



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN Y
MONITOREO PARA GUAYAQUIL UTILIZANDO TECNOLOGÍA TDOA
DE ESPECTRO ENSANCHADO**

AUTOR:

MIGUEL ÁNGEL ORELLANA HERNÁNDEZ

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
**INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

ING. NÉSTOR ZAMORA CEDEÑO, M.SC.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el estudiante
MIGUEL ÁNGEL ORELLANA HERNÁNDEZ como requerimiento parcial para la
obtención del Título de INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR

Ing. Néstor Zamora Cedeño, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Armando Heras Sánchez

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Miguel Ángel Orellana Hernández**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN Y MONITOREO PARA GUAYAQUIL UTILIZANDO TECNOLOGÍA TDOA DE ESPECTRO ENSANCHADO**” previa a la obtención del Título de INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2015

EL AUTOR

Miguel Ángel Orellana Hernández



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Miguel Ángel Orellana Hernández**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN Y MONITOREO PARA GUAYAQUIL UTILIZANDO TECNOLOGÍA TDOA DE ESPECTRO ENSANCHADO**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2015

EL AUTOR:

Miguel Ángel Orellana Hernández

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a todos los profesores que han impartido sus conocimientos durante toda mi vida estudiantil. Cada uno de ellos aportó en mi formación para llegar a donde estoy.

A las autoridades de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo y a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por aceptarme como estudiante y por su otorgación de reconocimientos que me impulsaron a mejorar cada vez más mi desempeño.

A la Fundación Leonidas Ortega Moreira por otorgarme su beca de gran prestigio que me permitió acceder a un sistema educativo de calidad.

Al Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas, que me proporcionó los medios para subsistir en un momento de necesidad durante una etapa de mi carrera.

A mi familia, cuyo apoyo moral me dio fuerzas cada vez que lo necesitaba.

Y a Dios por crear las circunstancias y oportunidades en mi vida que me permitieron salir adelante.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo final a mi padre, quien me guio durante la etapa más importante de mi vida hasta el momento y me enseñó la importancia de la palabra, el amor y el conocimiento.

A mi madre, que me dio vida, y cuya influencia, a pesar de todo, me hizo más fuerte.

A mi abuela, fuente inagotable de amor y cariño, y a quien admiro enormemente por su fortaleza.

Y a todos mis hermanos por brindarme el apoyo fraternal que me ayudó a superar muchos obstáculos en mi vida.

RESUMEN

El texto presente analiza los fundamentos del funcionamiento de los sistemas de geolocalización y plantea una posible solución tecnológica apropiada para la ciudad de Guayaquil, para reducir el índice de delitos. Se estudia el esquema de localización TDOA y la tecnología de espectro ensanchado para ser aplicados al diseño. Y se describe el alcance y las ventajas del sistema diseñado haciendo comparación con otros sistemas conocidos.

Palabras claves: geolocalización, TDOA, espectro ensanchado

ABSTRACT

The present text analyzes the fundamentals of how geolocation systems work and proposes a possible technological solution suitable for the city of Guayaquil to reduce crime rates. We will study the location scheme of TDOA along with spread spectrum technology in order to apply them to this design. Also, we will describe the scope and the advantages of this system, in comparison with other known systems.

Keywords: geolocation, TDOA, spread spectrum

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	I
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	II
AUTORIZACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	7
1.1 Justificación	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Tipo de investigación	9
1.4 Hipótesis	9
1.5 Metodología	9
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS RELEVANTES	11
2.1 Introducción	11

2.2 Sistemas inalámbricos	11
2.3 Sistemas de radio móviles.....	14
2.4 Estructura general de un sistema de radio móvil.....	16
2.5 Sistemas de espectro ensanchado	18
2.5.1 Espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS).....	20
2.6 Software Radio Mobile	23
CAPÍTULO 3: TECNOLOGÍAS DE GEOLOCALIZACIÓN	24
3.1 Antecedentes	24
3.2 La geolocalización inalámbrica.....	25
3.3 Arquitectura de un sistema de geolocalización	28
3.4 Tecnologías para geolocalización inalámbrica	32
3.4.1 Técnicas basadas en dirección	32
3.4.2 Técnicas basadas en distancia.....	34
3.4.2.1 Métodos de tiempo de llegada.....	35
3.4.2.2 Método de intensidad de señal	38
3.4.2.3 Método de fase de señal recibida.....	38
3.4.3 Técnicas basadas en “fingerprinting”	39
3.4 Funcionamiento de TDOA.....	39
3.5 Sistemas de localización usados actualmente	42
3.5.1 GPS	42
3.5.2 GPS Asistido.....	47

3.5.3 Sistema de recuperación de vehículos (LoJack)	49
CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE LOCALIZACIÓN	51
4.1 Visión general del sistema	51
4.2 Segmento Usuario	53
4.2.1 Unidad Transponedora de Localización (UTL).....	53
4.2 Segmento Infraestructura	55
4.2.1 Estación transceptora secundaria	56
4.2.1.1 Sincronización	58
4.3 Segmento Central de Operaciones	58
4.3.1 Centro de control.....	59
4.3.2 Estación transceptora primaria.....	60
4.3.3 Estación transmisora de activación	62
4.4 Consideraciones de enlaces.....	63
4.4.1 Enlace descendente de activación: ETA-UTL.....	64
4.4.2 Enlace ascendente de localización: UTL-ETS	66
4.4.2 Enlaces centrales	67
4.5 Expansión de cobertura.....	71
4.6 Aplicaciones adicionales: SCADA.....	71
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1 Conclusiones	73
5.2 Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA	75
GLOSARIO	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Infraestructura de sistema inalámbrico genérico	15
Fig. 2.2 Sistema inalámbrico terrestre de sitio único.....	16
Fig. 2.3 Sistema de sitio múltiple de votación	17
Fig. 2.4 Sistema sitio múltiple simulcast o multicast	18
Fig. 2.5 Comparación entre señal de banda angosta y señal de espectro ensanchado	19
Fig. 2.6 Un sistema DSSS	21
Fig. 3.1 Arquitectura funcional de un sistema de geolocalización	29
Fig. 3.2 Arquitectura general de un sistema de geolocalización	31
Fig. 3.3 Técnica de AOA para geolocalización.....	33
Fig. 3.4 Técnica basada en dirección para geolocalización	35
Fig. 3.5 Mínimos cuadrados recursivo para determinar la ubicación del MT usando siete GBSs	37
Fig. 3.6 Operación de TDOA	40
Fig. 3.7 Comparación de cálculos TOA y TDOA	41
Fig. 3.8 Constelación GPS	43
Fig. 3.9 Trama de mensaje GPS	45
Fig. 3.10 Modulación y codificación de señal GPS satelital usando código C/A	45
Fig. 3.11 Demodulación y decodificación de señal GPS satelital usando código C/A	46
Fig. 3.12 Comparación de esquema GPS tradicional (a) con AGPS (b)	48
Fig. 4.1 Esquema simplificado del funcionamiento del sistema	51
Fig. 4.2 Segmentos generales del sistema	52
Fig. 4.3 Aspecto común de una UTL.....	54

Fig. 4.4 Activación de UTL modo remoto (a) y modo manual (b)	55
Fig. 4.5 Configuración estrella de los ETS	55
Fig. 4.6 Posible aspecto de la antena receptora	57
Fig. 4.7 Posible aspecto de la antena transmisora	57
Fig. 4.8 Diagrama de bloque de una ETS	58
Fig. 4.9 Ejemplo de un centro de control	60
Fig. 4.10 Convergencia de información en la ETP	61
Fig. 4.11 Diagrama de bloque de la ETP	62
Fig. 4.12 Diagrama de bloque de la ETA	63
Fig. 4.13 Vista aérea (izquierda) y mapa de elevación (derecha) de la ciudad de Guayaquil	64
Fig. 4.14 Cobertura de la señal emitida por la ETP	65
Fig. 4.15 Cobertura de la señal emitida por una UTL en ubicación arbitraria	67
Fig. 4.16 Enlaces de los ETS con la ETP	68
Fig. 4.17 Líneas de vista entre ETS2 y ETP (a), ETS3 y ETP (b), ETS4 y ETP (c), ETS5 y ETP (d)	69
Fig. 4.18 Enlace entre ETP/ETA y el centro de control	70
Fig. 4.19 Línea de vista entre ETP/ETA y el centro de control	70

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Actualmente se vive una situación de inseguridad en la sociedad ecuatoriana debido a la percepción de un alto índice de crímenes en el país. Como resultado se ha implementado varias soluciones tecnológicas propuestas con el propósito de reducir la frecuencia de delitos en nuestro medio y así aportar al incremento de la calidad de vida de la ciudadanía.

En el país existen compañías que utilizan sistemas como Lo-Jack y GPS para combatir el hurto y localizar objetos. Sin embargo, aunque estas empresas son capaces de proporcionar cierto nivel de seguridad, en varias instancias presentan importantes limitaciones, tales como la cobertura de área, el grado de penetración de señal en sectores urbanos, el tiempo máximo para recuperar la carga perdida y la percepción de información en “tiempo-real”.

El sistema basado en tecnología TDOA de espectro ensanchado que se describirá en este trabajo pretende ser una solución mucha más eficaz para aplicaciones de localización, monitoreo y seguridad y vence a las limitaciones ya mencionadas que afecta a los sistemas conocidos. Por su gran potencial como proyecto y en vista de que esta tecnología nunca se ha visto en el Ecuador previamente, se amerita una investigación profunda para conocer los diferentes aspectos técnicos de esta temática y determinar los factores esenciales que permitirán diseñar el sistema de forma que pueda ser implementado en el Ecuador en un futuro próximo.

1.2 Planteamiento del problema

Los sistemas de localización existentes son insuficientes para combatir el ambiente de inseguridad actual de la ciudad de Guayaquil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Investigar y analizar tecnología TDOA de espectro ensanchado y comprender su funcionamiento para luego diseñar un sistema de localización y monitoreo eficaz y confiable para el Ecuador.

1.3.2 Objetivos específicos

- Entender con claridad los conceptos claves relevantes a la investigación
- Estudiar detalladamente la tecnología TDOA de espectro ensanchado que se pretende utilizar para el diseño del sistema
- Establecer los elementos esenciales que conforman el sistema y los enlaces que los interconecta
- Comprender el alcance y las aplicaciones del sistema
- Esquematizar la infraestructura general que tendría el sistema de localización y monitoreo en cuestión y realizar un modelo general de referencia del funcionamiento del sistema
- Analizar el terreno ecuatoriano usando mapas digitales y gráficos de elevación para determinar lugares idóneos para ubicar elementos importantes del sistema

1.4 Tipo de investigación

Este trabajo se puede clasificar como una investigación teórica ya que se busca simplemente conocer las tecnologías que se utilizan para la radiolocalización, con énfasis en TDOA. Posteriormente se pretende hacer un diseño de sistema, pero éste por el momento permanecerá solamente como un modelo de referencia teórica. El trabajo es también de carácter documental ya que se apoya primordialmente en fuentes o documentos confiables de cualquier especie. Y es descriptiva por lo que se desea hacer una descripción detallada de tecnologías y cómo se implementan en un sistema.

1.4 Hipótesis

El sistema de localización y monitoreo basado en tecnología TDOA de espectro ensanchado que se propone es más efectivo que otros sistemas conocidos en el Ecuador para reducir la inseguridad ciudadana en Guayaquil.

- Variable dependiente: la seguridad ciudadana en la ciudad de Guayaquil, Ecuador
- Variable independiente: sistemas de localización y monitoreo

1.5 Metodología

En el desarrollo de este trabajo se utiliza un método teórico por lo que se busca profundizar en el conocimiento de las tecnologías y sistemas de interés para el autor. Específicamente se realiza un análisis porque se estudia en detalle las tecnologías y los elementos que compondrían un sistema de localización y monitoreo.

El diseño se realiza con la ayuda del software de simulación Radio Mobile. Como este es un sistema con infraestructura distribuida por la ciudad y funciona mediante enlaces y la propagación de señales, ésta herramienta es muy útil en la determinación de ubicación de elementos de transmisión y recepción del sistema.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS RELEVANTES

2.1 Introducción

Antes de estudiar en detalle los sistemas de geolocalización, es conveniente revisar ciertos conceptos y principios generales que ayudarán a dar una mejor comprensión del sistema en cuestión. En esencia, esta sección describe los fundamentos de sistemas inalámbricos y consideraciones básicas relacionadas. Esto es importante ya que el sistema de geolocalización que se propone es uno que funciona inalámbricamente, o sea, con señales de radiofrecuencia. Se revisará conceptos bastante básicos que quizás ya son muy conocidos por la comunidad tecnológica, pero es necesario establecer el significado de ciertos conceptos claramente para evitar cualquier tipo de malentendido. El nombre de ciertos objetos tecnológicos podría cambiar de acuerdo a distintos criterios entre ingenieros, pero lo importante es comprender el concepto de dicho objeto para expresar la idea del sistema propuesto de la mejor forma.

2.2 Sistemas inalámbricos

En el sentido más general, un sistema inalámbrico es cualquier conjunto de elementos (o subsistemas) que operan interdependientemente y utilizan propagación no-guiada de ondas electromagnéticas para realizar una o varias funciones. (Black, DiPiazza, Ferguson, Voltmer, & Berry, 2008). Se puede citar unos cuantos ejemplos de sistemas que cumplen con esta definición:

- Sistemas que transmiten información entre dos o más ubicaciones, tales como sistemas de comunicación personal (PCS, personal communication system), sistemas de radio policial o para el departamento de bomberos, sistemas de banda ancha comerciales, sistemas de radiodifusión satelital, sistemas de telemetría y monitoreo remoto
- Sistemas que perciben el ambiente u objetos que se encuentran en el ambiente, incluyendo sistemas de radar que pueden ser usados para detectar la presencia de objetos en una región del ambiente y para medir su movimiento o posición relativa, sistemas para medir condiciones atmosféricas y sistemas para mapear la superficie de la Tierra u otros planetas.
- Sistemas de asistencia de navegación o que determinan la ubicación de un objeto en la Tierra o en el espacio.

Cada uno de estos sistemas contiene al menos una antena que transmite y al menos una que recibe. Una antena se la puede definir como cualquier dispositivo que convierte una señal eléctrica guiada, en una señal no-guiada que se propaga por el espacio, o vice-versa (Black, DiPiazza, Ferguson, Voltmer, & Berry, 2008). Cabe mencionar que algunos sistemas no necesitan transmitir y recibir simultáneamente, sino que la antena tiene la habilidad de cambiar a función transmisora o receptora de acuerdo a la aplicación o necesidad.

Como se mencionó en los ejemplos anteriores, ciertos sistemas pueden ser utilizados para transmitir información, mientras que otros se pueden usar para extraer información sobre el entorno de acuerdo a cómo la señal transmitida es modificada mientras que viaja por la trayectoria entre las antenas transmisoras y receptoras. En

cualquier caso, el entorno físico y electromagnético en la vecindad de la trayectoria puede modificar significativamente la señal. Se define al canal como el medio físico y electromagnético que rodea y conecta los puntos extremos de la trayectoria de transmisión, es decir, que rodean y conectan el transmisor y receptor del sistema (Black, DiPiazza, Ferguson, Voltmer, & Berry, 2008). Un canal puede consistir de alambres, cables de guía-onda y coaxiales, fibra, la atmósfera y superficie de la Tierra, el espacio libre, etc. Cuando un sistema inalámbrico se usa para transmitir información entre puntos extremos, el ambiente frecuentemente corrompe la señal de una forma difícil de predecir y dificulta la habilidad del sistema para extraer la información transmitida con exactitud en el lado de recepción. Ahí se tiene una gran diferencia entre los sistemas alámbricos y los inalámbricos.

Por la naturaleza física de las señales de radiofrecuencia, hay que tener en cuenta un número de posibles complicaciones en la transmisión inalámbrica:

- La dirección de la señal no se puede controlar completamente, y la trayectoria entre puntos extremos no es única.
- La trayectoria entre puntos extremos varía en tiempo
- Las señales llegan a su destino con potencia disminuida, lo que comúnmente se llama pérdida (o atenuación) por trayectoria.
- Los niveles de ruido e interferencia a veces suelen ser difíciles de predecir y varían en tiempo
- Los objetos en la trayectoria que rodean los puntos extremos o que están entre ellos afectan el nivel de señal y su contenido.

- Las variaciones en el entorno de la señal cambian con la ubicación geográfica, la temporada del año y el clima.
- En sistemas móviles, tales como celular y sistemas de servicio de comunicación personal (PCS, personal communications service), al menos uno de los puntos extremos puede estar moviéndose a una velocidad desconocida y a veces significativa.

La definición dada de un sistema inalámbrico describe a una gran variedad de aplicaciones que pueden parecer muy diferentes entre sí. Sin embargo es muy importante reconocer que estas aplicaciones se fundamentan en un conjunto de principios y tecnologías que engloban la teoría de comunicaciones, ingeniería de radiofrecuencia y propagación RF. A pesar que este texto se enfocará sobre un sistema de localización y monitoreo, los principios expuestos aquí sirven como un buen fundamento para el estudio.

2.3 Sistemas de radio móviles

En la actualidad, cuando se menciona a la tecnología “móvil”, frecuentemente uno tiende a asociar el concepto con los sistemas de telefonía celular. Sin embargo el concepto en cuestión no necesariamente implica un teléfono móvil que forma parte de la estructura principal del sistema, ni la existencia de un servicio de voz. Por ende para este estudio se aclara que un sistema de radio móvil se define como el conjunto sistemas de comunicación inalámbrica y de dispositivos que utilizan radiofrecuencias, cuyas trayectorias de comunicación son movibles desde al menos uno de los extremos.

