
private void addMarkerEncAn(float latitude, float longitude, String nombreRed, String macAdd,
double distanciaB){
    this mMap.addMarker(new MarkerOptions()
        .position(new LatLng(latitude, longitude))
        .title(nombreRed)
        .snippet(macAdd + " Distancia: " + distanciaB + "m")
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_ORANGE))
        .visible(true));
}
private void addMarkerFinalTrilatera(float latitude, float longitude, String nombre){
//TRILATERACION
    this mMap.addMarker(new MarkerOptions()
        .position(new LatLng(latitude, longitude))
        .title(nombre)
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_BLUE))
        .visible(true));
}
```

```
private void addMarkerFinalMultilatera(float latitude, float longitude, String nombre){  
//MULTILATERACION  
    this.mMap.addMarker(new MarkerOptions()  
        .position(new LatLng(latitude, longitude))  
        .title(nombre)  
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_ROSE))  
        .visible(true));  
}  
public void addMarkerEncGPS(double latitude, double longitude, String nombreRed){ //GPS  
    mMap.addMarker(new MarkerOptions()  
        .position(new LatLng(latitude, longitude))  
        .title("GPS")  
        .icon(BitmapDescriptorFactory.defaultMarker(BitmapDescriptorFactory.HUE_CYAN))  
        .visible(true));  
}
```

Listado 4.7 Visualización

Capítulo 5

“Pruebas y resultados”

En este capítulo se presentan algunas pruebas realizadas así como sus resultados, se muestra un análisis comparativo entre los resultados de los diferentes tipos de calibración y los diferentes tipos de métodos de ubicación que fueron implementados.

5.1 Introducción

Las pruebas que a continuación se presentan fueron llevadas a cabo dentro de la unidad profesional “Adolfo López Mateos”, la zona comprende la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM), el Centro de Investigación en Computación (CIC), el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo (CIDETEC), además de contemplar la zona del comedor de “Plaza Torres Lindavista”, ver Figura 5.1.

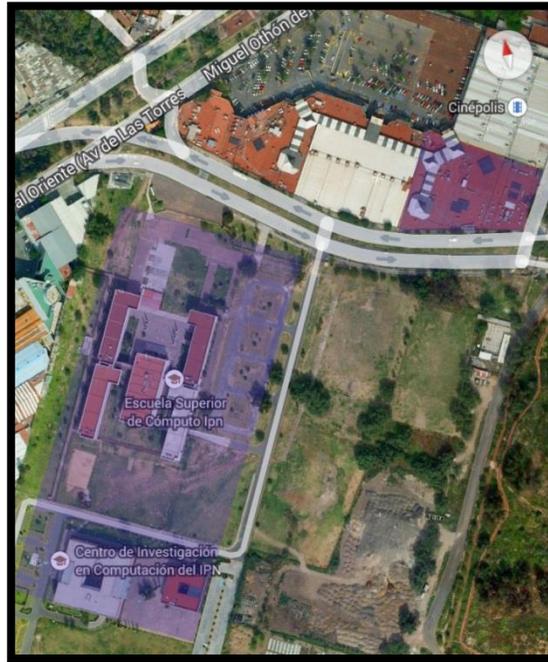


Figura 5.1 Zona de pruebas

Las pruebas fueron llevadas a cabo en una Tablet Samsung Galaxy de 10.1”, con sistema operativo Android versión 2.3 con 1 Gb de memoria RAM, un procesador dual-core NVIDIA Tegra 2 a 1Ghz, cuenta con soporte para Wi-Fi 802.11 a/b/g/n y con GPS.



Figura 5.2 Dispositivo a utilizar “Galaxy Tab”

5.2 Resultados de calibración.

Las primeras pruebas realizadas fueron con respecto a la calibración, a continuación se muestran en las Tablas de la 5.1 a la Tabla 5.4 que contienen los resultados obtenidos. En tanto que en lasgráficas se puede observar la variación de la conversión de la distancia entre los métodos propuestos.

CIC - IPN					
NOMBRE DE LA RED	LATITUD	LONGITUD	CALIBRACIÓN POR ATENUACIÓN	CALIBRACIÓN DIRECTA	CALIBRACIÓN POR PROMEDIOS
9. Wi-Fi IPN (N2)	-99.147385507	19.503241718	412.0 m	107.0 m	6.0 m
15. Wi-Fi IPN (N2)	-99.147853604	19.503070515	300.0 m	90.0 m	5.0 m
14. Wi-Fi IPN (N3)	-99.147406685	19.503265018	1.0 m	4.0 m	4.0 m
Iron-PIIG	-99.147399135	19.503261688	2.0 m	6.0 m	6.0 m
12. Wi-Fi IPN (N3)	-99.147699326	19.503390888	20.0 m	49.0 m	10.0 m

Tabla 5.1 Resultados de calibración obtenidos en el CIC-IPN

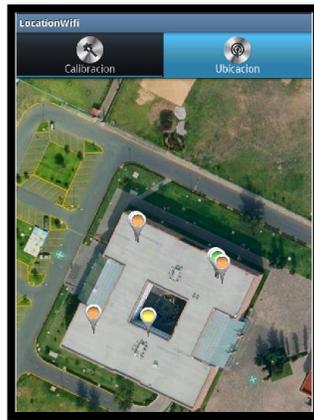


Figura 5.3 Ubicación de antenas calibradas en CIC-IPN

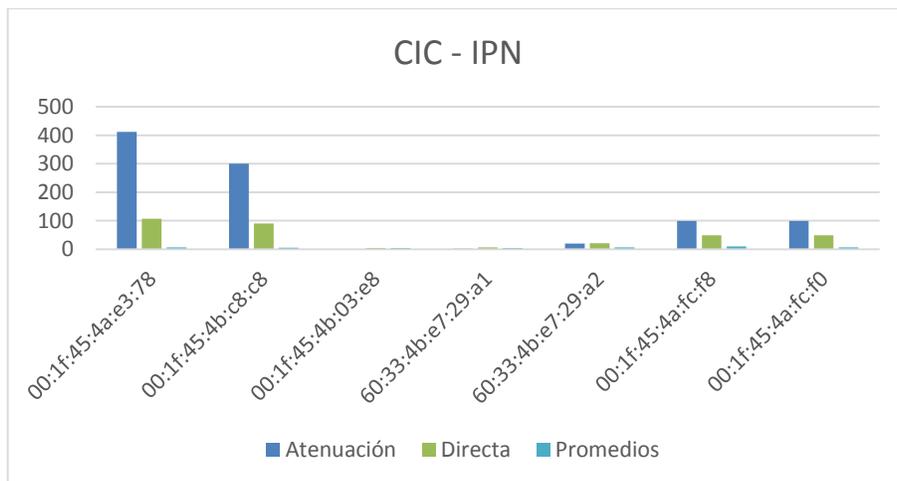


Figura 5.4 Análisis de variación de distancias en CIC – IPN

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

En la tabla 5.2 se muestran las balizas o antenas detectadas en la zona CIDETEC – IPN, donde se pueden apreciar los resultados por los tres tipos de calibración presentados en el trabajo, así mismo se puede resaltar que los valores más bajos son los presentados por la calibración por promedios.

En la Figura 5.6 se puede visualizar la variación de distancia en cada antena por los tres métodos de calibración presentados.

CIDETEC - IPN					
NOMBRE DE LA RED	LATITUD	LONGITUD	CALIBRACIÓN POR ATENUACIÓN	CALIBRACIÓN DIRECTA	CALIBRACIÓN POR PROMEDIOS
Infinitem Movil	-99.146469533	19.504983714	20.0 m	21.0 m	4.0 m
WireEsscoM-Sala14	-99.146855771	19.504622169	1251.0 m	198.0 m	6.0 m
WireEsscom-Edif-Lab-2N	-99.146893322	19.504392095	116.0 m	54.0 m	6.0 m
Infinitem Movil	-99.147102534	19.504409793	300.0 m	90.0 m	4.0 m
WireEsscoM-SEPI	-99.146668016	19.504369340	186.0 m	70.0 m	8.0 m
WireEsscoM-Dep ISC	-99.146591573	19.504424963	1067.0 m	181.0 m	8.0 m
WireEsscoM-Anexo-Edif 2	-99.146798104	19.504014115	159.0 m	64.0 m	9.0 m
Infinitem Movil	-99.146909415	19.505274467	1.0 m	5.0 m	1.0 m
WireEsscoM-Anexo Edif 1	-99.147461950	19.504355435	135.0 m	58.0 m	7.0 m

Tabla 5. 2 Resultados de calibración obtenidos en CIDETEC-IPN



Figura 5.5 Ubicación de antenas calibradas en CIDETEC-IPN

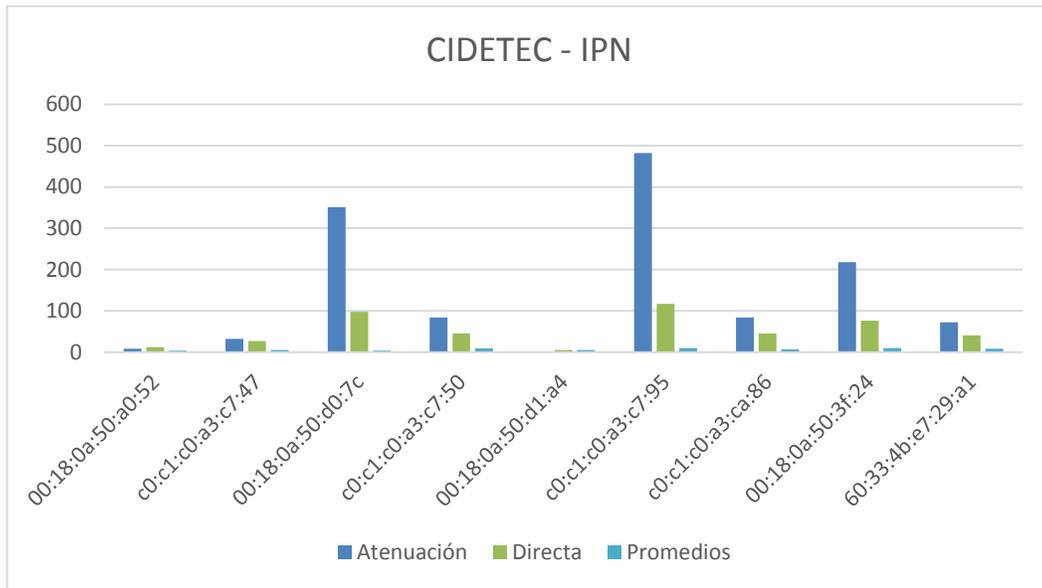


Figura 5.6 Ubicación de antenas calibradas en CIDETEC-IPN

En la tabla 5.3 se muestran las balizas o antenas detectadas en la zona ESCOM – IPN, donde se pueden apreciar los resultados por los tres tipos de calibración presentados en el trabajo, así mismo se puede resaltar que los valores más bajos son los presentados por la calibración por promedios. Además de que la calibración por atenuación y la calibración directa en algunos casos presentan valores extremadamente diferentes a los presentados en la calibración por promedios.