Como muchos otros sistemas, una red inalámbrica móvil consiste en dos elementos principales; los dispositivos de comunicación y la infraestructura. Los dispositivos de comunicación proporcionan el interfaz entre la aplicación de usuario y la infraestructura. Estos dispositivos muchas veces se los conoce como estaciones, terminales o hosts. Para fines didácticos, el dispositivo de comunicación se denominará terminal móvil (MT, mobile terminal), término que puede abarcar a una gran variedad de dispositivos, además de teléfonos móviles. La infraestructura de red es un conjunto de enlaces alámbricos o inalámbricos punto-a-punto y, muy a menudo, un número de conmutadores y encaminadores que interconectan muchos de estos terminales en ubicaciones separadas geográficamente. La figura 2.1 muestra un esquema básico de un sistema de comunicación móvil

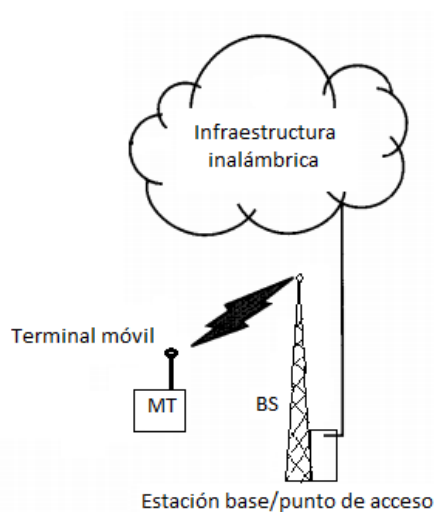


Fig. 2.1 Infraestructura de sistema inalámbrico genérico
Fuente: autor

Además de conmutadores, encaminadores y enlaces punto a punto, la infraestructura de red inalámbrica también necesita transceptores para comunicarse con los terminales y actuar como entrada de acceso a la parte fija de la infraestructura de la red inalámbrica. Estos transceptores se denominan comúnmente estaciones base

(BS, base station) o puntos de acceso (AP, access point). Cualquier estación base inalámbrica tiene un área de cobertura limitada. Si el área de cobertura no llega al área de cobertura requerida para el servicio inalámbrico, se necesitan múltiples estaciones base para cubrir el área de servicio. En el caso de tener una multitud de estaciones base operando en el área, la infraestructura inalámbrica necesita coordinar la continuidad de la conexión inalámbrica mientras el terminal móvil se mueve por las áreas de cobertura de las diferentes estaciones base.

2.4 Estructura general de un sistema de radio móvil

Los sistemas inalámbricos móviles terrestres tradicionalmente están estructurados como una configuración que utiliza varios BS enlazados entre sí. La estación base lo que en general hace es recibir la transmisión del TM y la retransmite a una potencia mayor. El sistema más básico se conoce como sistema de sitio único (single site system). Una torre base (que representa a la BS) se encarga de retransmitir comunicaciones que vienen de un móvil dentro del área de cobertura de dicha torre (ver figura 2.2). Típicamente, los sistemas de sitio único se implementan para entidades pequeñas que desean cubrir un área de operación limitada (Sprinkle, 2003).

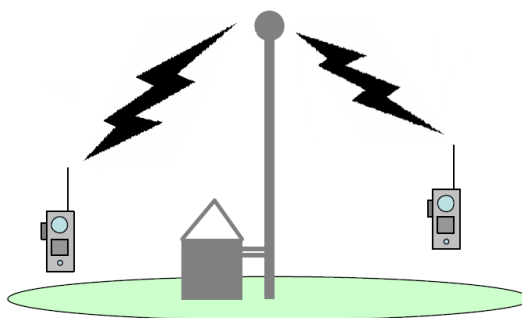


Fig. 2.2 Sistema inalámbrico terrestre de sitio único
Fuente: Design Considerations in Modern Land Mobile Radio System por M. Sprinkle

Si se necesita una cobertura mayor, otros esquemas, conocidos como sistemas de sitios múltiples, están disponibles. En un tipo de configuración, llamado sistema de votación (voting system) se tiene varias estaciones bases distribuidas por un área para recibir transmisiones de dispositivos móviles (figura 2.3) (Sprinkle, 2003). Las transmisiones entrantes son dirigidas a un controlador central que selecciona la señal más fuerte. La señal más fuerte luego se retransmite desde una única torre. Este esquema combate el problema de tener varias BS transmisoras en el sistema.

Las implementaciones de sitio múltiple más complejas permiten a todas las BS recibir y transmitir (figura 2.3). La modalidad simulcast (transmisión simultánea) utiliza varios BS que transmiten paralelamente en el mismo canal. El requerimiento de un solo canal para tener una cobertura de gran área es un beneficio significativo del simulcasting.

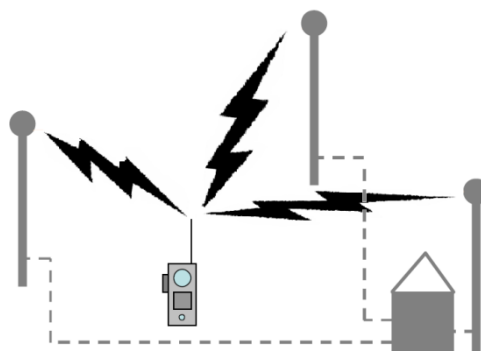


Fig. 2.3 Sistema de sitio múltiple de votación

Fuente: Design Considerations in Modern Land Mobile Radio System por M. Sprinkle

Multicasting (Multidifusión) es la otra implementación en la cual la información se transmite simultáneamente desde varias BS. Sin embargo, para el multicasting cada torre utiliza un canal diferente para transmitir la misma información. Las frecuencias usadas por cada torre son seleccionadas de tal manera

que una torre no interfiera con la otra. A lo que se agregan más estaciones bases a un sistema multicasting, se requiere más ancho de banda. Por ende, la reutilización de frecuencias por torres con separación insuficiente es necesaria para optimizar el ancho de banda disponible. (Sprinkle, 2003)

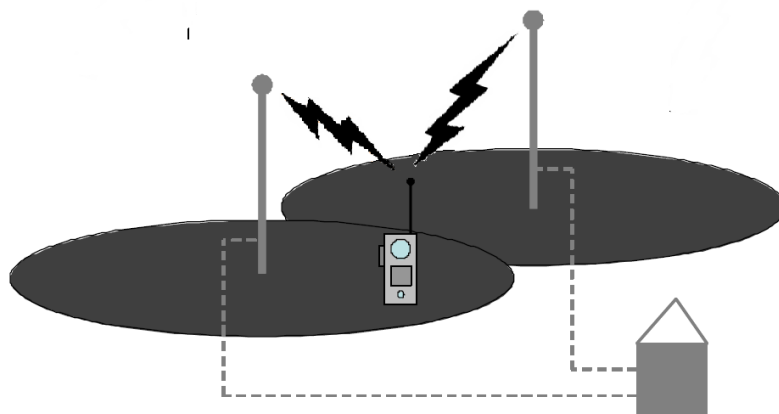


Fig. 2.4 Sistema sitio múltiple simulcast o multicast

Fuente: Design Considerations in Modern Land Mobile Radio System por M. Sprinkle

2.5 Sistemas de espectro ensanchado

En vista de que el sistema propuesto funciona con un esquema de espectro ensanchado (spread spectrum), es importante revisar en qué consiste esta tecnología.

Los sistemas de espectro ensanchado son una clase sistemas digitales de comunicación inalámbrica que se diseñó originalmente para combatir el *jamming* (interferencia intencionada). En otras palabras es un sistema de transmisión de alta seguridad. (Ström, Ottosson, & Svensson, 2002)

El término espectro ensanchado hace referencia al hecho de que las señales transmitidas ocupan una banda de frecuencia más grande de lo que es necesario. Esto permite al transmisor esconder su señal en un ancho de banda grande.

La idea principal detrás de espectro ensanchado entonces es usar más ancho de banda que el mensaje original y mantener la misma potencia de señal. Una señal de espectro ensanchado no tiene un pico claramente distinguible en el espectro. Esto hace que la señal sea más difícil de distinguirla del ruido, y por ende más difícil de interceptar. En otras palabras, para otros receptores, la señal DSSS es prácticamente invisible. Lo único que se podría captar es un leve incremento en los niveles generales de ruido. Esto se puede visualizar en la figura 2.5, la cual muestra una señal de banda angosta (azul) y su versión ensanchada en el dominio de frecuencia. Como se observa, las señales de banda angosta tienen una mayor facilidad de ser bloqueada por otra señal en la misma banda. De igual forma puede ser interceptada ya que dicha banda de frecuencia es fija y angosta, y por ende más fácil de detectar. (National Instruments, 2014).

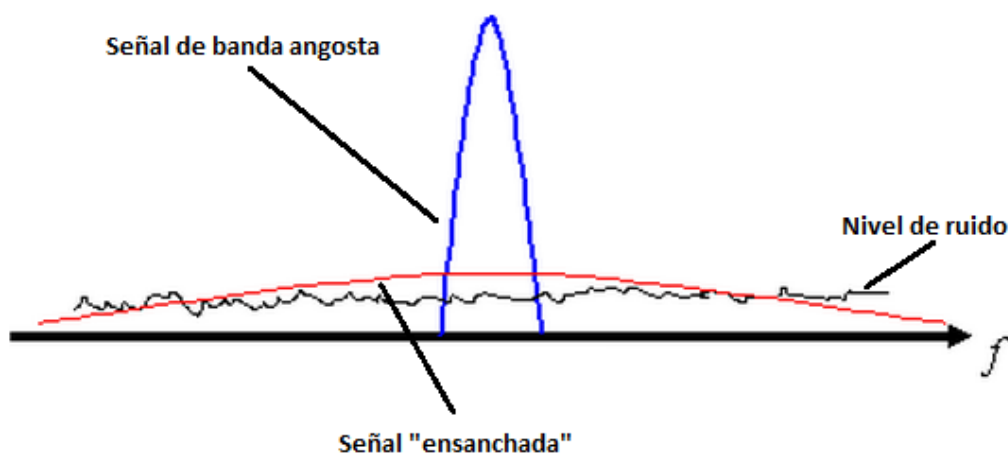


Fig. 2.5 Comparación entre señal de banda angosta y señal de espectro ensanchado
Fuente: National Instruments - <http://www.ni.com/white-paper/4450/en/>

Entonces la transmisión de espectro ensanchado presenta varias ventajas. Como se mencionó, un sistema DSSS difícilmente se ve afectado por interferencias, tanto del tipo intencional como accidental y por bloqueos de señal porque se necesita

una “clave” que fue utilizada en creación de la señal DSSS y para que la señal sea aceptada por el receptor, o sea, el receptor ignora cualquier señal que no contenga ese código. Por la misma razón de desconocer ese código, la señal DSSS no puede ser interceptada por personas externas. Adicionalmente, este sistema combate los efectos de trayectoria múltiple, es decir, la recepción de una misma señal a diferentes tiempos a causa de reflexión o refracción de señal. Esto es posible porque en el extremo del receptor está implícito un proceso de sincronización con una señal específica, así rechazando cualquier otra señal, a pesar de ser la misma pero retrasada en el tiempo.

Existen dos técnicas principales para lograr el ensanchamiento del espectro. En la primera, que se denomina salto de frecuencia (FS, frequency hopping), el transmisor desplaza la frecuencia central de la señal transmitida de acuerdo a un patrón aleatorio conocido sólo por el transmisor y receptor. La otra técnica es llamada secuencia directa (DS, direct sequence), y consiste en dividir los datos a enviar en segmentos y distribuirlos por el ancho de acuerdo un código. (National Instruments, 2014)

El sistema propuesto utiliza la segunda técnica, razón por la que se detallará más al respecto a continuación.

2.5.1 Espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS)

Se puede considerar al esquema DSSS (direct sequence spread spectrum) como una técnica de modulación de dos etapas (figura 2.6). En la primera etapa, cada bit de información transmitido es distribuido (o mapeado) en N pulsos más pequeños denominados chips (función realizada por un *spreader*). En la segunda etapa, los

chips son transmitidos sobre un modulador digital tradicional. En el receptor los chips transmitidos primero son demodulados y luego pasan por un correlacionador (*correlator*) que “des-ensancha” la señal. El des-ensanchador (*despreader*) correlaciona la señal recibida con la señal ensanchada transmitida duplicada (secuencia de chip). El pico de la función de autocorrelación es utilizada para detectar el bit transmitido. La función de autocorrelación de un buen código aleatorio tiene una muy alta relación pico a lóbulo lateral que es aproximadamente igual a N , lo que usualmente se conoce como ganancia de procesamiento (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002). La autocorrelación corresponde a la correlación del pulso consigo mismo, y esto involucra multiplicar el pulso por una versión retrasada de sí mismo e integrar el producto sobre la duración del pulso.

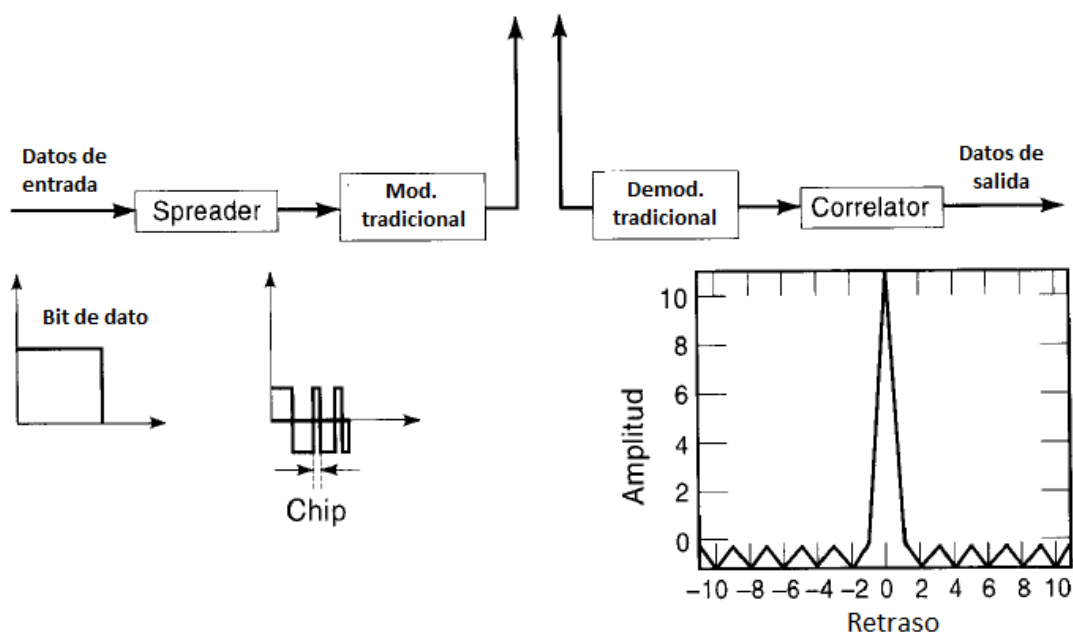


Fig. 2.6 Un sistema DSSS
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

El ancho de banda de cualquier sistema digital es inversamente proporcional a la duración del pulso transmitido o símbolo. Porque los chips transmitidos son N veces más angostos que los bits de datos, el ancho de banda de la señal DSSS

transmitida es N veces más grande que un sistema sin ensanchamiento. Como resultado, N también se conoce como factor de expansión de ancho de banda.

Es bueno mencionar que DSSS, al igual que FHSS (frequency hopping spread spectrum) es resistente a interferencias y al desvanecimiento selectivo en frecuencias. Sin embargo, la mayor diferencia entre estas dos técnicas radica en que el ancho de banda de transmisión del DSSS siempre es amplio, mientras que el FHSS es un sistema de banda angosta que se desplaza continuamente en un espectro ancho. Obviamente, el sistema que se propone en este escrito es basado en DSSS, pero hay que reconocer que ambos esquemas tienen sus ventajas. Los sistemas DSSS proporcionan una señal robusta con mejor área de cobertura que FHSS. Pero los sistemas FHSS también se pueden implementar con frecuencias de muestreo más bajas, ahorrando en costos de implementación y consumo de energía de las unidades móviles (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002).

El DSSS puede también puede ser empleado para acceso múltiple por división de código (CDMA, code division multiple access). En un entorno DS-CDMA, se asignan diferentes códigos a diferentes usuarios. En otras palabras, cada usuario tiene su propio código clave que se usa para ensanchar y des-ensanchar sólo los mensajes de aquel usuario. Los códigos asignados a otros usuarios son seleccionados de tal forma que durante el proceso de des-ensanchamiento en el receptor, éstos producen niveles de señal muy pequeños (parecidos al ruido) dentro del rango de amplitud de los lóbulos laterales de la función de autocorrelación. Consecuentemente, éstos no interfieren con la detección del pico de la función de autocorrelación del receptor destino. De esta forma, cada usuario es una fuente de ruido para la detección de las señales de otros usuarios. A lo que va aumentado el

número de usuarios, la interferencia de multiusuario se incrementa para todos los usuarios. Este fenómeno continúa hasta un punto en que la interferencia mutua entre todos los terminales detiene la operación apropiada de todos ellos.

2.6 Software Radio Mobile

Radio Mobile es un programa gratuito muy útil para analizar diseños de enlaces sobre terrenos reales. Ubicando antenas virtuales en lugares específicos y fijando parámetros de propagación es posible estudiar cómo operarían los enlaces si estos se existieran en la vida real. Se puede obtener una proyección muy exacta ya que el programa se basa en el uso de mapas de elevación reales. Esto es importante ya que las características topográficas del terreno es una consideración muy importante en el diseño de enlaces.