En la Figura 5.8 se puede visualizar la variación de distancia en cada antena por los tres métodos de calibración presentados.

ESCOM - IPN					
NOMBRE DE LA RED	LATITUD	LONGITUD	CALIBRACIÓN POR ATENUACIÓN	CALIBRACIÓN DIRECTA	CALIBRACIÓN POR PROMEDIOS
Infinitum Movil	-99.147102534	19.504409793	32.0 m	27.0 m	4.0 m
WireESSCOM-SConsejo	-99.147242009	19.504677792	565.0 m	128.0 m	15.0 m
WireEsscoM-Anexo Edif 1	-99.147461950	19.504355435	186.0 m	70.0 m	10.0 m
WireEsscoM-SocyProg	-99.146973024	19.504577928	45.0 m	32.0 m	10.0 m
WireEsscoM-Sala14	-99.1468557715	19.504622169	35.0 m	30.0 m	6.0 m

Tabla 5.3 Resultados de calibración obtenidos en ESCOM-IPN



Figura 5.7 Ubicación de antenas calibradas ESCOM-IPN

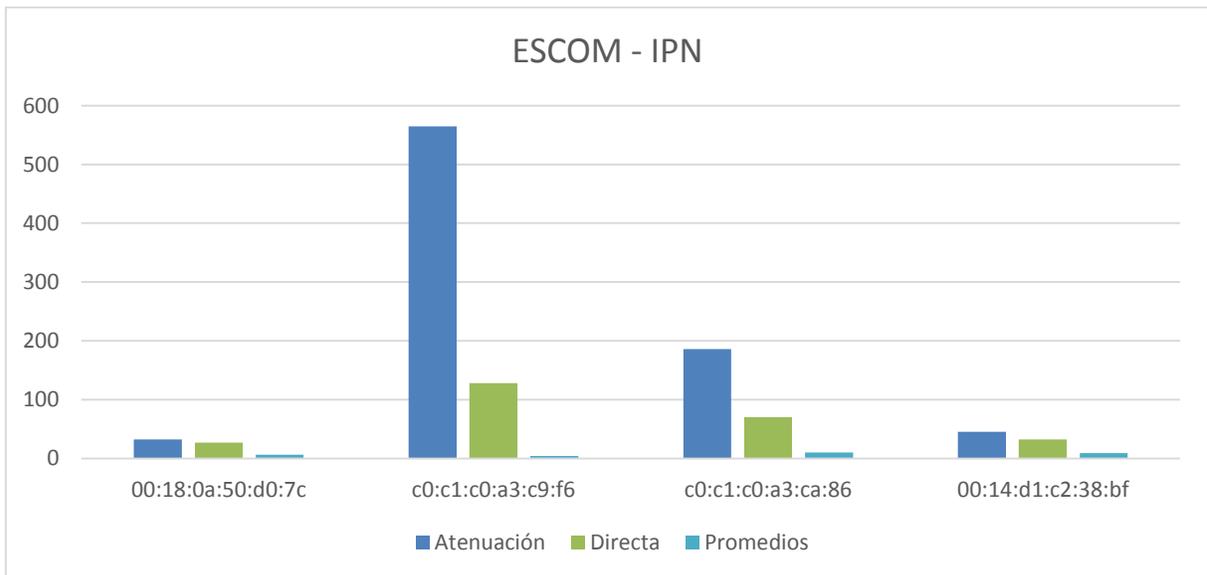


Figura 5.8 Ubicación de antenas calibradas en ESCOM-IPN

En la tabla 5.4 se muestran las balizas o antenas detectadas en la zona “Plaza Torres Lindavista”, donde se pueden apreciar los resultados por los tres tipos de calibración presentados en el trabajo. En la Figura 5.10 se puede visualizar la variación de distancia en cada antena por los tres métodos de calibración presentados.

PLAZA TORRES LINDAVISTA					
NOMBRE DE LA RED	LATITUD	LONGITUD	CALIBRACIÓN POR ATENUACIÓN	CALIBRACIÓN DIRECTA	CALIBRACIÓN POR PROMEDIOS
Cablevision-TorresLindavista	-99.143643667	19.505644222	10.0 m	2.0 m	5.0 m
INFINITUM27B2	-99.143643667	19.505644222	17.0m	19.0 m	8.0 m
INFINITUM5675	-99.143643667	19.505643930	1.0 m	5.0 m	6.0 m
..ZonaYOO..	-99.143643667	19.505643938	10.0 m	2.0 m	3.0 m
TorresLindavista	-99.143643667	19.505643642	7.0 m	7.0 m	6.0 m

Tabla 5.4 Resultados de calibración obtenidos en el Centro Comercial “Plaza Torres Lindavista”

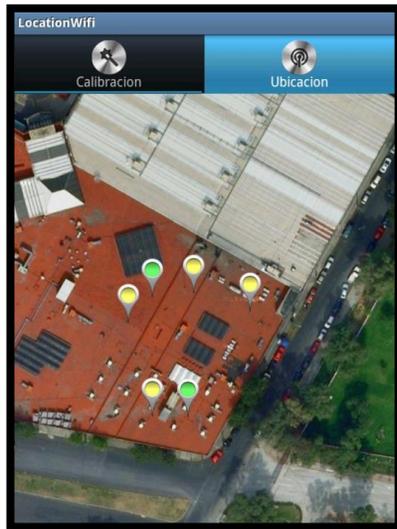


Figura 5.9 Ubicación de las antenas calibradas en el Centro Comercial “Plaza Torres Lindavista”

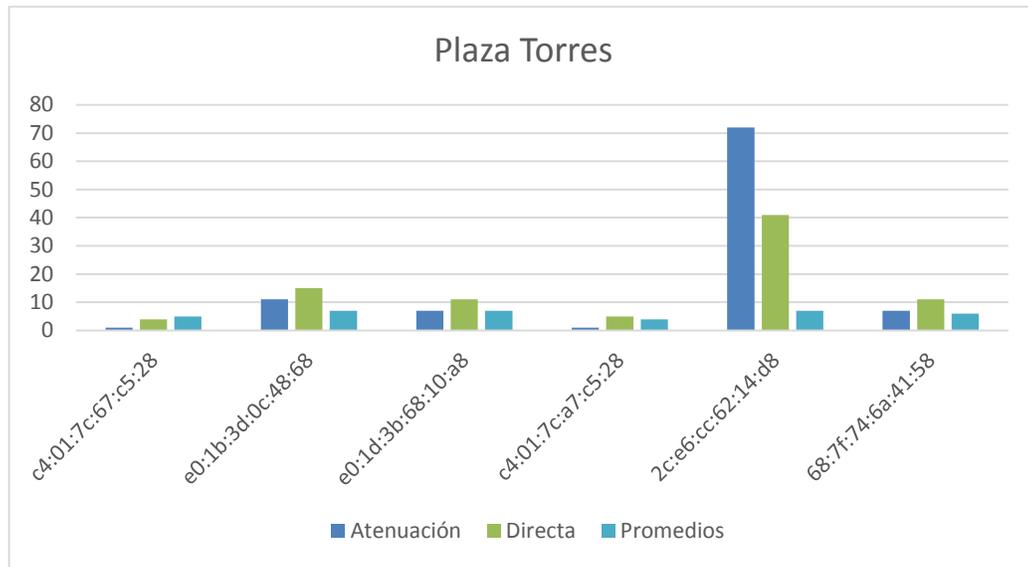


Figura 5.10 Ubicación de antenas calibradas en ESCOM-IPN

5.3 Resultados de los métodos de ubicación.

En esta sección, ver de la Tabla 5.5, a la Tabla 5.8, se muestran los resultados de los métodos de ubicación en los diferentes escenarios en los que fue probado el sistema, todas las pruebas fueron realizadas en el interior de los edificios. En las gráficas que a continuación se presentan los valores que fueron tomados son los números que se encuentran a partir de las centésimas, ya que las unidades, centenas y decenas eran iguales en todos los casos y no se iba a poder visualizar la variación de cantidades en los métodos.

CIC - IPN						
	MULTILATERACIÓN PROBABILÍSTICA		TRILATERACIÓN		GPS	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Calibración directa	-99.147348505	19.503086064	INFINITY	INFINITY	-99.147639433	19.503360255
Calibración por promedios	-99.147377630	19.503009994	-99.14748	19.503098		
Calibración por atenuación	-99.147348501	19.503086053	INFINITY	INFINITY		

Tabla 5.5 Resultados métodos de ubicación en CIC-IPN

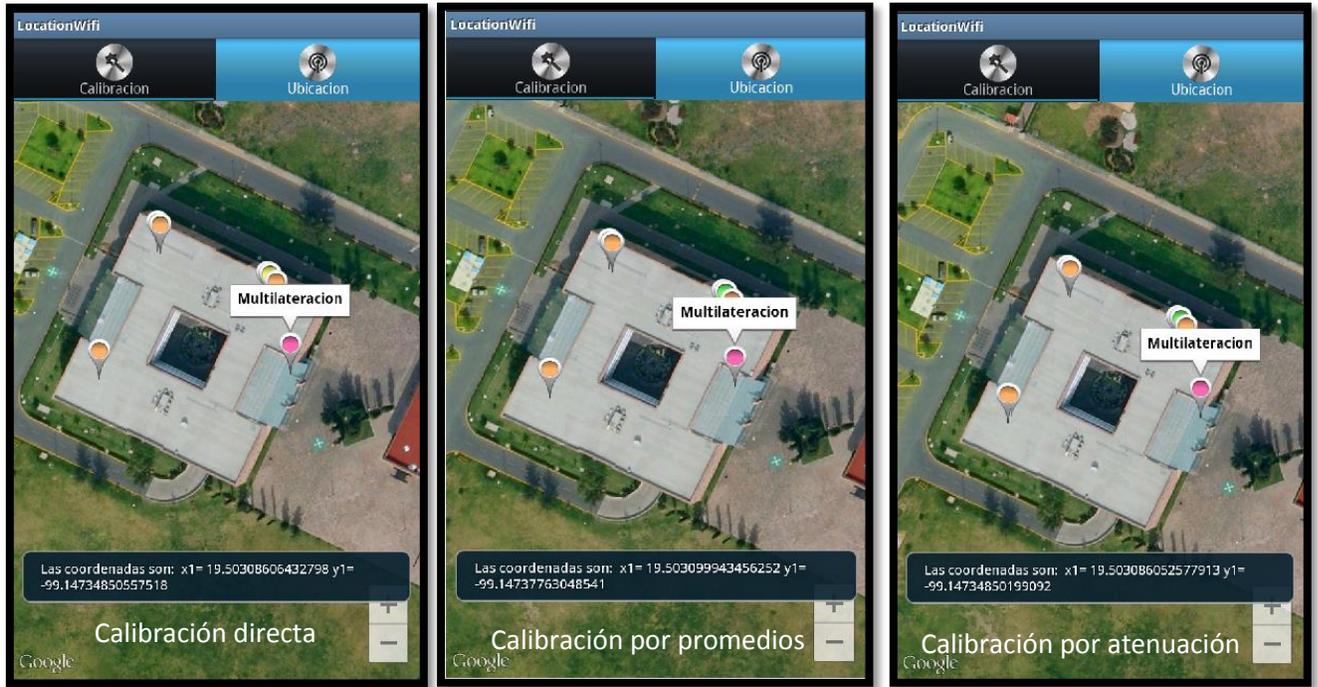


Figura 5.11 Multilateración probabilística CIC- IPN

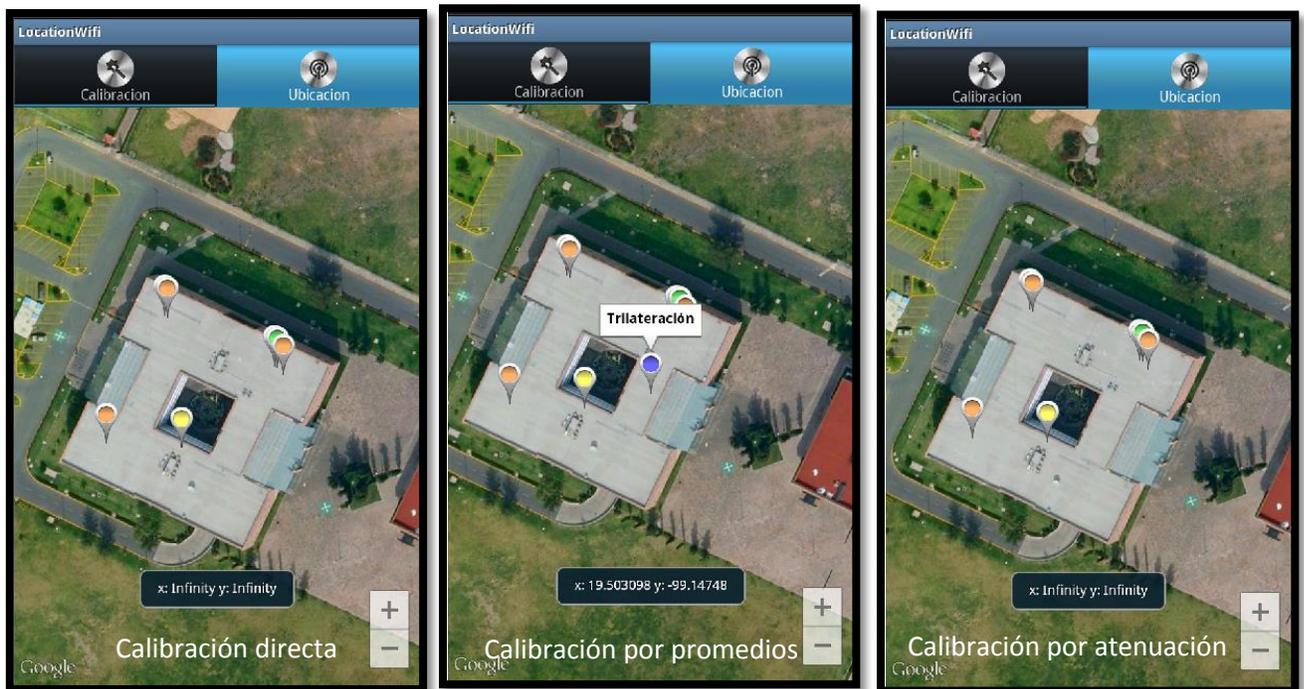


Figura 5. 12 Trilateración en CIC-IPN

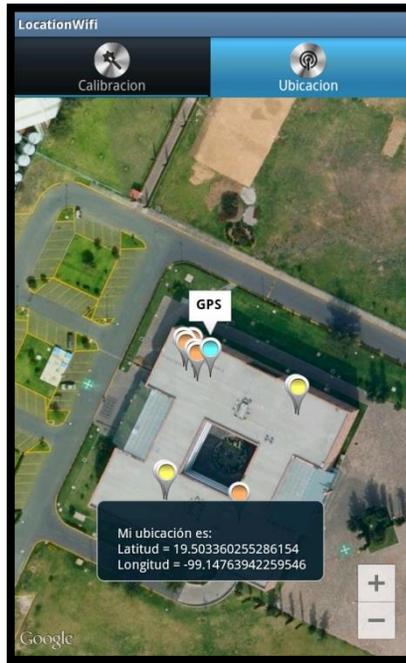


Figura 5. 13 GPS en CIC-IPN

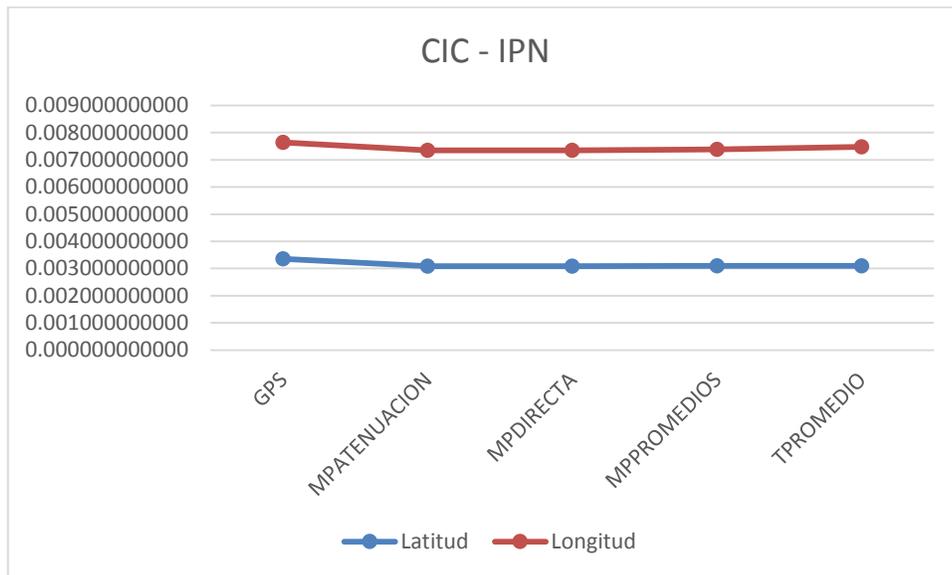


Figura 5.14 Análisis de variación de resultados de posicionamiento CIC - IPN

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

En la tabla 5.6 se muestran los resultados obtenidos por los métodos de posicionamiento descritos en este trabajo, en las Figuras 5.15, 5.16 y 5.17 se muestra la posición arrojada por el método de acuerdo con el tipo de calibración seleccionado. Además en la Figura 5.18 se visualiza una gráfica donde se muestra la variación entre los resultados arrojados de los métodos de posicionamiento.