Se hace mención de este programa porque se lo utilizará más adelante para situar las antenas necesarias para el diseño propuesto y verificar el funcionamiento apropiado de los enlaces.

CAPÍTULO 3

TECNOLOGÍAS DE GEOLOCALIZACIÓN

3.1 Antecedentes

Geolocalización, posicionamiento y radiolocalización son términos que se usan con mucha frecuencia en la actualidad para indicar la habilidad de determinar la ubicación de un objeto móvil. El concepto de localización usualmente implica las coordenadas del objeto en cuestión, que podrían presentarse en dos o tres dimensiones, y normalmente incluye información como la latitud y longitud donde se encuentra dicho objeto. En áreas de interior y dentro de edificios, se puede emplear coordenadas y técnicas de visualización alternativas. Las tecnologías de geolocalización han obtenido prominencia en el mercado inalámbrico por una variedad de razones. En el caso de Estados Unidos, el crecimiento de su uso se debió al mandato de la FCC que requiere que todas las portadoras celulares inalámbricas sean capaces de proveer la localización de llamadas de emergencia al 911. Sin embargo, las tecnologías de geolocalización han demostrado ser significativas para ambas aplicaciones militares y comerciales en general, más allá de la localización de emergencia. Las aplicaciones comerciales incluyen la necesidad de ubicar pacientes y equipos en un hospital, la localización de niños y mascotas en un hogar y la capacidad de proveer servicios conscientes de localización, en el caso de aplicaciones dadas por tecnologías 4G. En el sector público y militar, proporcionar a soldados, policías y bomberos el conocimiento de su ubicación resulta invaluable. GPS ha sido la técnica de posicionamiento en áreas de exteriores más exitosa, y ahora vemos a los receptores GPS como un dispositivo cotidiano de bajo costo.

Aunque GPS ha tenido un gran éxito, también posee ciertas limitaciones en algunas aplicaciones, especialmente en áreas de interiores. (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002)

Por esta razón es que en este capítulo se estudia las diferentes tecnologías y técnicas de geolocalización. El enfoque por su puesto es TDOA, pero revisar las otras técnicas permitirá también tener mejor comprensión del sistema.

3.2 La geolocalización inalámbrica

En la actualidad surge el término “servicios basados en localización” (location-based services) que denota aquellos servicios proporcionados a los usuarios móviles que se basan en su ubicación geográfica, posición o presencia detectada. Éstos son basados principalmente en infraestructura y sistemas de geolocalización instalados para obtener información de ubicación del usuario. Los sistemas de posicionamiento han encontrado una variedad de aplicaciones tanto en el ambiente civil como el militar. Hay numerosas aplicaciones de este tipo tales como servicios de mapeo (que proveen direcciones para conducir), de información (que proveen noticias locales, clima, tráfico, etc.) y de “concierge” (para realizar reservaciones en restaurantes, compra de boletos a películas o eventos, etc.). En la actualidad se están empleando comercialmente muchos servicios de contenido, publicidad y personalización que son dependientes de ubicación. Tanto las aplicaciones de geolocalización de exteriores como de interiores están adquiriendo mucha importancia.

Las aplicaciones de geolocalización de interiores se han utilizado tradicionalmente para localizar a personas y bienes dentro de un edificio. Algunos

ejemplos de esto incluyen encontrar a pacientes con impedimentos mentales en un hospital y el monitoreo de equipos que son movidos sin ser devueltos a su lugar original, tales como proyectores y sillas de ruedas, entre otros objetos. Los servicios de localizador personal (PLS, personal locator service), que también tiene la capacidad de operar en exteriores, hacen uso de un “dispositivo localizador” que se encuentra en la posesión de una persona cuya ubicación está por determinarse. Pueden presentarse dos escenarios: en el primero caso, una persona solicita un servicio que le proporcione la ubicación de un individuo y luego se da el proceso para determinar la localización de dicha persona. En el segundo caso la persona está perdida o se encuentra en alguna situación de riesgo potencial y puede utilizar un botón de pánico para solicitar ayuda. Aquí el servicio de localizador determinará la localización y proveerá la asistencia requerida. Para localizar equipos solo aplicaría el primer caso.

Los ambientes de comunicaciones y de computación ya existentes, tanto en áreas residenciales como en oficinas, han sido configurados de manera estática, lo cual dificulta mucho la reconfiguración, haciendo necesaria la intervención manual. Para superar este inconveniente, espacios inteligentes y ambientes de oficina inteligentes se han tomado en consideración para su despliegue que puede cambiar automáticamente su funcionalidad de acuerdo al contexto. Tales redes que son “conscientes del contexto” están basadas en el poder saber quién o qué se encuentra en sus alrededores. Con consciencia de localización los dispositivos informáticos, desde pequeños teléfonos móviles inteligentes hasta computadoras de escritorios y dispositivos de Internet, pueden personalizar y adaptarse por sí mismos a su conjunto actual de usuarios, cada uno requiriendo sus propios servicios del ambiente

inteligente. Para este propósito, no solo es necesario que el espacio inteligente esté consciente de quién está presente, sino que también debe saber dónde está ubicado el usuario y si hay otros dispositivos móviles en la vecindad. Por ejemplo, una computadora portátil debería ser capaz de determinar automáticamente la impresora más cercana para poder imprimir un documento en un ambiente de oficina. Tales tipos de aplicaciones también requieren servicios de geolocalización.

Hay varias aplicaciones de geolocalización de exteriores, de las cuales la más común es la aplicación localizarse a uno mismo usando GPS cuando se encuentra viajando por la carretera. La tecnología de la información ha incrementado sustancialmente el número de aplicaciones más allá de sólo esta simple aplicación de auto-localización.

El término “telemática” es utilizado para implicar la convergencia de las telecomunicaciones y el procesamiento de información, y desde entonces ha evolucionado para referirse a una inmensa variedad de aplicaciones que incluyen a sistemas automovilísticos que combinan el mecanismo de localización GPS con comunicaciones inalámbricas para servicios tales como asistencia en carretera automática, diagnóstico remoto y entrega de contenidos (información y entretenimiento) al vehículo. Un buen ejemplo de tal sistema es el sistema OnStar de General Motors.

Los sistemas de transporte inteligentes (ITS, intelligent transportation systems) se refieren a la habilidad de navegar autónomamente un vehículo mientras se hace uso de información actualizada de tráfico, condiciones de carreteras y calles, duración de viajes, entre otras variables. Esto incluye tanto a la gestión de flotas de

vehículos como el piloto automático de un automóvil. Para obtener información relevante de los proveedores de servicio o los servidores a través de una red o la Internet, los vehículos deben ser capaces de proveer su ubicación e información de destino. De forma alternativa, el proveedor de servicio debe poder determinar la ubicación del vehículo.

En los Estados Unidos se implementó hace un tiempo servicios aumentados de emergencia 911 inalámbricos (también conocidos como servicios E-911) y estos se consideraron como catalizadores para la inversión y el desarrollo de la tecnología de geolocalización apta para comunicaciones celulares. Antes del 2001 no había forma eficaz de localizar a una persona si realizaba llamada por medio de un teléfono móvil. Pero la FCC impuso una orden para que todos los teléfonos móviles puedan proporcionar servicios de geolocalización. Se requirió la implementación de puntos de respuesta de seguridad pública (PSAP, public security answering point) para localizar el dispositivo móvil con una exactitud aceptable (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002).

3.3 Arquitectura de un sistema de geolocalización

Las diferentes tecnologías de geolocalización pueden tener distintas arquitecturas para su funcionamiento. Se puede observar en la figura 3.1 una arquitectura funcional muy básica de un sistema de geolocalización. El ejemplo hace más referencia a un sistema de telefonía móvil, pero éste sirve para comprender el funcionamiento de un sistema de geolocalización cualquiera. Es muy simplista pero sirve para tener la idea inicial de estos sistemas.

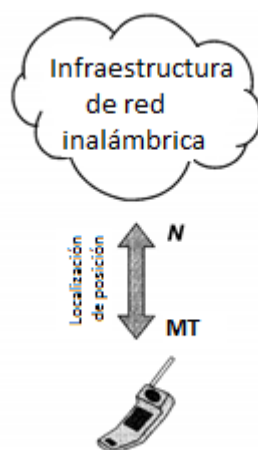


Fig. 3.1 *Arquitectura funcional de un sistema de geolocalización*
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

Los elementos funcionales esenciales para la localización de posición son la estimación de localización de un objeto y esa misma información con atributos apropiados para la red N (network). Se visualiza que el objeto a localizar es un terminal móvil MT. Los sistemas de geolocalización miden parámetros de señales de radiofrecuencia que viajan desde un transmisor móvil a un conjunto de receptores fijos o desde un conjunto de transmisores fijos a un receptor móvil. Entonces hay dos maneras en que se puede obtener la estimación de localización del MT. En un sistema de auto-posicionamiento, el MT localiza su propia ubicación usando mediciones de su distancia o dirección con respecto a las localizaciones conocidas de transmisores (como por ejemplo, receptores GPS). En algunos casos se emplea lo que se conoce como *dead reckoning* (navegación a estima), que es un método predictivo de estimar una posición actual basándose en información de trayectoria y velocidad ya conocida de una posición anterior. Los sistemas de auto-posicionamiento con frecuencia se conocen como sistemas de posicionamiento basados en móvil o centrado en terminal. En los sistemas de posicionamiento remoto, los receptores en ubicaciones conocidas en una red operan en conjunto para

determinar la localización de un transmisor móvil utilizando mediciones de la distancia o dirección de dicho móvil con respecto cada receptor. Estos sistemas se les denominan también sistemas de posicionamiento basados en red o centrados en red. Los sistemas de posicionamiento basados en red tienen la ventaja de que el MT puede ser implementado como un simple transceptor de tamaño pequeño y consumo bajo para transporte o colocación fácil sobre equipos o bienes de valor. Adicionalmente, es posible tener sistemas remotos o de auto-posicionamiento indirectos donde el MT pueda transmitir información sobre su localización a un centro de control de localización, o el centro de control transmita la ubicación de cada MT a sí mismo a través de un canal de comunicaciones apropiado. (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002)

La figura 3.2 muestra un ejemplo de una arquitectura de un sistema de geolocalización. Un proveedor de servicio de geolocalización proporciona información de localización y servicios conscientes de ubicación a los suscriptores. Al realizar el suscriptor una solicitud de información de localización sobre un MT, el proveedor de servicio contactará un centro de control de localización para pedir las coordenadas del MT. El centro de control de localización reunirá información requerida para calcular la ubicación de un MT. Esta información podría ser parámetros tales como intensidad de señal recibida, ID de BTS, TOA de señales entre otros, que serán explicados más adelante. Dependiendo de la información antigua sobre el MT, un conjunto de BSs (estaciones bases) pueden ser usadas para notificar al MT y obtener los parámetros de localización de forma directa o indirecta. Dichas BSs a veces se les llaman estaciones base de geolocalización (GBS, geolocation base station).

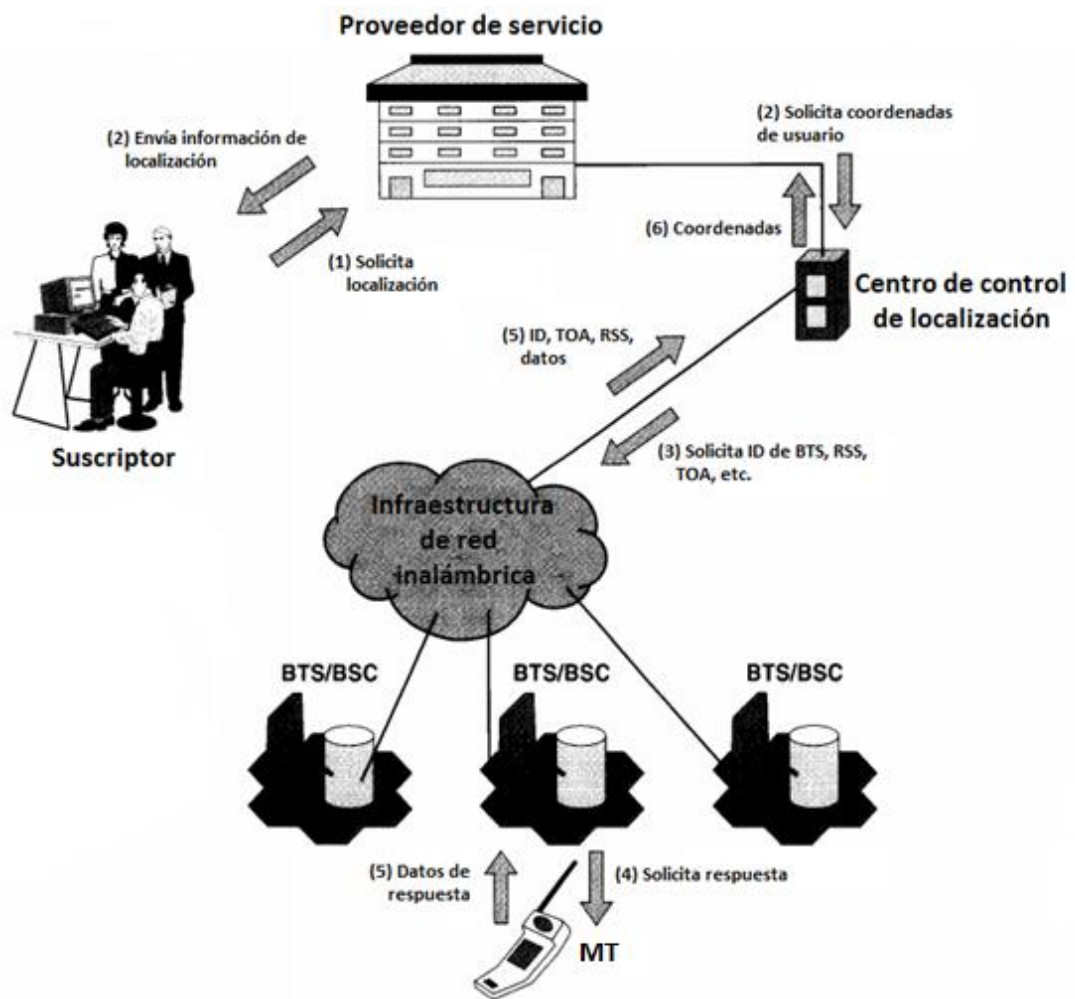


Fig. 3.2 *Arquitectura general de un sistema de geolocalización*
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

Cuando la información de localización haya sido recolectada, el centro de control de localización podrá determinar la ubicación del objeto móvil con cierta exactitud y transmitir dicha información al proveedor de servicio. El proveedor de servicio luego podrá usar esta información para presentar de forma visual la ubicación del MT al suscriptor o a la persona a quien le concierne saber dicha ubicación. A veces el MT podría representar al suscriptor mismo. En tal caso la señalización y arquitectura sería más simplificada, especialmente si se trata de una aplicación que involucra auto-posicionamiento.

3.4 Tecnologías para geolocalización inalámbrica

La ubicación de un MT puede determinarse de la siguiente forma. Se considera, como ejemplo, un sistema de posicionamiento remoto dónde las GBSs en conjunto determinan la posición del MT. Un enfoque similar se puede aplicar a los sistemas de auto-posicionamiento. Es posible explotar las características de señales de radiofrecuencia transmitidas por un MT hacia receptores fijos de ubicación conocida para determinar la localización de dicho MT. Las GBSs miden ciertas características de señal y hacen una estimación de la posición del MT basándose en el conocimiento de sus propias ubicaciones. El problema general se puede expresar de esta forma:

“La ubicación de N receptores (GBSs) se conocen por medio de coordenadas (x_i, y_i) para $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Se necesita determinar la ubicación del MT (x_m, y_m) usando características de las señales recibidas por estos transmisores.”
(Pahlavan & Krishnamurthy, 2002)

Claramente, para determinar (x_m, y_m) , varias GBSs deben determinar una estimación de la distancia o dirección (o ambas) del MT a partir de las señales recibidas. Se puede determinar distancias utilizando propiedades de la señal recibida como intensidad de señal, fase de señal o tiempo de llegada. La dirección del MT puede obtenerse a partir del ángulo de llegada de la señal.

3.4.1 Técnicas basadas en dirección

La técnica de geolocalización de ángulo de llegada (AOA, angle of arrival) utiliza la dirección de llegada de la señal recibida para determinar la ubicación del MT, como se muestra en la figura 3.3. El receptor mide la dirección de señales

recibidas desde el transmisor activo usando antenas direccionales o arreglos de antenas. Si la exactitud de la medición de dirección (aproximadamente el ancho del haz del arreglo de antenas) es $\pm\theta_s$, la medición del AOA en el receptor restringirá la posición del MT alrededor de la trayectoria de señal de línea de vista (LOS, line of sight) con una dispersión angular de $2\theta_s$. Dos mediciones de AOA de este tipo proporcionan una ubicación como se ilustra en la figura 3.3.