CIDETEC - IPN						
	MULTILATERACIÓN PROBABILÍSTICA		TRILATERACIÓN		GPS	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Calibración directa	-99.146883925	19.503329638	-99.147029187	19.503392143	-99.144108841	19.507118286
Calibración por promedios	-99.146509705	19.502725696	-99.146797760	19.502747678		
Calibración por atenuación	-99.146883915	19.503328407	-99.146547605	19.503164324		

Tabla 5. 6 Resultados de métodos de ubicación CIDETEC – IPN



Figura 5. 15 Multilateración probabilística en CIDETEC - IPN



Figura 5.16 Trilateración en CIDETEC - IPN



Figura 5.17 GPS en CIDETEC – IPN

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

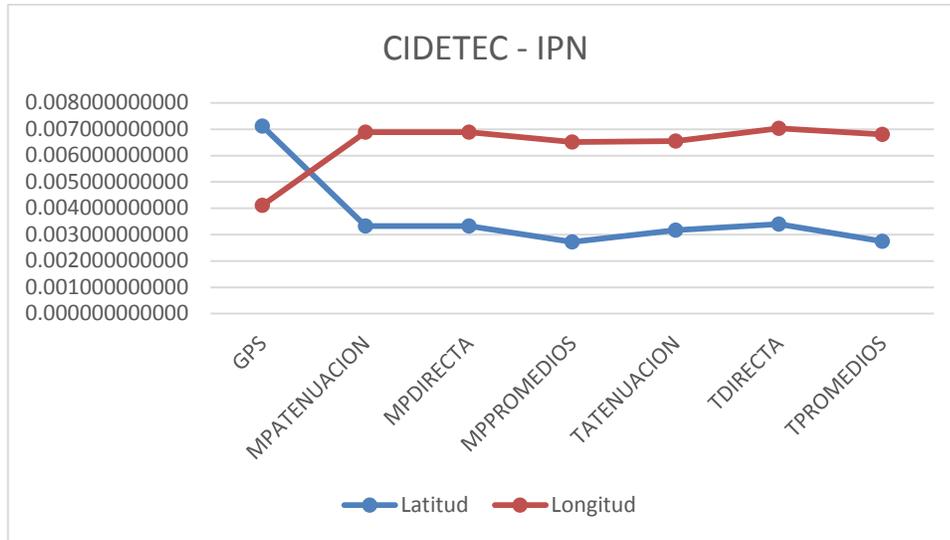


Figura 5.18 Análisis de variación de resultados de posicionamiento CIDETEC - IPN

En la tabla 5.7 se muestran los resultados obtenidos por los métodos de posicionamiento descritos en este trabajo, en las Figuras 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22 se muestra la posición arrojada por el método de acuerdo con el tipo de calibración seleccionado. Además en la Figura 5.23 se visualiza una gráfica donde se muestra la variación entre los resultados arrojados de los métodos de posicionamiento.

ESCOM - IPN						
	MULTILATERACIÓN PROBABILÍSTICA		TRILATERACIÓN		GPS	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Calibración directa	-99.147105232	19.504372238	INFINITY	INFINITY	-99.147159303	19.504502615
Calibración por promedios	-99.147107011	19.504299261	-99.15684	19.6836		
Calibración por atenuación	-99.147105232	19.504372238	INFINITY	INFINITY		

Tabla 5.7 Resultados de métodos de ubicación ESCOM – IPN

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN



Figura 5.19 Multilateración probabilística ESCOM - IPN

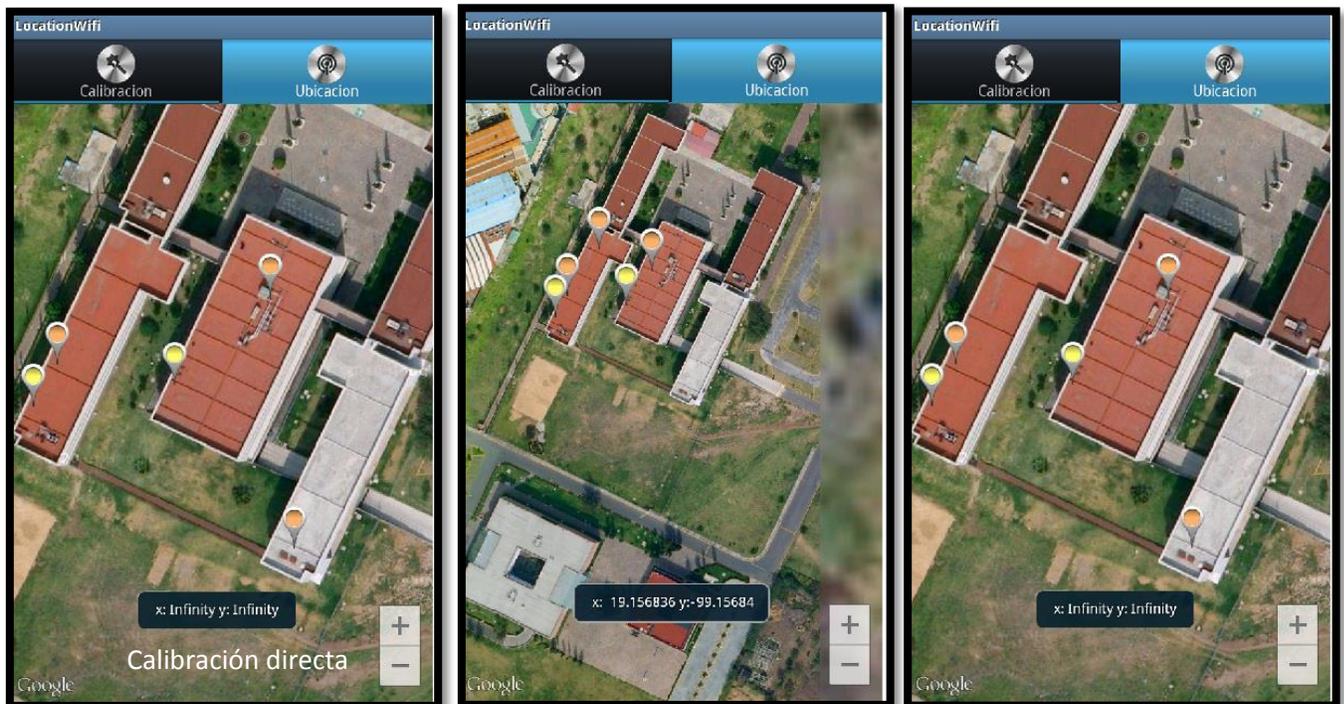


Figura 5.20 Trilateración en ESCOM - IPN

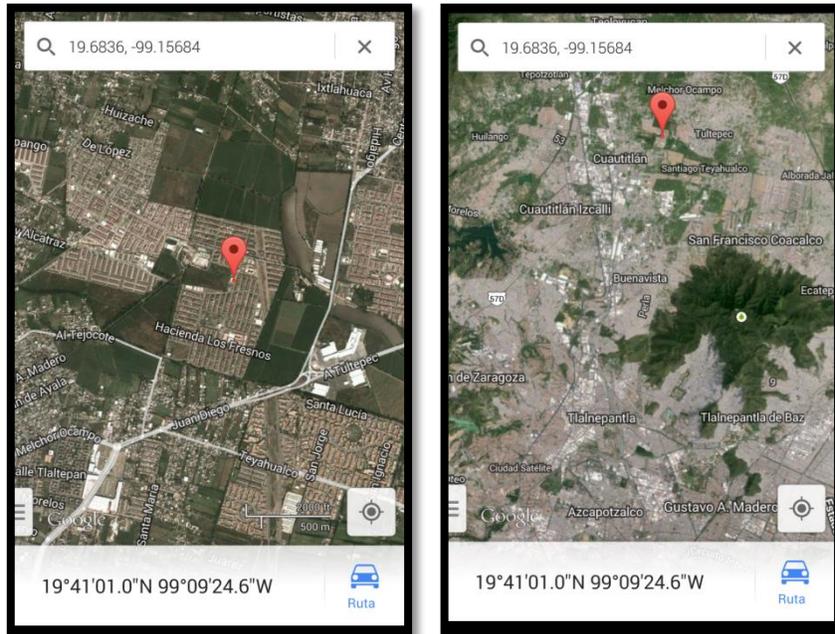


Figura 5.21 Posición real trilateración en ESCOM - IPN

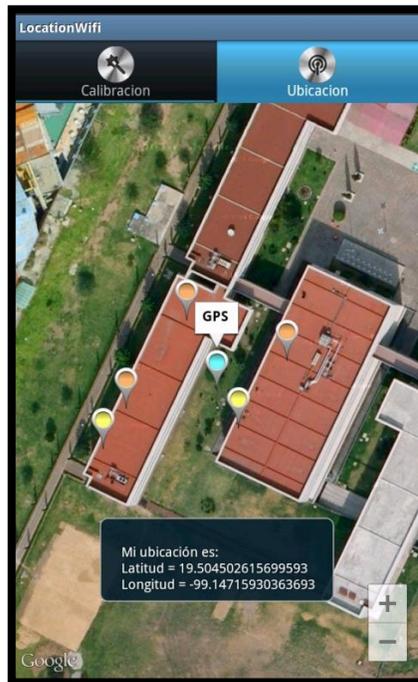


Figura 5. 22 GPS en ESCOM – IPN

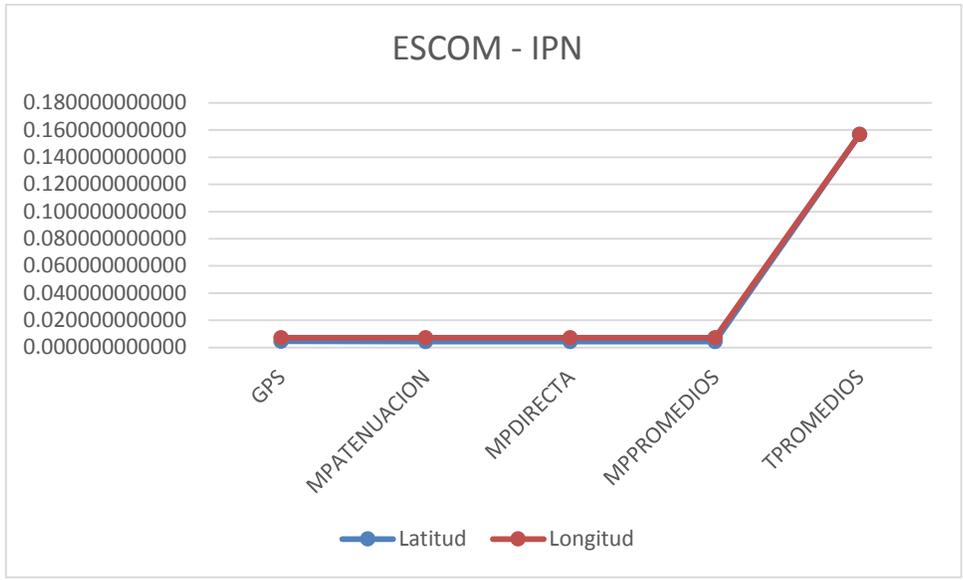


Figura 5.23 Análisis de variación de resultados de posicionamiento ESCOM – IPN