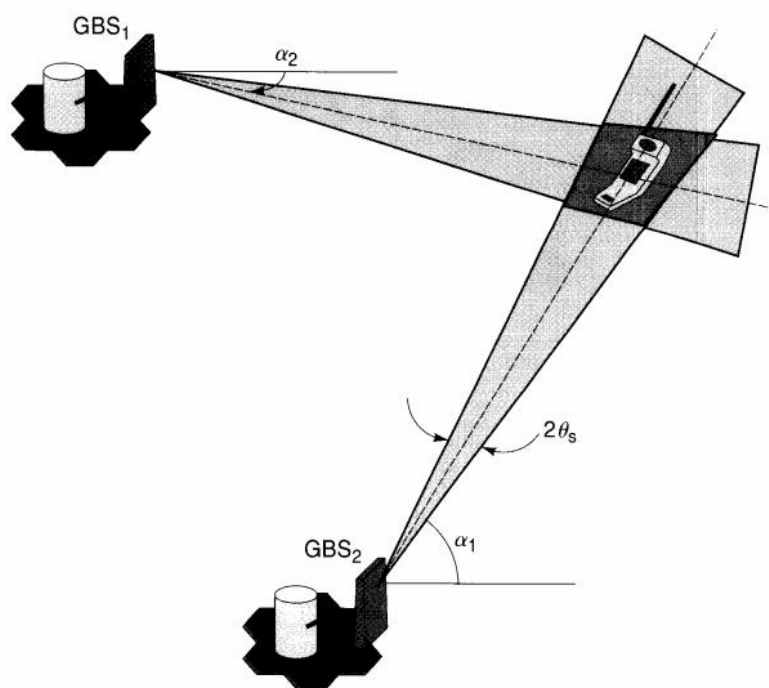


Fig. 3.3 Técnica de AOA para geolocalización
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

La exactitud de la estimación de posición depende de dónde esté ubicado el transmisor con respecto a los receptores. Si el transmisor se encuentra entre los dos receptores sobre una línea recta, las mediciones de AOA no podrán dar una posición. Como resultado, usualmente se necesita más de dos receptores para mejorar la exactitud de localización. Es posible que se presenten errores considerables si la

trayectoria de señal de LOS se encuentra obstaculizada y el AOA de un componente de señal reflejado o dispersado es usado para estimar la dirección. En ambientes de interiores, objetos en los alrededores o paredes pueden bloquear la trayectoria de señal de LOS. Por ende, la técnica de AOA no es apta para sistemas de geolocalización de interiores. Adicionalmente, esto requiere instalar arreglos de antenas costosos en los receptores para rastrear la dirección de llegada de la señal. Se podría considerar una opción viable si se utilizan antenas inteligentes que incrementan capacidad, pero en general no es una solución adecuada para aplicaciones de interiores de bajo costo. (Pahlavan & Krishnamurthy, 2002)

3.4.2 Técnicas basadas en distancia

Con las técnicas de intensidad de señal recibida, tiempo de llegada (TOA, time of arrival) o diferencia de tiempo de llegada (TDOA, time difference of arrival), es posible determinar una estimación de las distancias entre MT y receptor. En tal caso, tres mediciones son necesarias para estimar la posición del móvil en dos dimensiones, y se requieren cuatro para obtener una estimación de la posición en tres dimensiones. En la figura 3.4, se muestra la necesidad de tener tres mediciones para estimar una posición en dos dimensiones.

Si la distancia entre el receptor y el móvil se estima en un valor d , es obvio que el móvil puede ser localizado sobre una circunferencia de radio d centrado en el receptor. Una segunda medición reduce la ambigüedad de posición hasta los puntos extremos del área de intersección entre esas dos circunferencias. La tercera medición ya proporciona la ubicación final del móvil.

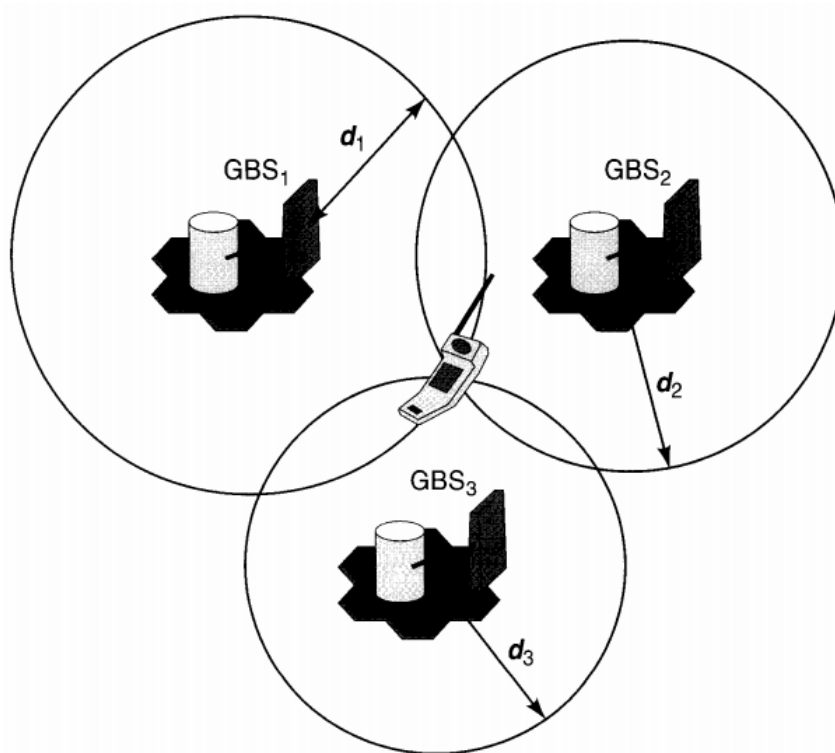


Fig. 3.4 Técnica basada en dirección para geolocalización
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

3.4.2.1 Métodos de tiempo de llegada

Una señal transmitida viaja a $3 \cdot 10^8$ metros por segundo en el aire o espacio libre, y esta propiedad puede ser explotada para determinar la distancia entre el transmisor y el receptor. Cuando una GBS detecta una señal, su TOA absoluta es determinada. Si se conoce el tiempo en que el MT emitió la señal, la diferencia entre los dos proporcionará una estimación del tiempo que tardó la señal en llegar a la GBS desde el MT. Se puede emplear tres mediciones diferentes (en dos dimensiones) y cuatro mediciones diferentes (en tres dimensiones) para determinar la ubicación del móvil. La técnica de TOA provee circunferencias centradas en el móvil o transceptor fijo como se describió previamente (figura 3.4).

GPS es un ejemplo de un sistema que emplea la técnica diferencia de tiempo de llegada (TDOA), donde las diferencias en TOAs son utilizadas para localizar el móvil. La técnica de TDOA define hipérbolas (en lugar de circunferencias) sobre las cuales debe estar ubicado el transmisor y cuyos focos deben coincidir con la posición de los receptores. Tres o más mediciones TDOA proveen una posición sobre la intersección de las hipérbolas. Aunque se puede utilizar interpretación geométrica para calcular la intersección de circunferencias o hipérbolas, cuando existen errores se debe realizar estimaciones. Soluciones exactas y aproximaciones de serie de Taylor están disponibles para resolver estas ecuaciones. En comparación con el método TOA, la ventaja principal de la técnica TDOA es que no se requiere saber en qué momento se transmitió la señal desde el transmisor. Como resultado, no es necesario tener una sincronización estricta entre el transmisor y el receptor entre el MT y las GBS. Sin embargo, el método TDOA requiere sincronización de tiempos entre todos los receptores involucrados en la geolocalización.

Se utiliza una estimación por mínimos cuadrados recursivo cuando existen errores en las mediciones de distancia. Sea la distancia d_i desde la i -ésima GBS, determinada a partir del TOA absoluto de la señal recibida, dada por $d_i = c \cdot \tau$, donde c es la rapidez de la luz y τ es el tiempo que tarda la señal llegar a la GBS. Si la ubicación de la i -ésima GBS está dada por (x_i, y_i) y la ubicación del móvil está dada por (x, y) , se tendrán N ecuaciones con la siguiente forma:

$$f_i(x, y) = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - d_i^2 = 0 \quad (3.1)$$

Donde $i = 1, 2, \dots, N$. Como problema de geolocalización, se ha realizado extensas investigaciones para mejorar la exactitud de los algoritmos usados para estimar la

posición de un móvil. Especialmente cuando N es mayor a tres o cuatro (así proporcionando redundancia de mediciones), la información de las mediciones redundantes se puede utilizar para reducir errores introducidos por ruido, el ambiente, trayectorias múltiples, etc. La figura 3.5 muestra un ejemplo del uso del método de mínimos cuadrados recursivo para llegar a la ubicación más precisa del MT. Se combina las señales de siete receptores para llegar a esta localización.

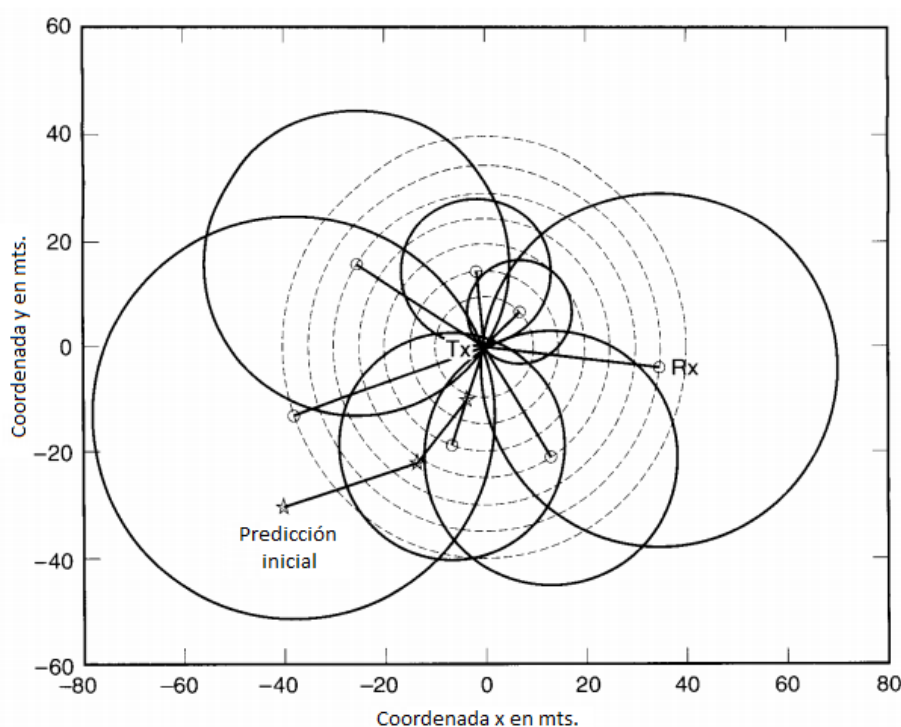


Fig. 3.5 *Mínimos cuadrados recursivo para determinar la ubicación del MT usando siete GBS*
Fuente: Principles of Wireless Networks por Pahlavan & Krishnamurthy

Sistemas inalámbricos que emplean la técnica de TOA (o TDOA) utilizan transmisión por pulsos, información por fase o técnicas de espectro ensanchado para realizar estimaciones de tiempo. Por ejemplo, la diferencia de tiempo entre dos señales recibidas para ambos auto-posicionamiento o posicionamiento remoto, se puede estimar a partir de su correlación cruzada. Como se ha mencionado, Las técnicas TOA generalmente son superiores comparadas con las técnicas AOA.

3.4.2.2 Método de intensidad de señal

Si se conoce la potencia transmitida del MT, medir la intensidad de señal recibida (RSS, received signal strength) en la GBS puede proporcionar una estimación de la distancia entre el transmisor y el receptor usando modelos matemáticos para pérdidas por trayectoria de señal que dependen de distancias. Así como el método TOA, la distancia medida determinará una circunferencia, centrada en el receptor, sobre la cual debe estar ubicado el TM.

Esta técnica tiene como resultado un receptor de baja complejidad para sistemas de auto-posicionamiento. Sin embargo, este método no es muy confiable por la amplia variedad de modelos de pérdidas por trayectoria y las grandes desviaciones estándares en los errores asociados con estos modelos a causa de los efectos de desvanecimiento por sombra. Los receptores no distinguen entre la intensidad de señal de la trayectoria LOS y la de una trayectoria reflejada. La diferencia en atenuación de señal en distintos ambientes hace que este método no sea apto para aplicaciones que requieren mayor exactitud de localización.

3.4.2.3 Método de fase de señal recibida

La fase de señal recibida es otro posible parámetro de medición para geolocalización. Se conoce que con la ayuda de receptores de referencia que miden la fase de portadoras, GPS diferencial (DGPS) puede mejorar su exactitud por varios metros, en comparación con GPS tradicional, que solo usa mediciones de distancia. Un problema asociado con la medición de fase está en la ambigüedad resultante de la periodicidad de la fase de señal (con periodo 2π) mientras que las mediciones de distancia son sin ambigüedades. Consecuentemente, en DGPS, la medición de fase

de portadora ambigua para afinar las mediciones de distancia. En otras palabras, hace posible la disminución adicional de error en la localización. Para un sistema de geolocalización de interiores es posible usar el método de fase de señal en conjunto con TOA/TDOA o RSS para afinar la estimación de localización. Sin embargo, a diferencia de DGPS, donde la trayectoria de LOS de señal siempre se toma en consideración, la condición de múltiples trayectorias del ambiente de interior causa más errores en las mediciones de fase.

3.4.3 Técnicas basadas en “fingerprinting”

La señal recibida es se considera muy específica por sitio porque depende del terreno y obstáculos que intervengan. Entonces la estructura de trayectoria múltiple del canal es única en cada ubicación y se puede considerar como una “huella digital” (fingerprint) del sitio si la señal de radiofrecuencia se transmite desde esa ubicación. Esta propiedad ha sido explotada en sistemas privados para construir una base de datos de “huellas digitales” de una zona de coordenadas en áreas de servicio específicas. La señal recibida es medida mientras se mueve un móvil y registrada en la base de datos. Cuando otro móvil se mueve en la misma área, esa señal recibida se compara con lo que ya quedó registrado en la base de datos, y de esa forma se determina su ubicación. Un esquema de este tipo podría ser útil para aplicaciones de interiores, donde la estructura de trayectoria múltiple se puede explotar.

3.4 Funcionamiento de TDOA

Como su nombre sugiere. Una estimación TDOA requiere la medición de la diferencia en tiempo entre las señales que llegan a dos BS. Este método asume que

las posiciones de estas BS son conocidas. La diferencia en tiempos de llegada en las BS se puede representar con una hipérbola.

Asumiendo que las posiciones de las BS son conocidas y que se trata de un esquema en dos dimensiones, se necesitarían tres estaciones base y dos mediciones TDOA para localizar un objeto (ver figura 3.6). Como se ve en la figura, la BS que recibe primero la señal del MT (u objeto a localizar) se considera la estación base de referencia. Las mediciones TDOA se realizan con respecto a la BS de referencia. Si se trata de un esquema en tres dimensiones, se requerirían cuatro BS y tres mediciones TDOA.

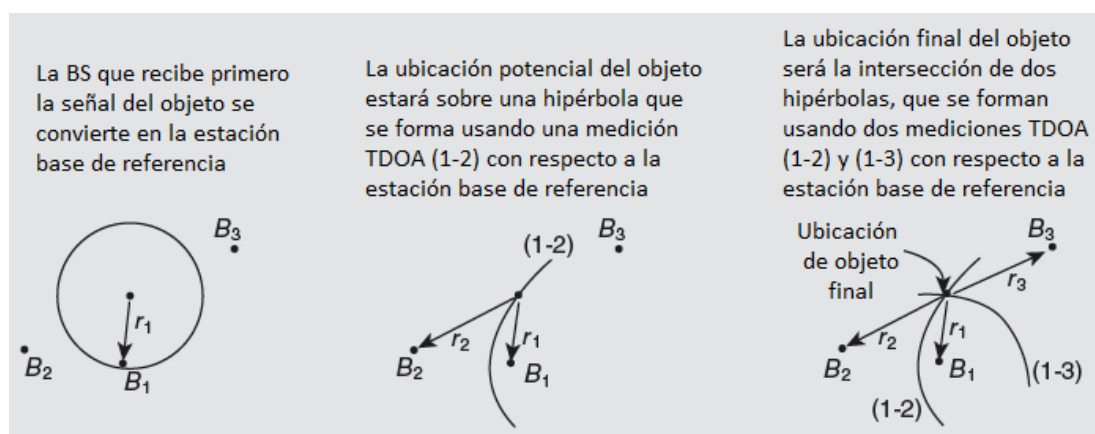


Fig. 3.6 Operación de TDOA

Fuente: Handbook of Position Location por Zekavat & Buehrer

Ya se mencionó previamente que la ventaja de TDOA sobre TOA es que no requiere que el reloj del MT esté sincronizado con los relojes de las estaciones base. En TDOA, todas las BS reciben la misma señal transmitida por el MT. Por ende, mientras los relojes de las BS estén sincronizados entre sí, el error en el tiempo de llegada en cada BS por relojes no sincronizados será el mismo.

Para Distinguir mejor la diferencia entre TOA y TDOA se puede observar la figura 3.7. Como se observa, TOA es la duración de tiempo (o tiempo relativo) entre el tiempo de inicio (t_s) de la señal en el MT transmisor y el tiempo final (t_i) de la señal transmitida en el receptor (estación base B_i). Sin embargo, TDOA es la diferencia de tiempo entre los tiempos finales (t_s y t_i) de la señal transmitida en dos receptores (estaciones base B_1 y B_2). Consecuentemente, sólo los relojes de las estaciones base deben estar sincronizados. Para asegurar que se mantengan los errores de medición a niveles mínimos. En general, la sincronización de relojes en dispositivos TM es mucho más compleja en comparación con sincronización de relojes entre estaciones base. Esto se debe al uso de relojes de cuarzo en los TM, que no son tan precisos como los relojes atómicos que usualmente se utilizan en las estaciones base.

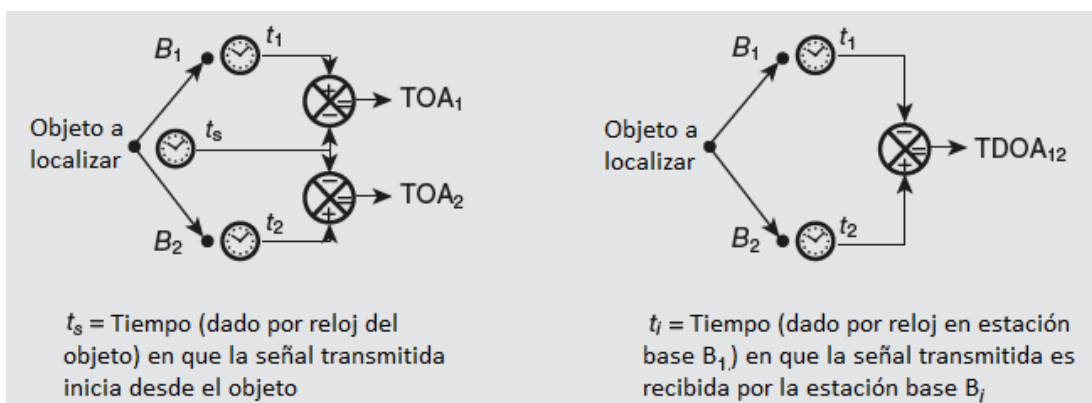


Fig. 3.7 Comparación de cálculos TOA y TDOA
Fuente: Handbook of Position Location por Zekavat & Buehrer

El reloj de estación base se puede sincronizar externamente utilizando una red backbone o usando internamente estándares de sincronización proporcionados en las BS. El hecho de que la sincronización de los dispositivos MT no es necesaria posibilita muchas aplicaciones para sistemas basados en TDOA. Por ejemplo, en

aplicaciones de campo de batalla, un equipo de rescate podría localizar la posición de un soldado utilizando su señal de referencia sin tener que sincronizar los relojes de los equipos de rescate con el del soldado.

En referencia a la otra desventaja de TOA, la señal transmitida desde el dispositivo MT en TDOA no necesita un *timestamp* (sello de tiempo), ya que una sólo medición TDOA es la diferencia en el tiempo de llegada en las estaciones base respectivas. Esto simplifica la estructura de las señales transmitidas y remueve fuentes potenciales de error. (Zekavat & Buehrer, 2011)

3.5 Sistemas de localización usados actualmente

Existe una variedad considerable de sistemas de localización. Algunos quizás son similares entre sí mientras que otros se distinguen enormemente. Es conveniente estudiar el funcionamiento de otros sistemas que son similares, por lo que se revisará a continuación unos ejemplos destacados de estos sistemas para poder comparar sus estructuras y tener un criterio más formado para el diseño del sistema propuesto. Hay que tomar en cuenta que es difícil tener una opinión absoluta sobre qué sistema es mejor que otro porque su utilidad y eficacia muchas veces depende de la aplicación que se le da. Se recuerda que se mencionó al inicio de este trabajo que algunos sistemas pueden presentar ciertas limitaciones, pero sólo si se le da una aplicación inadecuada.

3.5.1 GPS

El Sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System) es un sistema que puede proporcionar una posición 3D e información de tiempo a usuarios en cualquier clima, en cualquier instante y en prácticamente cualquier sitio

de la Tierra cuando se tiene una línea de vista sin obstrucción de 4 o más satélites GPS. Es administrado por el gobierno de los Estados Unidos y es accesible para cualquier persona que posea un receptor GPS. GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los EE.UU. funcionando originalmente con 24 satélites. Se estableció en el año 1973.

GPS consiste de tres partes: el segmento espacial, el segmento de control, y el segmento de usuario. El segmento espacial está compuesto de 24 a 32 satélites en órbita media (a 20200 km desde la Tierra aproximadamente) que incluyen propulsores necesarios para ubicarlos en órbita correcta. Los satélites hacen una órbita completa de la tierra cada 12 horas. Cada satélite tiene varios relojes atómicos muy exactos abordo que operan a una frecuencia fundamental de 10.23 MHz usados para generar señales. En el año 2008 ya se tenía 31 satélites operacionales activos en la constelación GPS (figura 3.8) y dos más antiguos que fueron retirados de servicio activo mantenidos en la constelación como repuestos orbitales. Los satélites adicionales mejoran la precisión de los cálculos realizados por los receptores GPS al proporcionar mediciones redundantes.

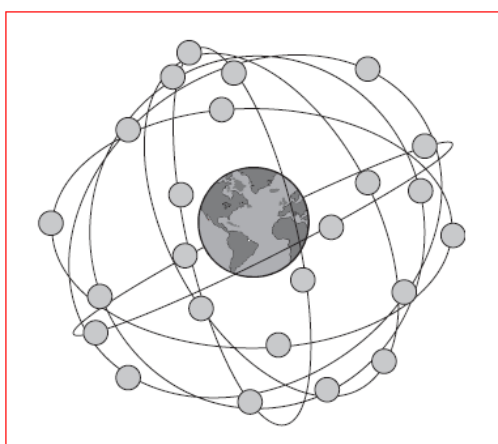


Fig. 3.8 Constelación GPS

Fuente: Cellular Networks – Positioning, Performance Analysis, Reliability por Melikov

El segmento de control se compone de una estación de control maestra, varias estaciones de monitoreo y un número de antenas terrestres distribuidas alrededor de ciertas ubicaciones que se encuentran cerca de la línea ecuatorial. El segmento de control básicamente rastrea el movimiento de los satélites, actualiza sus posiciones orbitales y calibran y sincronizan sus relojes. También tiene la función de determinar la órbita de cada satélite y predecir la trayectoria de cada uno para las siguientes 24 horas.

El segmento de usuario está compuesto por los miles de usuarios del servicio de posicionamiento GPS, incluyendo militares, civiles, comerciales y científicos. En general los receptores GPS los compone una antena, procesadores de recepción y un reloj altamente estable.

Cada satélite GPS transmite continuamente un mensaje de navegación a una tasa de transferencia de 50 bits por segundo. Cada mensaje completo está compuesto por tramas de 30 segundos (figura 3.9). Todos los satélites transmiten en las mismas dos frecuencias, 1.57542 GHz (señal L1) y 1.2276 GHz (señal L2). La red satelital usa la técnica CDMA de espectro ensanchado, donde los datos del mensaje de tasa de transferencia baja se codifican con una secuencia pseudo-aleatoria (código PN) de alta tasa de transferencia que es diferente para cada satélite como se muestra en la figura 3.10. El receptor debe estar consciente del código del código PN de cada satélite para reconstruir correctamente los datos del mensaje. El código C/A (*coarse/acquisition*), para uso civil, transmite a 1,023 millones de chips por segundo mientras que el código P (*precision*), para uso militar, tiene una tasa de chips 10 veces mayor. La portadora L1 es modulada por ambos códigos, mientras que la portadora L2 solo se modula con el código P. El código P se puede encriptar como

un código denominado P(Y) que sólo está disponible para equipos militares con una clave de descifrado apropiada.

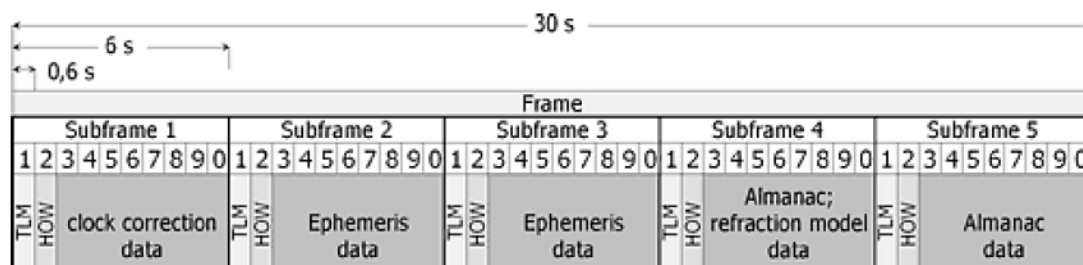


Fig. 3.9 Trama de mensaje GPS

Fuente: Cellular Networks – Positioning, Performance Analysis, Reliability por Melikov

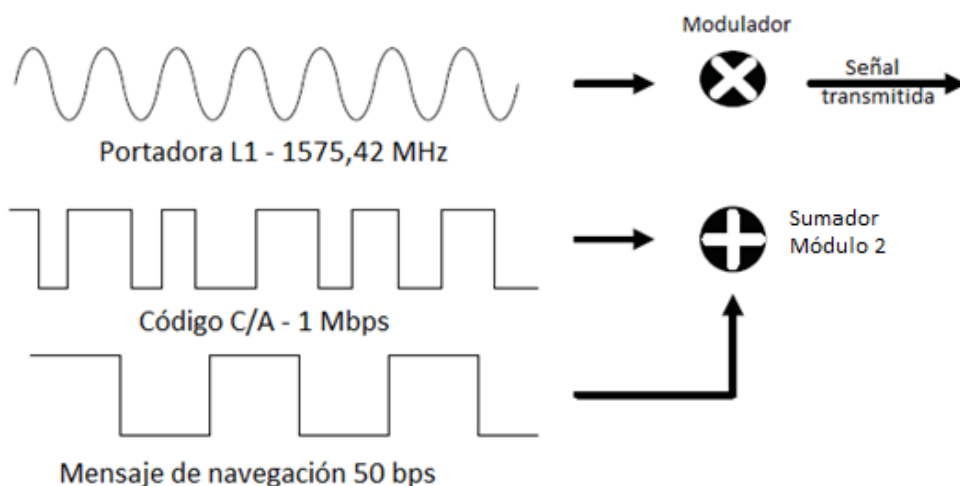


Fig. 3.10 Modulación y codificación de señal GPS satelital usando código C/A

Fuente: Cellular Networks – Positioning, Performance Analysis, Reliability por Melikov

Como todas las señales de los satélites se modulan sobre la misma frecuencia de portadora L1, se requiere la separación de las señales después de ser demoduladas. Esto se realiza asignando a cada satélite una secuencia binaria única conocida como código dorado (gold code). Las señales son decodificadas después de la demodulación, usando adición de los códigos dorados correspondientes al satélite monitoreado por el receptor, como se muestra en la figura 3.11.

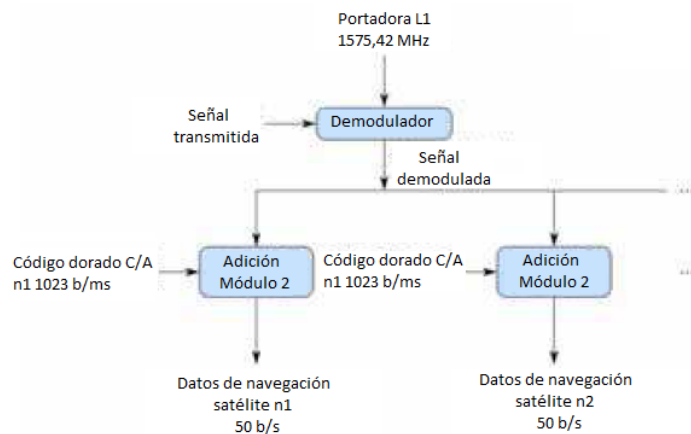


Fig. 3.11 Demodulación y decodificación de señal GPS satelital usando código C/A
Fuente: Cellular Networks – Positioning, Performance Analysis, Reliability por Melikov

Cuando el receptor usa mensajes para obtener el tiempo de transmisión y la posición del satélite, se usa un método de trilateración para formar ecuaciones y un algoritmo optimizado para resolver dichas ecuaciones. Trilateración se refiere a la determinación de puntos de localización absolutos o relativos mediante mediciones de distancias usando geometría de círculos, esferas o triángulos.

Las ventajas principales de GPS son su cobertura y alta precisión (de hasta 50 metros). Y los receptores GPS no tienen la necesidad de transmitir alguna tipo de información a los satélites, así que no hay límite para el número de usuarios que utilicen el sistema simultáneamente. Sin embargo, existen varias cuestiones que afectan la efectividad de GPS, especialmente cuando se trata de servicios de emergencia: tiempo de respuesta, el tiempo de primer posicionamiento (TTFF, time to first fix) que podría tardar más de 30 segundos. Además, GPS no puede proporcionar una ubicación exacta en casos de señal obstruida, como por ejemplo en áreas de ciudades urbanas y en el interior de edificios). Tomando en consideración estas desventajas, GPS no es apto para algunos servicios de localización tales como llamadas de emergencia. (Melikov, 2011)

3.5.2 GPS Asistido

En vista de las limitaciones de GPS que se mencionaron se ideó los sistemas de GPS Asistido (AGPS, Assisted GPS). En especial se implementó esta solución para reducir el TTFF que en algunos casos podía tardar varios minutos antes de presentar una ubicación exacta.

AGPS es un sistema en el cual fuentes externas, tales como un servidor asistente y una red de referencia, ayudan al receptor GPS realizar las tareas requeridas para hacer mediciones y dar soluciones de posición. El servidor asistente tiene la habilidad de acceder información de la red de referencia y tiene una mayor potencia de cálculo que un receptor GPS convencional. El servidor asistente se comunica con el receptor GPS mediante un enlace inalámbrico. Con la asistencia de la red el receptor puede operar más veloz y eficientemente de lo que podría sin asistencia, porque un conjunto de tareas que normalmente realiza por sí solo sería compartido con el servidor asistente. El sistema AGPS resultante, que consiste de un receptor GPS integrado y componentes de red, aumenta el rendimiento de ese mismo receptor más allá de su habilidad en modo GPS convencional.

Hay tres tipos básicos de dato que el servidor asistente le proporciona al receptor GPS: la órbita precisa e información de reloj del satélite GPS; estimación de posición y tiempo inicial; y para receptores AGPS dedicados, información de selección de satélite, de medición de distancia y de tasa de medición con respecto a dichos satélites. El servidor asistente también puede calcular soluciones de posición, así dejando al receptor GPS con la única tarea de recolectar información de

mediciones. La figura 3.12 muestra la arquitectura de AGPS en comparación a GPS convencional. (LaMance, DeSalas, & Järvinen, 2002)

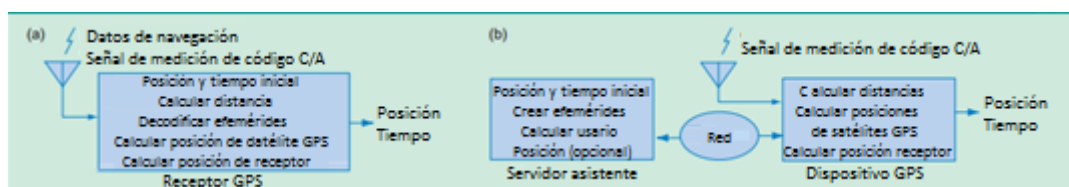


Fig. 3.12 Comparación de esquema GPS tradicional (a) con AGPS (b)
Fuente: Cellular Networks – Positioning, Performance Analysis, Reliability por Melikov

Se puede describir dos modos de operación AGPS. Uno se conoce como modo AGPS asistido por estación móvil (MSA, mobile station assisted) y el otro se denomina modo AGPS basado en estación móvil (MSB, mobile station based). En modo MSA, el terminal móvil recibe una pequeña cantidad de datos de asistencia (mínimo información de almanaque) del servidor AGPS, adquiere las señales de los satélites visibles, realiza las estimaciones de distancia y luego envía estas mediciones al servidor AGPS. El servidor realiza el cálculo de posición y (de manera opcional) lo envía de vuelta al MT. En modo MSB la estación móvil realiza el cálculo (por ende necesita los efemérides de los satélites) y reporta la solución de posición, velocidad y tiempo de vuelta al servidor AGPS si es necesario. Una del modo MSA sobre MSB es que el receptor puede ser muy simple en estructura, ya que la mayoría de los cálculos se realiza en el servidor AGPS. (Li, Zhang, Mumford, & Dempster, 2011)

El ejemplo más común de una implementación AGPS es la función de localización que poseen la mayoría de los teléfonos móviles inteligentes en la actualidad. Los usuarios tienen acceso a diferentes aplicaciones que pueden proporcionar ubicación personal y visualizarlo en un mapa digital. Esto se debe a que aquellos teléfonos

inteligentes generalmente poseen un chip GPS que utiliza información de satélites para calcular la posición exacta del usuario. Y cuando la señal GPS no está disponible, se puede determinar la localización con la ayuda de las estaciones base de celda celular. Con la asistencia de la red de telefonía móvil, se puede usar la ubicación de las celdas que están más cercanas al usuario para triangular una ubicación del teléfono celular. Esto es posible porque el teléfono celular siempre está buscando las celdas más cercanas. También se puede utilizar información de ubicación de un punto de acceso al internet por medio de una conexión inalámbrica para ayudar a obtener una posición más exacta. Combinando las mediciones por celdas celulares con las satelitales se consigue una localización más precisa. AGPS entonces es más versátil que GPS convencional pero hay que tomar en cuenta que de igual forma pierde cierta exactitud cuando se trata de localizar el móvil en el interior de edificios o casas. (Ionescu, 2011)

3.5.3 Sistema de recuperación de vehículos (LoJack)

Lojack es un sistema que ya tiene tiempo en el mercado. Se creó con el propósito de localizar vehículos robados, aunque también se podría utilizar para localizar otros bienes con valor. Este sistema es muy conocido en los Estados Unidos pero su tecnología también se ha implementado en el Ecuador, razón por la cual es relevante revisar su funcionamiento también.

En esencia, LoJack depende de dos componentes principales. Uno de estos es un transmisor que se puede instalar en un automóvil, camión, motocicleta o cualquier otro vehículo. El otro segmento del sistema es una serie de radio-receptores. En los

Estados Unidos estos receptores son operados por las fuerzas policiales locales, y están distribuidas de forma muy extendida.