Al observar la Figura 5.23, la trilateración por promedios arroja un valor extremadamente diferente en comparación con el resto de las técnicas de posicionamiento, es por esto que en la Figura 5.24 se observa de una manera más clara la variación de los cálculos de posicionamiento.

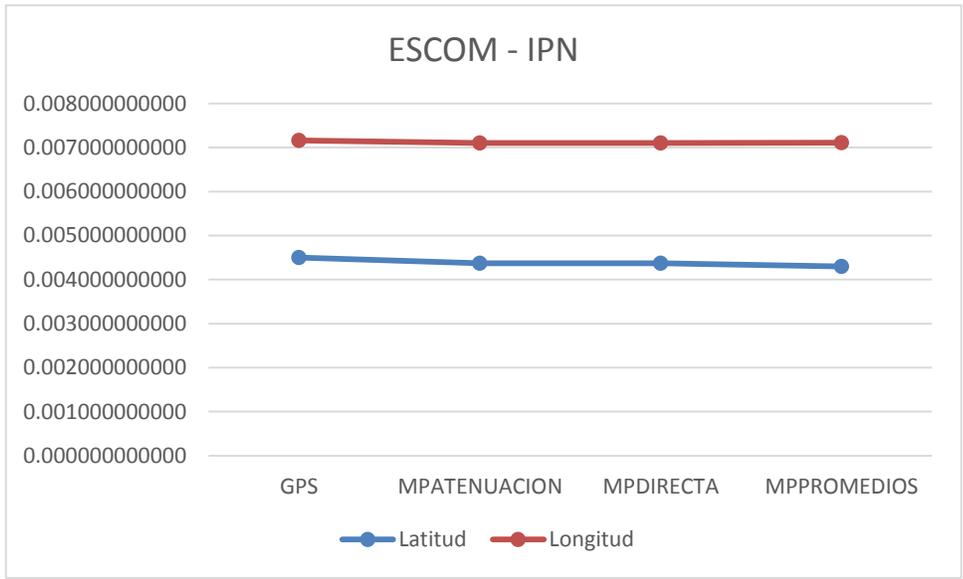


Figura 5. 24 Análisis de variación de resultados en ESCOM – IPN

SISTEMA UBICUO PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

CIC - IPN

En la tabla 5.8 se muestran los resultados obtenidos por los métodos de posicionamiento descritos en este trabajo, en la Figura 5.25, 5.26 y 5.27 se muestra la posición arrojada por el método de acuerdo con el tipo de calibración seleccionado. Además en la Figura 5.28 se visualiza una gráfica donde se muestra la variación entre los resultados arrojados de los métodos de posicionamiento.

PLAZA TORRES LINDAVISTA						
	MULTILATERACIÓN PROBABILÍSTICA		TRILATERACIÓN		GPS	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Calibración directa	-99.14367770157	19.505313393600	-99.14360108	19.505235924	-99.1438572726	19.505606051792
Calibración por promedios	-99.14374392139	19.505424444839	-99.14380977	19.505543945		
Calibración por atenuación	-99.14367770101	19.505313368543	-99.14348759	19.505562767		

Tabla 5. 8 Resultados de métodos de ubicación “Plaza Torres Lindavista”

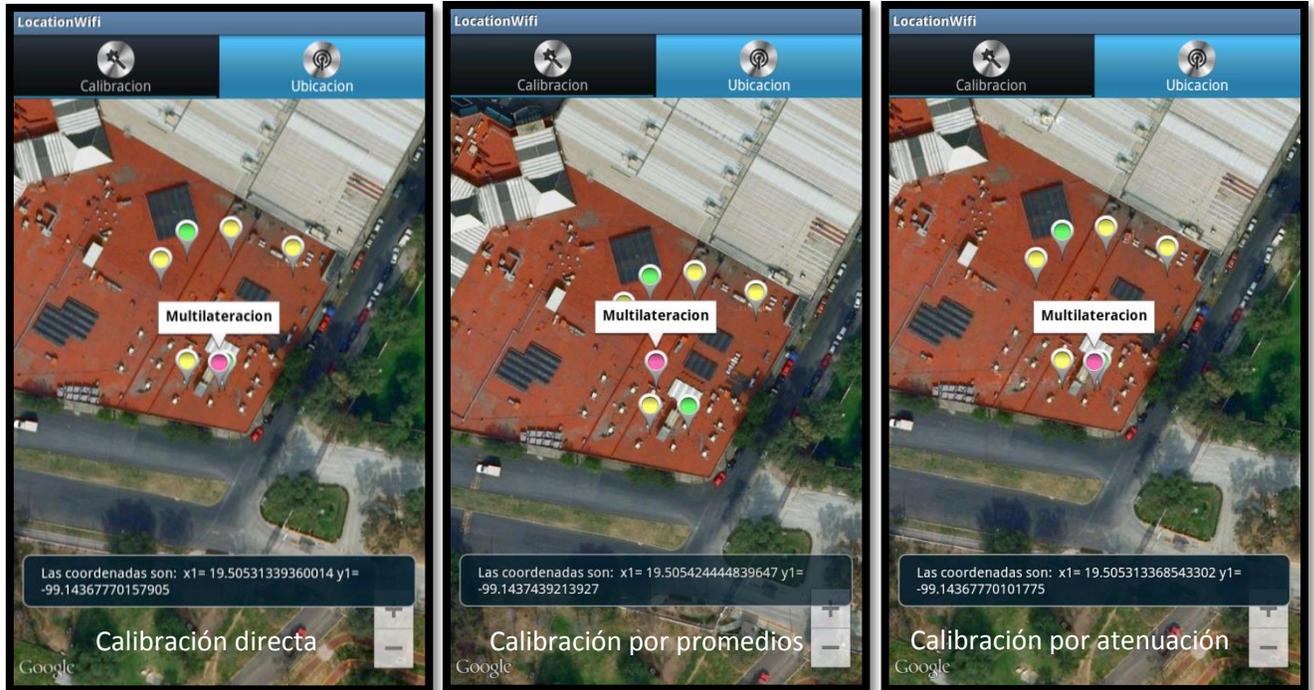


Figura 5.25 Multilateración probabilística en Plaza Torres Lindavista

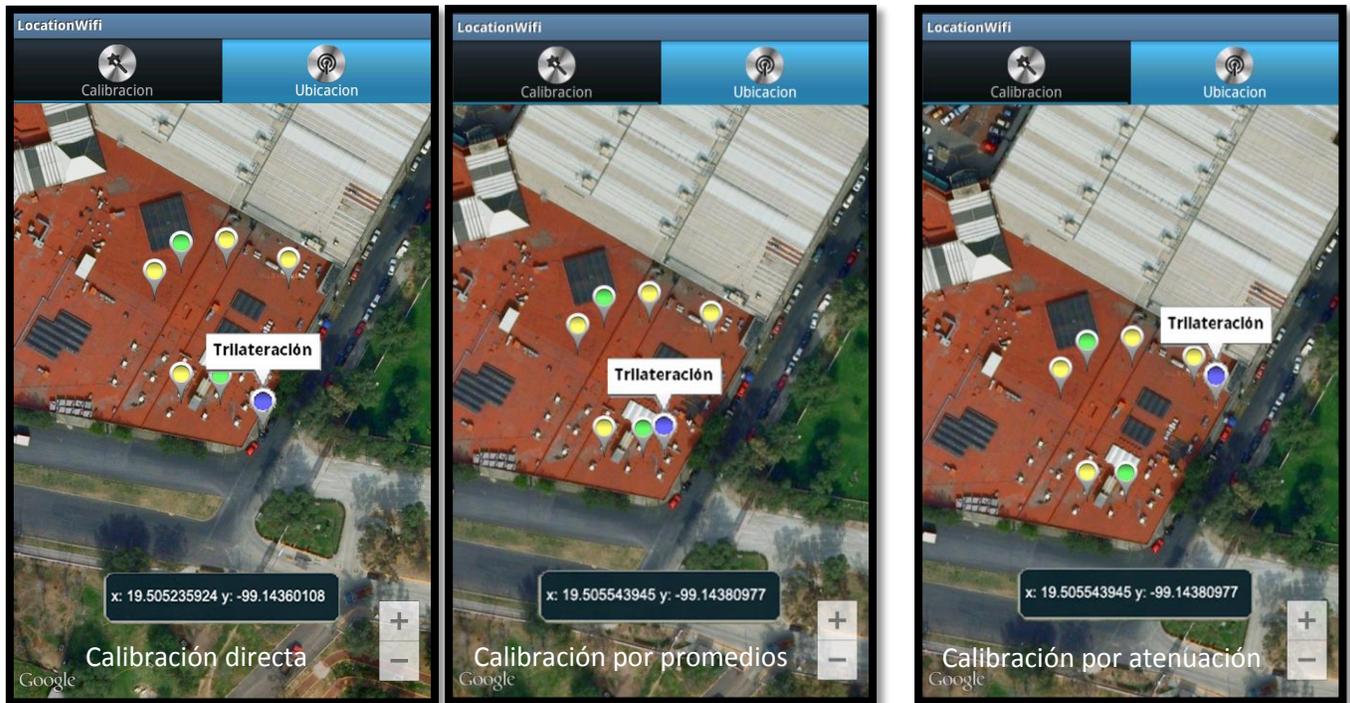


Figura 5.26 Trilateración en "Plaza Torres Lindavista"

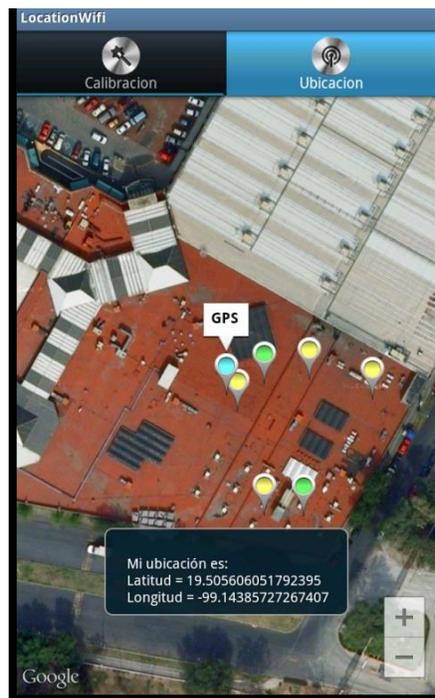


Figura 5.27 GPS en "Torres Lindavista"

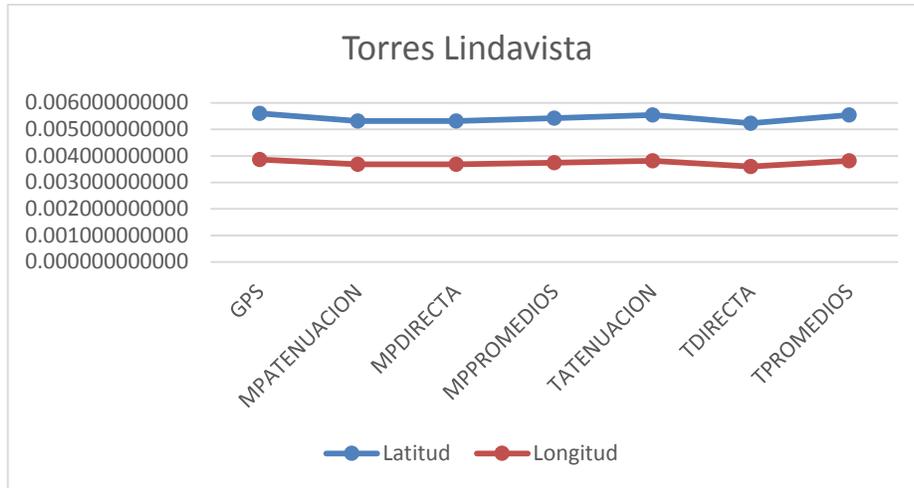


Figura 5.28 Análisis de variación de resultados de posicionamiento “Torres Lindavista”

Una vez mostrado lo anterior se puede hacer un análisis con los valores obtenidos con GPS y los valores de multilateración para poder visualizar el margen de error que presentan, solo se puede realizar este análisis ya que en algunas pruebas se indetermino el resultado del método de trilateración, por lo que no se tienen datos suficientes para este análisis.

En la tabla 5.9 se muestran los errores que arrojó la comparación de multilateración probabilística vs GPS y en la Figura 5.28 se muestra la gráfica donde se presenta la variación de estos números.