Si un vehículo se reporta como robado, un comando remoto puede ser enviado para activar el transmisor de ese vehículo. El dispositivo LoJack del automóvil luego empezará a transmitir en una frecuencia fija (173.075 MHz), que permite a la policía en el área local ubicar el bien robado. El alcance de la transmisión puede variar dependiendo de la posición, altitud y composición de edificios y otras obstrucciones, pero las unidades policiales dentro de un radio de 4 a 8 kilómetros típicamente podrán recibir la señal.

Cuando una unidad de rastreo policial recibe una señal de un vehículo robado, éste indicará la dirección general de dónde proviene dicha señal, lo cual permitirá al oficial acercarse al vehículo robado. El rastreador también accederá al base de datos LoJack que contiene información sobre vehículos que utilizan el sistema. Esto le proporcionará al oficial de policía información acerca del vehículo buscado, como color, modelo y número de placa. Con esta información, el oficial podrá identificar visualmente al vehículo robado y, obviamente, recuperarlo.

Estadísticamente se afirma en Estados Unidos que este sistema sí tiene un índice de recuperación considerable. Sin embargo tiene unas cuantas debilidades. Porque la tecnología depende de transmisión de radio corto, las señales se pueden bloquear de forma intencional o involuntaria. Un inhibidor de señal (radio jammer) es capaz de inutilizar las señales del transmisor LoJack, y hasta parquear el vehículo en ciertos lugares con características específicas dificulta el rastreo para la policía. (Laukkonen, 2008)

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE LOCALIZACIÓN

4.1 Visión general del sistema

Ya que se ha revisado los conceptos básicos relacionados al posicionamiento electrónico, es posible describir en detalle la estructura y el funcionamiento sistema de localización que se plantea en este escrito.

En esencia, éste es un sistema relativamente simple. Al igual que otros sistemas que se mencionaron, gira en torno a un dispositivo móvil que tiene la capacidad de emitir una señal después de haber recibido una señal de activación para realizar su función. La señal es captada por un conjunto de receptores (mínimo tres receptores) y luego se utiliza aquella señal para determinar la posición exacta del dispositivo (obviamente a través del método TDOA). Se puede observar un esquema simplificado del funcionamiento del sistema en la figura 4.1.

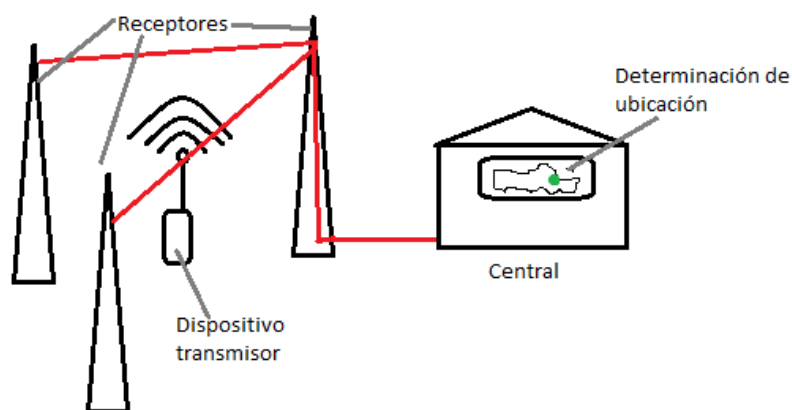


Fig. 4.1 *Esquema simplificado del funcionamiento del sistema*
Fuente: Autor

La utilidad que se le dé a la información de localización obtenida puede variar de acuerdo a la aplicación que se le dará al sistema. Y dependiendo del caso y disponibilidad de ciertos equipos y software, la información podría ser vista sólo por el administrador del sistema, por un usuario cliente que tiene acceso al sistema, o por ambos.

Pero en este diseño se considera que se enfocará en aplicaciones de emergencia y respuesta inmediata. Entonces se tomará en cuenta que el destino de la información de localización será el administrador que se encuentra en lo que se denominará el centro de control. Sin embargo el sistema puede ser utilizado para que cumpla con otras funciones además de llamadas de emergencia. Esto se mencionará un poco más en detalle al final del capítulo. Es bueno tener en cuenta estos detalles de aplicaciones adicionales para futuras expansiones, pero por ahora éste no será el enfoque del diseño.

Para iniciar y ser organizados en este estudio, se puede dividir el sistema en tres segmentos principales: El segmento de usuario, el segmento de infraestructura y el segmento de la central de operaciones (figura 4.2)

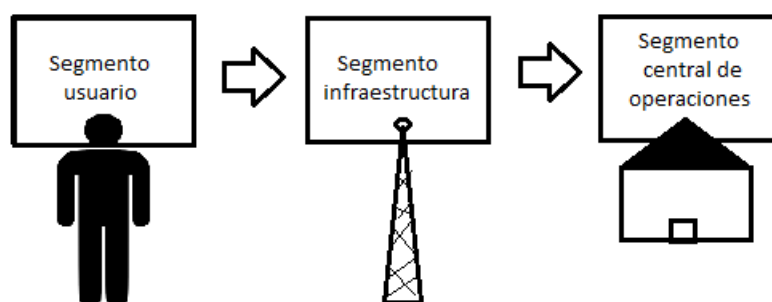


Fig. 4.2 Segmentos generales del sistema
Fuente: Autor

Cada segmento contiene sus funciones y equipos característicos. Se describirá a continuación los elementos principales de cada segmento y su papel en el sistema. Luego de esto se establecerá cómo dichos segmentos interactúan entre sí, explicando los enlaces que conectarán los componentes para que funciones el sistemas en su totalidad.

4.2 Segmento Usuario

El Segmento Usuario consiste solamente de un dispositivo móvil y relativamente pequeño que tiene como función principal emitir una señal que será luego utilizada para para la determinación de su ubicación. El dispositivo está relacionado con el usuario cliente pero no necesariamente estarán en el mismo espacio físico, es decir, se dicho dispositivo puede ser cargados por tercera personas, como niños, ancianos u otras personas que necesitan de cuidado especial, así mismo como bienes materiales como equipos electrónicos y vehículos. En este escrito, a dicho dispositivo lo denominamos Unidad Transpondedora de Localización, o simplemente UTL.

4.2.1 Unidad Transpondedora de Localización (UTL)

La UTL se clasifica como transpondedora porque en su modo pasivo está a la constante espera de una señal de activación. En su modo pasivo consumirá una cantidad mínima de su batería interna, lo cual implica un tiempo de vida considerable. Una vez que la orden de activación ha sido recibida por la UTL, éste iniciará a transmitir una señal en espectro ensanchado por ráfagas que podrán ser utilizadas para cálculos de distancia, por medio de la técnica TDOA con el fin de encontrar la ubicación exacta de dicha unidad. En esta señal estará implícita una

identificación de la UTL. Cada uno de estos dispositivos deberá poseer un código que los identifique para evitar confusión de ubicación. La figura 4.3 muestra el posible aspecto que podría tener una UTL. Más adelante se discutirá un poco más sobre la señal emitida, al entrar en discusión de los enlaces.



Fig. 4.3 Aspecto común de una UTL
Fuente: www.gsm-modem.de

La UTL puede ser puesta en modo activo mediante dos formas: de manera remota o de manera manual (figura 4.4). En la forma remota, el dispositivo será activado por el administrador del sistema desde una consola de control, enviando una señal desde un punto remoto en el área de cobertura. El administrador podría activar la señal por pedido del usuario poseedor de la UTL o por motivación propia (como por ejemplo para pruebas rutinarias). En cambio en la forma manual el usuario mismo activa la UTL al accionar un botón que forma parte de la estructura de la unidad misma. Se puede referir a este modo también como modo botón de pánico ya que, como su nombre indica, la UTL más comúnmente se enciende la unidad en instancias de emergencia que requieren de asistencia inmediata.

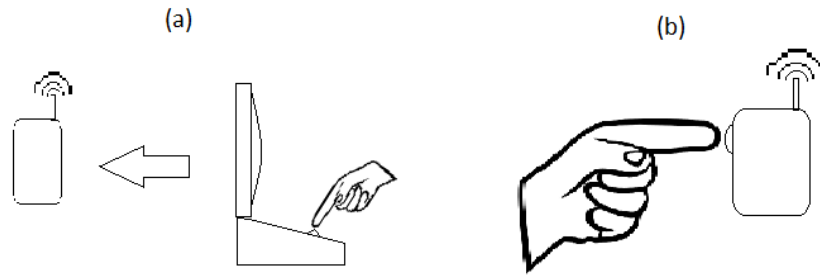


Fig. 4.4 Activación de UTL modo remoto (a) y modo manual (b)
Fuente: autor

4.2 Segmento Infraestructura

Dicho de manera simplificada, el Segmento Infraestructura compete todos los componentes que establecen la conexión entre el Segmento Usuario y el Segmento Central de Operaciones, o sino, expresado de otra manera, es todo lo que permite que la señal emitida por una UTL sea recibida en el extremo del administrador. Lo que compone al segmento es un conjunto de elementos que denominamos estación transceptora secundaria (ETS). Éstas se distribuirían estratégicamente en el sector de operación para dar la cobertura máxima del servicio de localización (figura 4.5). Estos tendrían una configuración de red en estrella, ya que en este diseño el objetivo es que la información de localización proporcionada por las UTL sea recibida en el extremo del administrador.

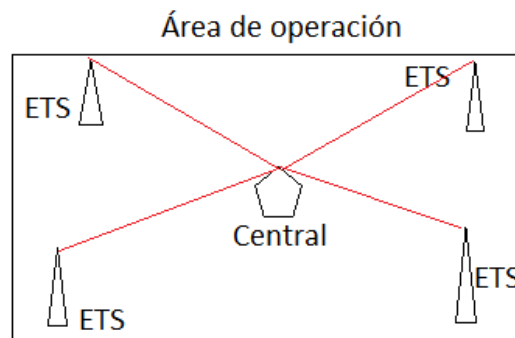


Fig. 4.5 Configuración estrella de los ETS
Fuente: autor

4.2.1 Estación transceptora secundaria

La función principal de las ETS de detectar y recibir la señal de localización y reenviarla hacia el segmento de control de operaciones. Una ETS básicamente consta de una antena receptora, una antena transmisora, y un equipo que transfiere la señal de antena a antena.

La antena receptora (figura 4.6) debe ser capaz de recibir la señal de espectro ensanchado. El equipo receptor-transmisor acepta la señal y la “desensanchará” para convertirla en una señal de banda menor que será transmitida por la antena transmisora con línea de vista (figura 4.7) hacia el lugar del segmento de central de operaciones. Adicionalmente en el transceptor le agrega al mensaje recibido un sello de tiempo que indica el instante en que dicha señal fue recibida en la ETS. Esa información de tiempo es utilizada en la central para calcular la ubicación de la UTL. Luego la señal recibida será enviada por la antena transmisora con una frecuencia diferente, por ende estará también implicado un proceso de traslado de frecuencia. Esto se puede visualizar en el diagrama de bloques de la figura 4.8. Cabe aclarar en el diagrama que la antena LOS realmente realiza ambas la función de transmisión y la de recepción. Como se observa ésta transmite la información de localización hacia la central de operaciones pero recibe desde la misma una señal para sincronización. Esto sucede en todas ETS que se instalen en el área de operación.



Fig. 4.6 *Posible aspecto de la antena receptora*
Fuente: <http://thetechnologygeek.org>



Fig. 4.7 *Posible aspecto de la antena transmisora*
Fuente: www.roc-noc.com

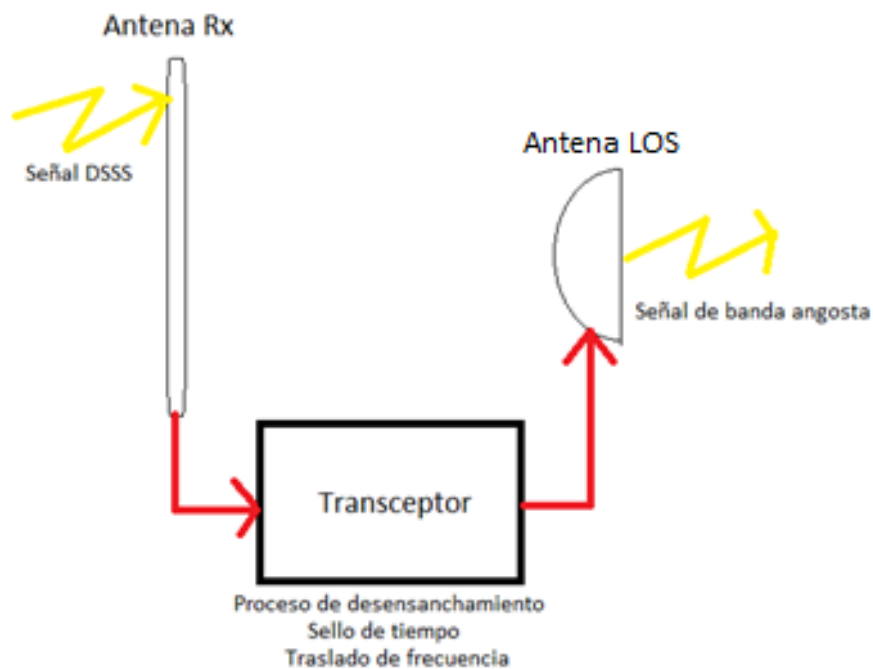


Fig. 4.8 Diagrama de bloque de una ETS
Fuente: autor

4.2.1.1 Sincronización

Es importante tomar en cuenta lo esencial que es la sincronización entre todas las ETS del sistema. Como se mencionó, en la ETS se le agrega a la información dada por el UTL un sello de tiempo. Ésta es la base del funcionamiento de la técnica TDOA. Se registra un tiempo de llegada en cada ETS que reciba la misma señal de localización. Una señal de sincronización es enviada por el segmento control de operaciones a todas las ETS en el área por un enlace inalámbrico RF. La máxima sincronización garantiza una localización con mayor precisión.

4.3 Segmento Central de Operaciones

El tercer segmento tiene como funciones principales emitir la señal que pone en modo activo a las UTL y recibir las señales de las UTL para calcular sus

respectivas ubicaciones. Se puede descomponer al segmento Central de Operaciones en tres partes: el centro de control, la estación transceptora primaria (ETP), y la estación transmisora de activación (ETA). Se menciona que para dar servicio a la ciudad de Guayaquil, e incluso la mayor parte de la provincia del Guayas, se necesitaría solo un segmento de control de operaciones, pero para una cobertura mayor (interprovincial) se necesitaría más de uno. El enfoque del diseño por ahora es únicamente la ciudad de Guayaquil, como ya se ha establecido, pero se explicará un poco más sobre el servicio de área extendida más adelante sólo para tenerlo en cuenta en el futuro.

4.3.1 Centro de control

En el centro de control (Figura 4.9) se encuentra el administrador (o administradores) del sistema. Desde aquí se origina la orden para activar una UTL remotamente y es el sitio donde se puede monitorear las ubicaciones de todas las UTL que se encuentren activas. Así mismo es el sitio donde se ubica el servidor principal en donde se realiza el cálculo de posiciones de las UTL y también se puede visualizar en un monitor la localización de las mismas y se guarda el historial de movimiento del dispositivo. Dicho de otra forma, el centro de control es el lugar donde se encuentran los equipos que proporcionan el interfaz entre el sistema y el administrador o usuario. Obviamente está implícito que aquí se encuentran equipos que modulan la señal de orden de activación para ser enviada al aire y los respectivos equipos de demodulación para extraer la información de localización proveniente de las ETS.



Fig. 4.9 *Ejemplo de un centro de control*
Fuente: www.siemens.com

4.3.2 Estación transceptora primaria

Previamente se había establecido que la topología de red consistiría de una configuración de las ETS en estrella. En el centro de esa estrella se encuentra el elemento de red que se denomina estación transceptora primaria, o simplemente ETP. La ETP prácticamente es el punto en la red donde convergen todas las señales RF relacionadas a la información de localización de las UTL (ver figura 4.10). Por el mismo canal, como se ha mencionado antes, se transmite la señal de sincronización hacia todas las ETS del sector.

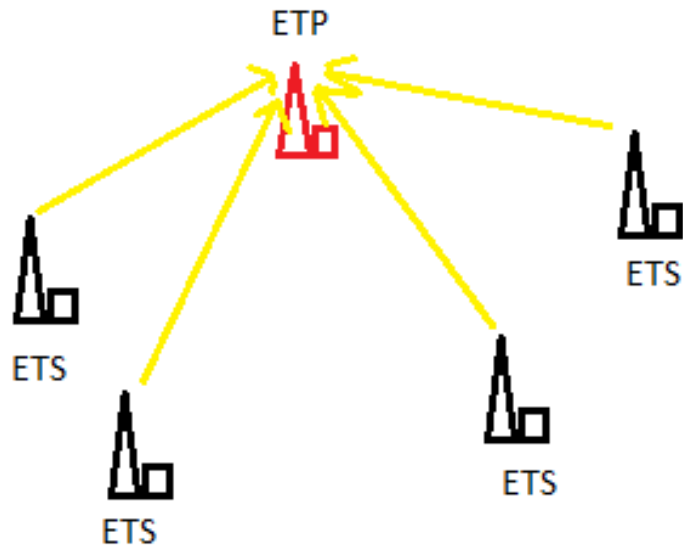


Fig. 4.10 *Convergencia de información en la ETP*
Fuente: autor

La información enviada por las ETS debe llegar al centro de control a través de la ETP. Es posible que la ETP y el centro de control compartan el mismo sitio físico. En tal caso la señal recibida por la antena se demodula para recuperar la información directamente. Pero para la ciudad de Guayaquil las dos entidades estarán distanciadas. Por ende, habrá un enlace RF adicional que redirige todas las señales desde la ETP hacia el centro de control y viceversa. En la unidad transceptora evidentemente también habrá un proceso de multiplexación para manejar la llegada de todas las señales en el receptor. Esto puede observarse en el diagrama de bloques de la figura 4.11.

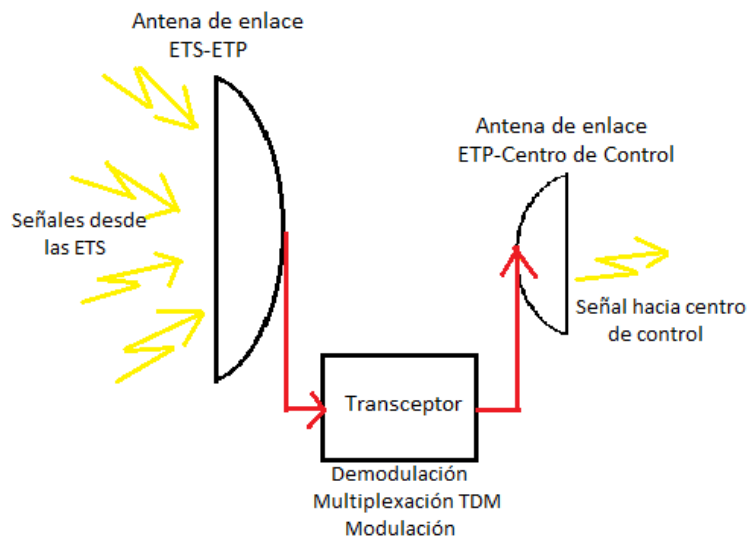


Fig. 4.11 Diagrama de bloque de la ETP
Fuente: autor

4.3.3 Estación transmisora de activación

La componente final del segmento de control de operaciones es la estación transmisora de activación (ETA). Básicamente sólo tiene una única función importante: emitir la señal que activará una UTL específica dentro del área de servicio. El formato de la información de la señal emitida viene dado por el protocolo POCSAG. Este es un protocolo bastante antiguo, ya que era usado en el sistema de comunicación por buscapersonas. Pero el hecho de que es antiguo, y quizás obsoleto, realmente es una ventaja para este sistema. Esto es porque el abandono de las tecnologías de buscapersonas dejó las frecuencias correspondientes a su servicio disponibles para este sistema.

Entonces desde la ETA, por medio de una antena omnidireccional, se propagará una señal similar a la de buscapersonas que será reconocida por una UTL específica. Como se mencionó al inicio del capítulo, las UTL tienen un código de identificación único, y éste está implícito en cada transmisión de la ETA. La señal

POCSAG se propaga por toda el área de operación, pero evita la activación de una UTL que no sea la deseada. En el diseño para Guayaquil la ETA compartirá el mismo espacio físico de la ETP, o sea, ésta estará alejada del centro de control, aunque esto no siempre es necesario. Se eligió esta opción por conveniencia del enlace. Conociendo eso, se observa que se utilizará el mismo enlace adicional mencionado, entre ETP y centro de control, para transmitir el mensaje de activación de la UTL. Aquí está implicado también un traslado de frecuencia entre el centro de control y la antena de la ETA (figura 4.12).

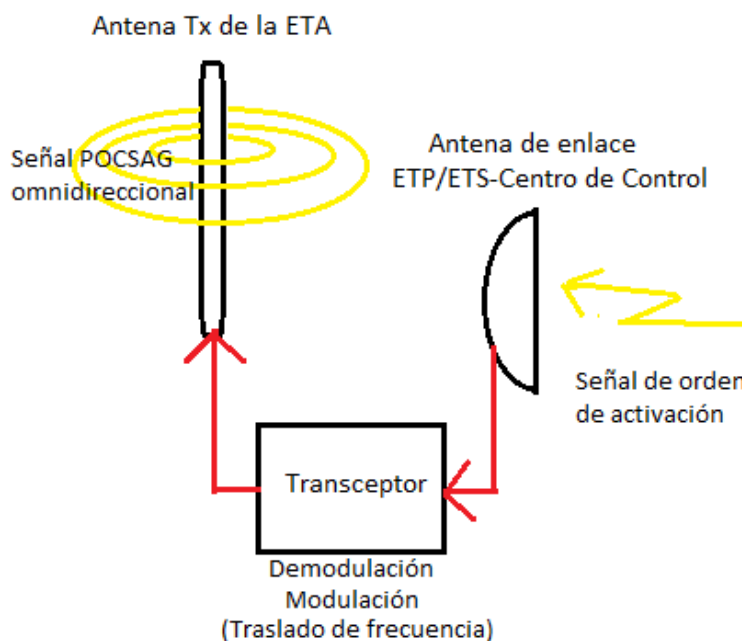


Fig. 4.12 Diagrama de bloque de la ETA
Fuente: autor

4.4 Consideraciones de enlaces

Ya que se ha descrito los elementos principales que componen a este sistema de localización, se puede detallar cómo estos elementos están interconectados entre sí. Los enlaces entre estos elementos es lo que permitirá formar la red de operación

para proveer el servicio deseado. La ubicación de las antenas y enlaces se fijó haciendo uso del programa Radio Mobile.

Hay que recordar que se desea proporcionar servicio a toda la ciudad de Guayaquil. Entonces hay que tener en mente que Guayaquil tiene una extensión de territorio de 345 km² aproximadamente, con elevación relativamente baja (4 metros sobre nivel de mar en promedio), con excepción de ciertas áreas con mayor altitud de la ciudad. (ver figura 4.13)

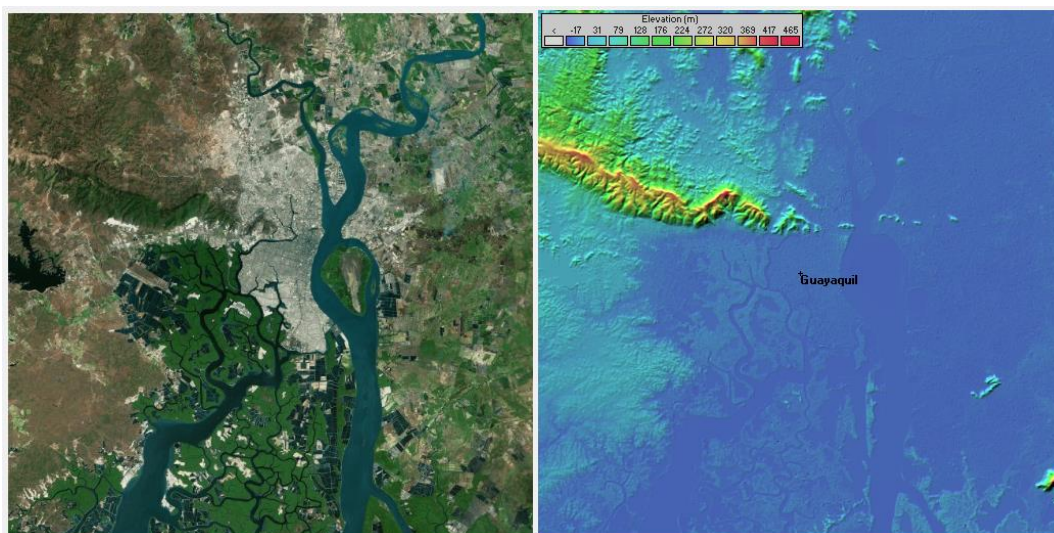


Fig. 4.13 Vista aérea (izquierda) y mapa de elevación (derecha) de la ciudad de Guayaquil
Fuente: Radio Mobile

4.4.1 Enlace descendente de activación: ETA-UTL

La ETP transmite una señal que se propaga por toda el área de cobertura que provocará la reacción de una UTL en particular que se encuentre en el sector. La

ETP se encuentra en el sector más alto del área, que es Cerro Azul. Para el diseño se ubicó la ETP en las coordenadas 2° 9'56.70"S 79°57'26.64"O.

La antena transmisora de la ETP emitirá una señal en un canal de 25 KHz correspondiente a la banda de frecuencias dedicadas para servicios de buscapersonas, según la disposición de la Secretaría de Telecomunicaciones. Ésta es la banda entre 901 y 902 MHz. En la figura 4.14 se muestra una simulación de la cobertura de señal de activación cuando la ETP transmite con una potencia de 30 W, tomando en cuenta que los UTL tienen una sensibilidad de recepción de -115dbm. Obviamente se espera tener una gran cantidad de UTL en el área, pero en la simulación se ubica sólo uno para propósitos de este estudio.

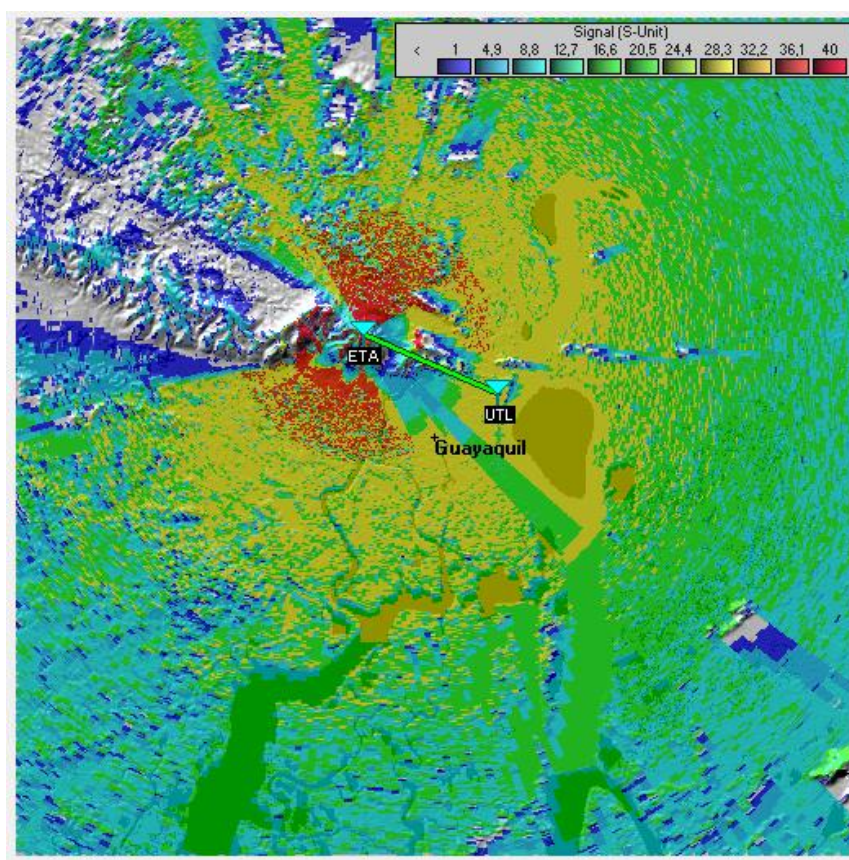


Fig. 4.14 Cobertura de la señal emitida por la ETP
Fuente: Radio Mobile

4.4.2 Enlace ascendente de localización: UTL-ETS

La UTL al ser activada transmite una señal omnidireccional de espectro ensanchado. La señal tendrá una frecuencia central de 908 MHz, perteneciente a la banda destinada para servicios de radiolocalización. Como se trata de una transmisión de esquema DSSS, se utilizará un canal de mayor capacidad. En este caso se ocupa un ancho de banda de 4 MHz. La frecuencia que utiliza es cercana a las de telefonía móvil, por la señal de la UTL tiene un grado de penetración alto. En otras palabras. Funciona tanto en ambientes de interiores como de exteriores.

En la simulación se ubicaron las ETS de tal forma que por lo menos 3 de ellas reciban la señal proveniente de la UTL. Las coordenadas elegidas para cada ETS son las siguientes:

- ETS1: 2° 9'56.70"S 79°57'26.64"O
- ETS2: 2°15'30.82"S 79°53'39.29"O
- ETS3: 2° 4'22.09"S 79°54'36.60"O
- ETS4: 2°10'15.75"S 79°55'39.89"O
- ETS5: 2°10'24.85"S 79°51'5.18"O

Si se recuerda, para que funcione la técnica TDOA es necesario que mínimo 3 receptores detecten la señal de localización. La sensibilidad de las antenas receptoras de las ETP se fijó también en -115 dB y se determinó que con 1 W de potencia de transmisión, la UTL logra una cobertura aceptable para ser detectada por tres o más EST. Esto se visualiza en la figura 4.15.

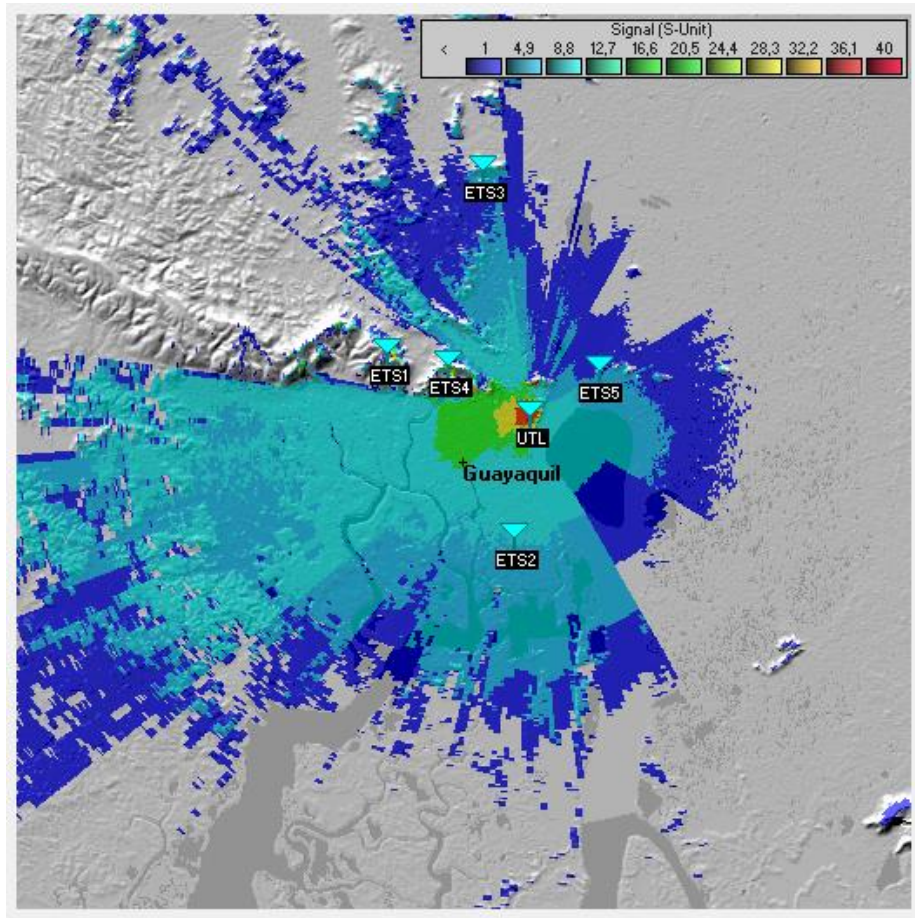


Fig. 4.15 Cobertura de la señal emitida por una UTL en ubicación arbitraria
Fuente: Radio Mobile

4.4.2 Enlaces centrales

Los últimos enlaces por definir son aquellos que permiten dirigir la información deseada hacia el segmento centrado de operaciones. Cualquiera de las cinco ETS, luego de recibir la señal de una UTL, debe transmitir la información de localización hacia la ETP para luego ser recibidas en el centro de control. Los enlaces usarían un ancho de banda de 25 KHz correspondiente a una banda que se encuentre en el rango de los 900 MHz. Se puede observar en la figura 4.16 los enlaces entre ETP y ETS. Hay que hacer nota de que la ETS1 y la ETP comparten el mismo espacio físico y torre, por ende se verá sólo 4 enlaces en vez de cinco.