Error	Latitud	Longitud
GPS vs MP Atenuación	3.63526E-06	1.95521E-06
GPS vs MP Promedios	4.85924E-06	1.46207E-06
GPS vs MP Directa	3.63292E-06	1.95522E-06

Tabla 5.9 Errores en posicionamiento.

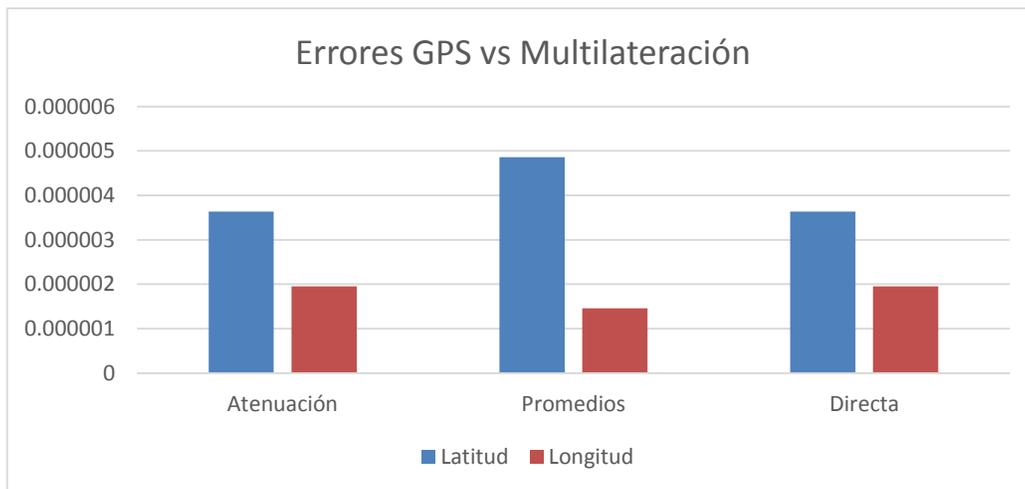


Figura 5.29 Diferencia de errores en posicionamiento

Capítulo 6

“Conclusiones y trabajo a futuro”

En este capítulo se presentan las conclusiones de este trabajo de investigación, así como el trabajo a futuro y las actividades de divulgación donde se participó.

6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis cumplieron con los objetivos inicialmente planteados, donde se logró la recuperación de los datos de las balizas oficiales en las zonas de las pruebas.

Cabe mencionar que fueron implementadas tres técnicas de calibración en las cuales se visualizaron diferentes resultados en los momentos de la conversión de dBm a metros:

- La calibración que retorna los valores más grandes es la calibración por atenuación, esto es porque ningún escenario es el mismo y como se mencionó en el capítulo 3, para esta calibración es necesario contar cuantas paredes, pisos, equipos de cómputo y de acuerdo con ese conteo y el tipo de material son los valores que serán agregados a la formula.
- La calibración directa entrega valores similares a los valores de la calibración por promedios, recordando que en [37] el método fue propuesto para un escenario libre de obstáculos, por esto es que los valores son más precisos a los de calibración por atenuación.
- La calibración por promedios es la que da los valores más precisos, ya que para poder realizar ésta se contempla el obstáculo común en todas las redes que es el muro o pared, resaltando que para este tipo de calibración fue necesario hacer tres mediciones, dos con obstáculo y una libre de estos.

Asimismo, se presentó la implementación en un dispositivo móvi con sistema operativo Android, de un nuevo método de posicionamiento llamado **multilateración probabilística**, el cual, fue utilizado para determinar una posición en dos dimensiones haciendo uso de la intensidad de la señal de un conjunto de balizas o antenas que se encuentren en el radio de cobertura del dispositivo.

De la misma forma, fue implementado el uso del GPS y de la técnica de trilateración, con el fin de poder comparar la eficacia y funcionamiento del método multilateración probabilística. Las técnicas fueron probadas en escenarios no simulados, permitiendo concluir lo siguiente:

- El método de trilateración se ve seriamente afectado por la relación entre las balizas y el lugar en el que se está realizando la prueba, ya que si existe una colinealidad el método se indetermina, en tanto que en la misma prueba con el método de multilateración nos arroja un resultado sin importar la posición de las antenas.
- Se puede observar que, aunque las pruebas fueron realizadas en interiores de edificios, los resultados arrojados por el GPS son mostrados fuera del edificio donde se realizó la medición, ya que la estructura de los edificios no permitió hacer una correcta lectura de los satélites que componen al GPS.

- A pesar de que el método de multilateración probabilística puede utilizar un número arbitrario de antenas, se tomaron solamente tres para poder comparar el resultado con el que se obtuvo del método de trilateración, sin embargo multilateración probabilística puede hacer uso de todas las antenas que se encuentren en el alcance.
- Se puede concluir que entre el método de trilateración, multilateración y GPS existen resultados similares.

6.2 Trabajo a futuro

A pesar de que el sistema propuesto, cumple con el objetivo de implementar un nuevo método de posicionamiento en un dispositivo móvil, que corrija los errores presentados por trilateración y por el GPS, aún queda un punto por atacar, el cual consiste en tomar antenas o balizas y dispositivos móviles que se encuentren alrededor y a un salto del dispositivo del que se está calculando la posición. Este punto permitirá que este sistema pueda funcionar en cualquier lugar sin necesidad de registrar las antenas fijas y oficiales con las que cuente el lugar en el que se realiza el cálculo.

Otro punto por atacar es el posicionamiento tridimensional, el cual también es contemplado para un trabajo a futuro dentro de la aplicación presentada.

6.3 Divulgación de la investigación

Con el propósito de participar en el fomento de la investigación y de promover el trabajo realizado, se elaboraron dos artículos de investigación los cuales fueron aceptados en los siguientes congresos:

- **Sistema de recomendación geoespacial para la localización de servicios de salud.** Artículo aceptado en la *9ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (CISTI'2014)*, a celebrar del 18 al 21 de Junio de 2014, en la universidad LaSalle de Barcelona, España [26].
- **Geospatial recommender system for the location of health services.** Artículo aceptado en la *14th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2014)* a celebrar del 30 de Junio al 3 de Julio en la universidad de Minho en Portugal [27].

ANEXOS

ANEXO A. Obtención de la llave para el uso de Google Maps v2.

Para implementar google maps en un dispositivo móvil con sistema operativo android es necesario obtener una llave, la versión con la que se trabajo fue la versión dos, para la obtención de la llave se deben seguir los siguientes pasos:

- Ingresar a <https://console.developers.google.com/project> donde crearemos un nuevo proyecto (Figura A.1).

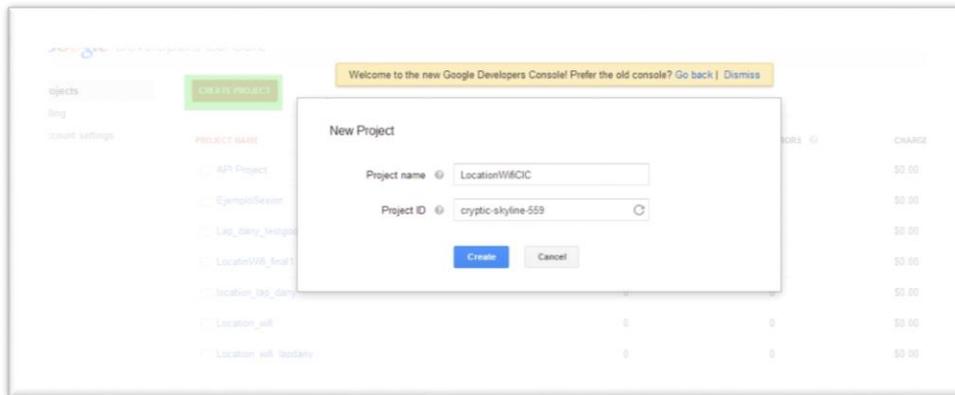


Figura A.1 Creación de proyecto en Developers Console.

- Una vez que se fue creado el proyecto, se debe ingresar a la parte de *APIs & auth* donde indicaremos que servicios requerimos para esta llave generada, los servicios a utilizar son *Google Maps Android API v2* y *Google Maps JavaScript API v3* (Figura A.2).



Figura A.2 Activación de servicios.

- Una vez que fueron seleccionados los servicios, se ingresa a la parte de *Credentials*, donde en *Public API access* se generará una nueva llave para Android (Figura A.3).

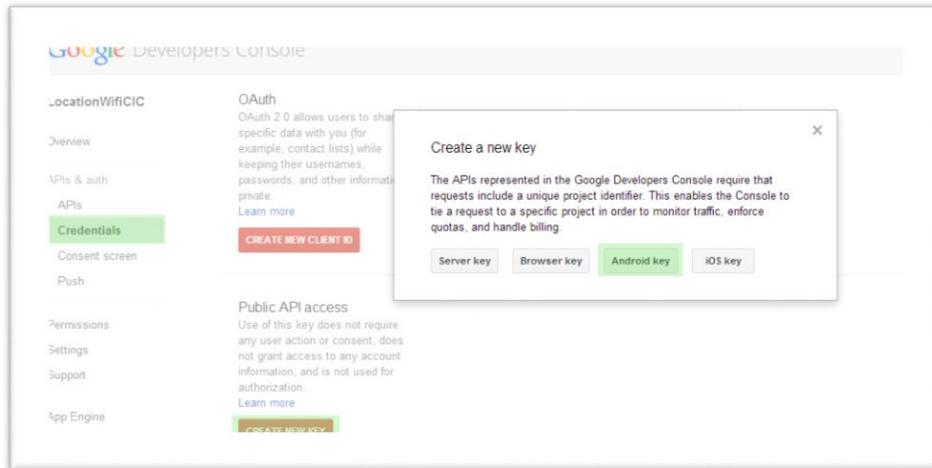


Figura A.3 Petición de nueva llave.

- Al presionar la opción para crear una nueva llave de android nos pedirá un código llamado SHA1, a través de este código se puede hacer uso de ciertos servicios que proporciona google, además de que a través de este código se mantiene un control del uso de los servicios para poder evitar abusos de cualquier tipo.

Este código se obtiene en el equipo de cómputo desde el que se está programando la aplicación, para esto es necesario conocer la ubicación del archivo *debug.keystore*, esta ruta se obtiene entrando a eclipse y dando clic en *Window -> Preferences -> Android -> Build -> Default debug keystore* (Figura A.4).

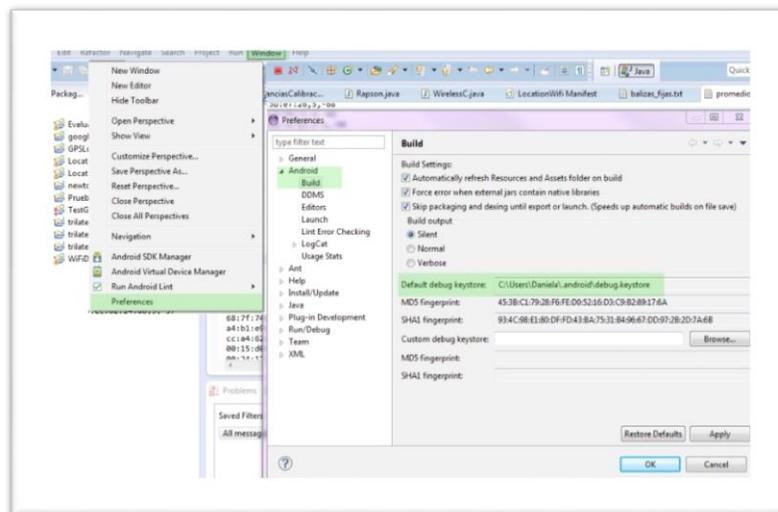


Figura A.4 Obtención de ruta debug.keystore.

- Una vez que se obtuvo la ruta, se abre el símbolo del sistema, accedamos a la ruta obtenida y se escribe lo siguiente:

```
keytool -list -v -keystore debug.keystore -alias androiddebugkey -storepass android -keypass android
```

Una vez ingresado el comando arrojará una serie de datos, de los cuales se utilizara el código SHA1 (Figura A.5).

```
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\Daniela>cd .\android

C:\Users\Daniela\android>"C:\Program Files\Java\jdk1.7.0_15\bin\keytool.exe" -l
-v -keystore debug.keystore -alias androiddebugkey -storepass android -keypa
android
Nombre de Alias: androiddebugkey
Fecha de Creación: 1/02/2013
Tipo de Entrada: PrivateKeyEntry
Longitud de la Cadena de Certificado: 1
Tipo de Certificado: 1
Propietario: CN=Android Debug, O=Android, C=US
Emisor: CN=Android Debug, O=Android, C=US
Número de serie: 3dfe79dd
Válido desde: Fri Feb 01 11:33:45 CST 2013 hasta: Sun Jan 25 11:33:45 CST 2043
Impresiones digitales del Certificado:
MD5: 45:3B:C1:79:28:F6:FE:D0:52:16:D3:C9:B2:89:17:6A
SHA1: 93:4C:98:E1:80:DF:FD:43:BA:75:31:B4:96:67:DD:97:2B:2D:7A:6B
SHA256: DD:39:1F:4C:5D:DF:95:A7:25:28:14:5E:EB:FB:3B:AE:CF:81:5A:6B:93:
19:61:29:EC:D3:2C:F2:B9:71:43
Nombre del Algoritmo de Firma: SHA256withRSA
Versión: 3

Impresiones:
ObjectID: 2.5.29.14 Criticality=false
SubjectKeyIdentifier I
Identifier I
W: DB 37 FD F5 43 2F 5C 1D 63 6E A1 C1 B7 44 22 9A .7..C/\..cn...D".
O: 3C 33 6E 85 <3n.

C:\Users\Daniela\android>
```

Figura A.5 Código SHA1.

- Finalmente para obtener la llave para trabajar con mapas en la página de google donde se estaba creando la llave ingresamos el código SHA1, seguido por el símbolo ";" y el nombre del paquete del proyecto le damos clic en crear (Figura A.6).

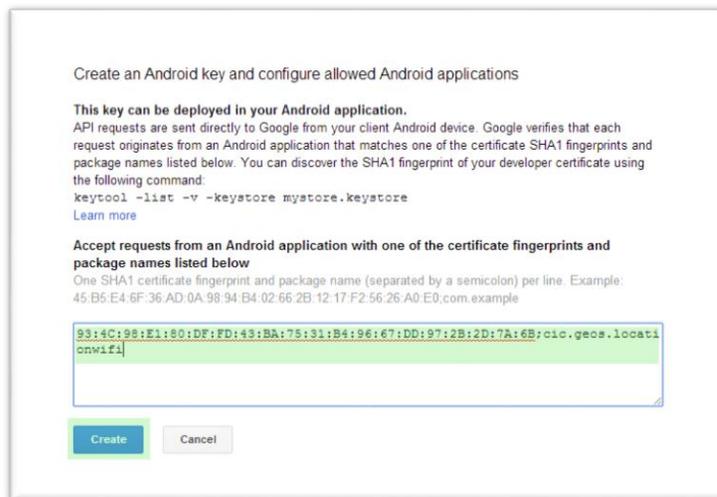
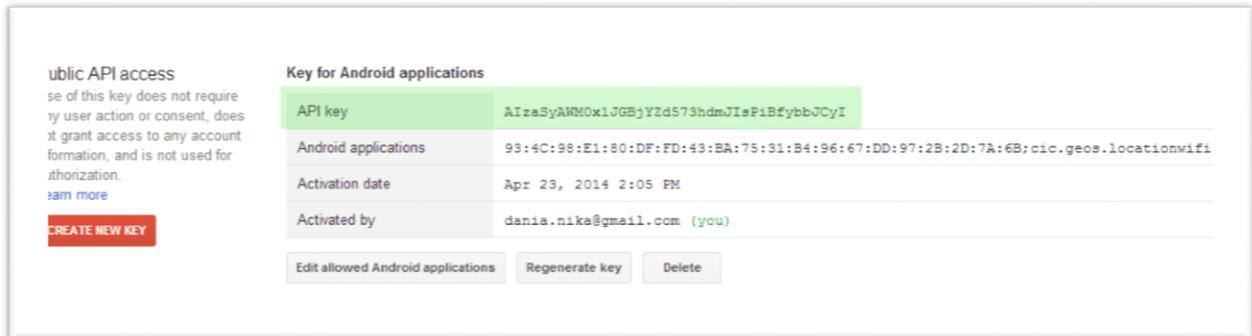


Figura A.6 Ingreso de SHA1 y paquete.

- Una vez hecho lo anterior nos arrojará una clave en el apartado API key (*Figura A.7*), esta clave debe ser ingresada en el archivo Manifest.xml del proyecto del sistema.



The screenshot displays the 'Key for Android applications' section in the Google Cloud Platform console. On the left, there is a section for 'Public API access' with a 'CREATE NEW KEY' button. The main area shows a table with the following details:

Key for Android applications	
API key	AIzaSyANM0x1UGBjYZd573hdmJIeF4BfybbJCyI
Android applications	93:4C:98:E1:80:DF:FD:43:BA:75:31:B4:96:67:DD:97:2B:2D:7A:6B:cic.geos.locationwifi
Activation date	Apr 23, 2014 2:05 PM
Activated by	dania.nika@gmail.com (you)

Below the table are three buttons: 'Edit allowed Android applications', 'Regenerate key', and 'Delete'.

Figura A.7 API key.

REFERENCIAS

- [1] Slanina, Z., & Krejcar, O. (2010). Managing of Large Data Artifacts on Mobile Devices with an Ultra Sensitive GPS Devices. In *Mobile Networks and Management* (pp. 143-154). Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Martínez Pérez, C.A., (2011). *Reducción del margen de error de posición en sistemas basados en GPS*. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo. Instituto Politécnico Nacional, México.
- [3] Pineda Briseño, A. (2013). *Enrutamiento y posicionamiento integrado en redes móviles Ad Hoc*. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional, México.
- [4] Barsocchi, P., Lenzi, S., Chessa, S., & Giunta, G. (2009, April). A novel approach to indoor RSSI localization by automatic calibration of the wireless propagation model. In *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th* (pp. 1-5). IEEE.
- [5] World Internet Project México (2013). Estudio 2013 de hábitos y percepciones de los mexicanos sobre Internet y diversas tecnologías asociadas. (ed. 5). (pp. 8-16) Tecnológico de Monterrey Campus Estado de México.
- [6] Teunissen, P. J. G. (2001, June). GNSS ambiguity bootstrapping: theory and application. In *Proceedings of International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation* (pp. 246-254).
- [7] Kornhauser, A. (2005). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer
- [8] Domínguez Torrecilla, J. (2010). *Manual WiFi – Calculo de alcance*.
- [9] Jin, S., Cardellach, E., & Xie, F. (2014). Introduction to GNSS. In *GNSS Remote Sensing* (pp. 3-16). Springer Netherlands.
- [10] Steede-Terry, K. (2000). *Integrating GIS and the Global Positioning System*. An introduction to the Global Positioning System (ed.), (pp. 1-11). California, EUA: ESRI Press.
- [11] Chlamtac, I., Conti, M., & Liu, J. J. N. (2003). Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks*, 1(1), 13-64.
- [12] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
- [13] Loo, J., Mauri, J. L., & Ortiz, J. H. (Eds.). (2012). *Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends*. CRC Press.

- [14] Rudafshani, M., & Datta, S. (2007, April). Localization in wireless sensor networks. In *Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on* (pp. 51-60). IEEE.
- [15] Boukerche, A., Oliveira, H. A., Nakamura, E. F., & Loureiro, A. A. (2007). Localization systems for wireless sensor networks. *IEEE wireless Communications, 14*(6), 6-12.
- [16] Mao, G., Fidan, B., & Anderson, B. (2007). Wireless sensor network localization techniques. *Computer networks, 51*(10), 2529-2553.
- [17] Kumar, P., Reddy, L., & Varma, S. (2009, December). *Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in Wireless Sensor Networks. Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), 2009 Fifth IEEE Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- [18] Helen, M., Latvala, J., Ikonen, H., & Niittyalahti, J. (2001, July). Using calibration in RSSI-based location tracking system. In *Proc. of the 5th World Multiconference on Circuits, Systems, Communications & Computers (CSCC20001)*.
- [19] Niculescu, D., & Nath, B. (2003). DV based positioning in ad hoc networks. *Telecommunication Systems, 22*(1-4), 267-280.
- [20] Nagpal, R., Shrobe, H., & Bachrach, J. (2003, January). Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network. In *Information Processing in Sensor Networks* (pp. 333-348). Springer Berlin Heidelberg.
- [21] Hwang, S., Yu, D. (2012). GPS localization improvement of Smartphones Using Built-in Sensors. *International Journal of Smart Home, 6*(3), pp. 1-
- [22] Joshva Devadas, T., Seelammal, C., & Sadasivam, S. (2013). On Data Cleaning with Intelligent Agents to Improve the Accuracy of Wi-Fi Positioning System using GIS. *Asian Journal of Scientific Research, 6*(1).
- [23] Wang, L., & Xu, Q. (2010). GPS-Free Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks. *Sensors, 10*(6), 5899-5926.
- [24] Akcan, H., Kriakov, V., Brönnimann, H., & Delis, A. (2006, June). GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks. In *Proceedings of the 5th ACM international workshop on Data engineering for wireless and mobile access* (pp. 35-42). ACM.
- [25] Bolívar, J. E. B., Arango, A. J. B., & Arbeláez, M. B. (2005). El método de newton-raphson-la alternativa del ingeniero para resolver sistemas de ecuaciones no lineales. *Scientia Et Technica, 11*(27), 221-224.
- [26] Avila, D., Lopez, M., Maya, D., Olvera, X., Guzmán, G., Torres, M., Quintero, R., Quintana, I. (2014). Sistema de recomendación geoespacial para la localización de servicios de salud. *CISTI'2014 - 9ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*.

[27] Avila, D., Lopez, M., Maya, D., Olvera, X., Guzmán, G., Torres, M., Quintero, R., Moreno, M. (2014). Geospatial recommender system for the location of health services. *ICCSA 2014 - 2014 International Conference on Computational Science and Its Applications*.