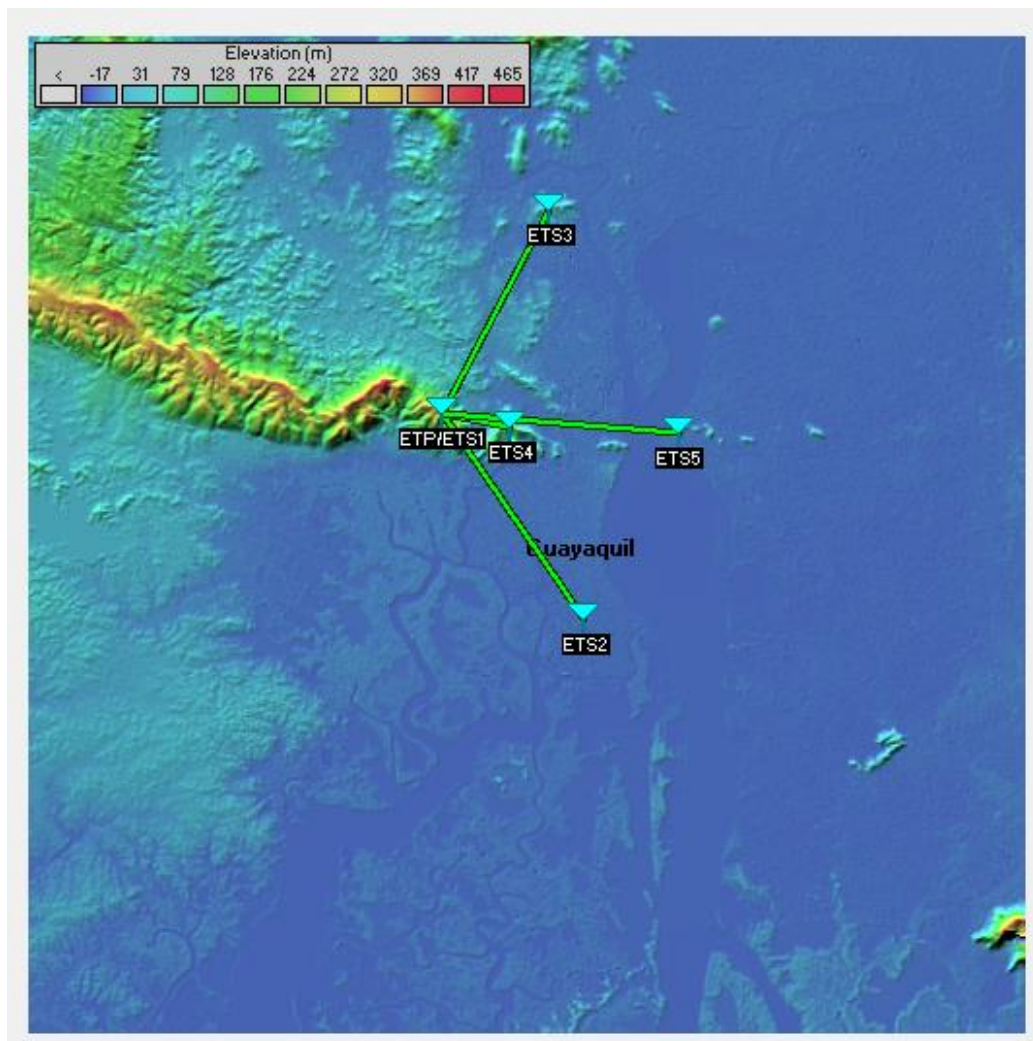
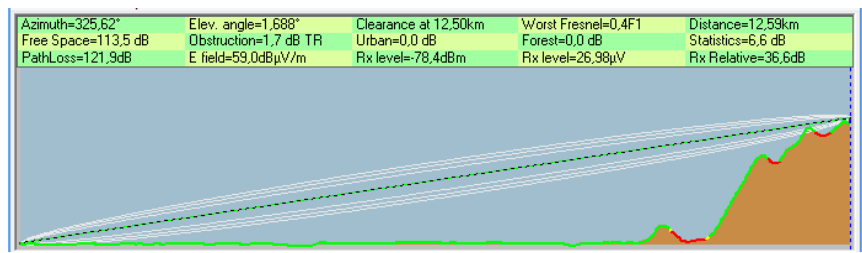
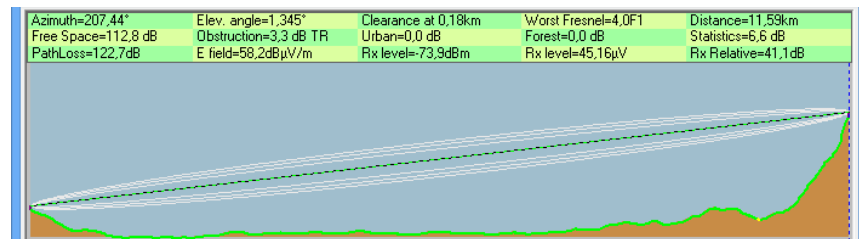


Fig. 4.16 Enlaces de los ETS con la ETP
Fuente: Radio Mobile

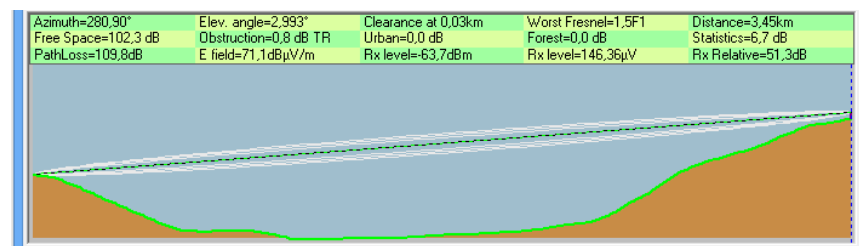
Como ya se mencionó anteriormente, en estos enlaces se le da importancia a la línea de vista, por ende las antenas de las ETS deben estar bien orientadas hacia la ETP. La figura 4.17 contempla la vista lateral topológica de cada enlace que demuestra la línea de vista desde cada ETS a la ETP (con excepción de la ETS1)



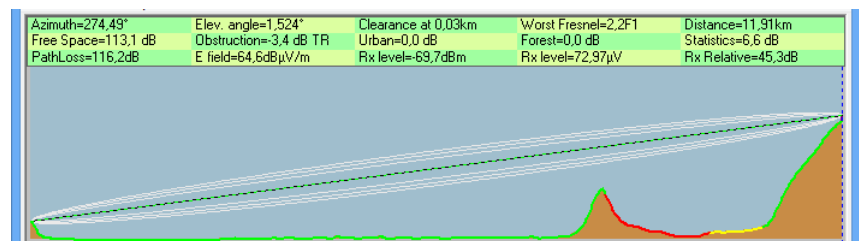
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.17 Líneas de vista entre ETS2 y ETP (a), ETS3 y ETP (b), ETS4 y ETP (c), ETS5 y ETP (d)
Fuente: Radio Mobile

El último de los enlaces por definir es simplemente aquel que conecta la ETP o ETA (los dos están en la misma ubicación) con el centro de control. Este sería un enlace con línea de vista con la misma frecuencia de señal y el mismo ancho de banda. Una ubicación específica del centro de control no es del todo indispensable. Teóricamente podría estar en cualquier sitio, mientras se pueda orientar la antena en

el centro de control y obtener una línea de vista adecuada. En la figura 4.18 se eligió las coordenadas 2°11'37,35"S 79°53'7,24" como ubicación arbitraria para el centro de control (CC) para fines de mostrar el enlace descrito, y la figura 4.19 demuestra su línea de vista respectiva.

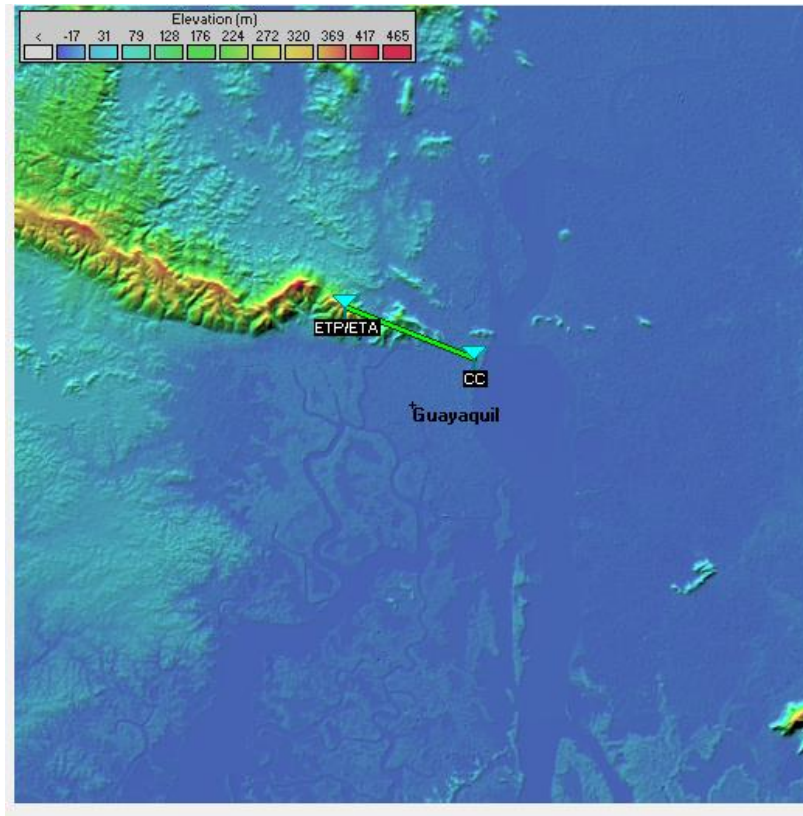


Fig. 4.18 Enlace entre ETP/ETA y el centro de control
Fuente: Radio Mobile

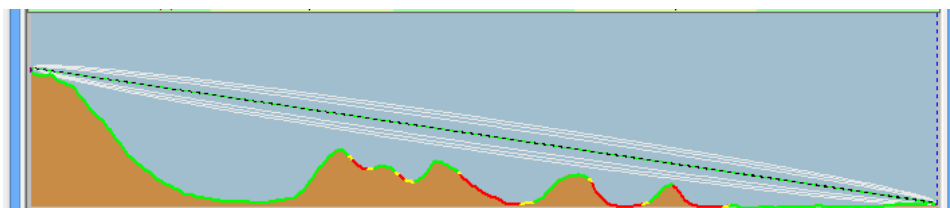


Fig. 4.19 Línea de vista entre ETP/ETA y el centro de control
Fuente: Radio Mobile

4.5 Expansión de cobertura

Como una nota adicional, se menciona que es posible en un futuro tener una cobertura que se extienda más allá de la ciudad de Guayaquil. Teóricamente al aumentar la potencia del transmisor de la ETA en Guayaquil y ubicando un número mayor de ETS se puede obtener una cobertura que proporcione servicio a la mayor parte de la provincia del Guayas. Sin embargo no resulta conveniente aumentar la potencia para tener una cobertura más extensa que la provincial. Se deberá tener un sistema propia por cada área grande (o cada provincia). Lo cual significa poner más de una ETA.

Como las unidades UTL solo aceptan una frecuencia, todas las ETA tendrán que transmitir en la misma frecuencia, esto es una modalidad simulcast. El detalle principal a considerar para tener una cobertura extendida será solamente implementar un método para sincronizar todas las ETA. Esta sincronización es indispensable, ya que el hecho de que todas las ETA utilizan la misma frecuencia de transmisión, lo cual podría provocar problemas en las áreas donde las áreas de cobertura de cada ETA se traslapan. La sincronización resolvería este problema.

4.6 Aplicaciones adicionales: SCADA

Para finalizar se da una mención a otras aplicaciones atribuibles a este sistema. El enfoque, como ya se viene aclarando, es proporcionar un sistema para emergencias y respuesta inmediata, pero existe la posibilidad de emplear aplicaciones SCADA (control supervisor y adquisición de datos).

La UTL se podría modificar para que transmita información adicional en la misma banda de espectro ensanchado. Por ejemplo, la UTL puede ser colocada y

conectada a ciertos sensores o segmentos de un vehículo para adquirir información de velocidad, niveles de gasolina o estado de dicho vehículo y transmitirla hacia el centro de control, para luego ser evaluada por el administrador o usuario. Es una función muy útil para muchos campos, como por ejemplo la gestión de flotas, donde se necesita saber el estado y ruta de vehículos con cargamentos de gran valor.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El sistema que se ha detallado en este escrito tiene gran potencial de éxito en la ciudad. Un sistema de localización de este tipo sería una gran arma para combatir la inseguridad que se vive actualmente en Guayaquil por su capacidad de respuesta y su cobertura.
- Es lógico pensar que la respuesta de este sistema será más veloz porque la señal no viaja distancias desde el espacio como en GPS, sino sobre la superficie de la tierra.
- Muchos tienen la noción de que GPS es indicado para emergencias, pero se estableció que no es lo más óptimo.
- El sistema propuesto por ser indiferente con respecto a ambientes de exterior y de interiores tiene una gran ventaja. Esto quiere decir que la señal emitida por los UTL tiene mayor penetración y por ende mayor probabilidad de determinar una localización con una exactitud considerable.
- El despliegue de nueva infraestructura implica también una mayor autonomía. Es decir, la gestión del sistema es competencia del administrador local. GPS en cambio hace uso de satélites que pertenecen al gobierno de los Estados Unidos. Por otro lado un sistema que utiliza satélites representa un costo mayor que uno basado en enlaces terrestres.

5.2 Recomendaciones

- Como cualquier otro tipo de instalación que implica enlaces de radiofrecuencia, en este sistema hay que procurar un uso de frecuencias adecuado, en concordancia con las autoridades como la Superintendencia de Telecomunicaciones y la Secretaría de Telecomunicaciones.
- Se debe respetar los anchos de banda asignados y optimizar el espectro de tal forma que no haya problemas por interferencia.
- Es importante hacer pruebas y estudios para determinar niveles seguros de potencia de transmisión. Hay que velar por lo que dictan las autoridades sobre este asunto, para la regulación adecuada de potencia.
- El mantenimiento y seguimiento continuo de los equipos de este sistema es esencial. La clave del éxito de un proyecto como este es asegurar una alta calidad de servicio, y una forma de lograr esto es asegurarse constantemente de que los equipos estén en buen estado operacional y estar listo para cualquier daño o evento de riesgo imprevisto.

BIBLIOGRAFÍA

- Black, B. A., DiPiazza, P. S., Ferguson, B. A., Voltmer, D. R., & Berry, F. C. (2008). *Introduction to Wireless Systems*.
- Calrinox Technologies Pty Ltd. (2009). *Real Time Location Systems*. Obtenido de <http://www.nottingham.ac.uk/grace/documents/resources/marketreports/realtimelocationsystems09.pdf>
- Chico, A. (2009). Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento en interiores basado en Wi-Fi con tecnología Android. Universidad Carlos III de Madrid.
- Djuknic, G. M., & Richton, R. E. (2001). *Geolocation and Assited GPS*. Obtenido de http://www.cs.columbia.edu/~drexel/CandExam/Geolocation_assistedGPS.pdf
- Enge, P., & Misra, P. (1999). *Special Issue on Global Positioning System*. Obtenido de <http://www.cs.columbia.edu/~drexel/CandExam/SpecIssueGPS.pdf>
- Ionescu, D. (2011). *Geolocation 101: How it works, the apps, a your privacy*. Obtenido de <http://www.techhive.com/article/192803/geolo.html>
- Kodavati, B., Raju, V. K., Rao, S. S., Prabu, A. V., Rao, T. A., & Narayana, Y. V. (2013). *GSM and GPS based Vehicle Location and Tracking System*. Obtenido de <http://www.ijera.com/papers/vol%201%20issue%203/ZF013616625.pdf>
- Laica. (1999). *GPS Basics*. Obtenido de <http://www.geoplane.com/gpsbasics.pdf>
- LaMance, J., DeSalas, J., & Järvinen, J. (2002). Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach. *GPS World*.
- Laukkonen, J. (2008). *What is Lojack, and how it works?* Obtenido de <http://cartech.about.com/od/Security/a/What-Is-Lojack-And-How-Does-It-Work.htm>
- Li, B., Zhang, J., Mumford, P., & Dempster, A. G. (2011). *How Good is Assisted GPS?* Obtenido de http://www.sage.unsw.edu.au/snap/publications/lib_etal2011d.pdf
- Maxim Integrated. (2003). *An Introduction to Spread-Sppectrum Communications*. Obtenido de <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1890>
- Melikov, A. (2011). *Cellular Networks - Positioning, Performance Analysis, Reliability*.

- Nanotron Technologies GmbH. (2006). *Real Time Location Systems*. Obtenido de http://www.nanotron.com/EN/pdf/WP_RTLS.pdf
- National Instruments. (2014). *Understanding Spread Spectrum for Communications*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/4450/en/>
- Pahlavan, K., & Krishnamurthy, P. (2002). Principles of Wireless Networks. En K. Pahlavan, & P. Krishnamurthy, *Principles of Wireless Networks* (pág. 534). Prentice Hall PTR. Obtenido de <http://www.cwins.wpi.edu/publications/pown/>
- Progri, I. F. (2003). *An Assessment of Indoor Geolocation Systems*. Obtenido de <https://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-0423103-101751/unrestricted/Progri.pdf>
- Rouse, M. (2009). *Search Mobile Computing*. Obtenido de <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/real-time-location-system-RTLS>
- Secretaría de Telecomunicaciones. (2012). *Atribución de bandas de frecuencias para la república del Ecuador*. Obtenido de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/frecuencias.pdf>
- Sprinkle, M. (2003). *Design Considerations in a Modern Land Mobile Radio System*.
- Trimble Navigation Limited. (2007). *GPS: The First Global Navigation Satellite System*. Obtenido de <http://www.saveourgps.org/pdf/GPS-The-First-Global-Satellite-Navigation-System-by-Trimble.pdf>
- Unavco. (2006). *How does GPS work?* Obtenido de <file:///C:/Users/Miguel%20Orellana/Downloads/how-does-gps-work.pdf>
- Wi-LAN Inc. (2000). *Spread Spectrum Wireless Technology*. Obtenido de http://old.optivera.ru/products/Wilan/whitepaper_mcdsss.pdf
- Zekavat, R., & Buehrer, R. M. (2011). *Handbook of Position Location*.
- Zheng, J., Wang, Y., & Nihan, N. (2006). *Tracking Vehicles with GPS: Is it a Feasible Solution?* Obtenido de http://faculty.washington.edu/yinhai/wangpublication_files/ITSA_02_GPS.pdf

GLOSARIO

AGPS: GPS asistido

AOA: se refiere a la técnica de geolocalización de ángulo de llegada

DGPS: GPS diferencial

DSSS: espectro ensanchado de secuencia directa

Espectro ensanchado: se refiere a un esquema de sistemas inalámbricos en el cual se esparce una señal de banda angosta sobre una señal de banda extendida

Estación base: transceptore para comunicarse con los terminales y actuar como entrada de acceso a la parte fija de la infraestructura de una red inalámbrica.

ETA: estación transceptora de activación

ETP: estación transceptora primaria

ETS: estación transceptora secundaria

FSSS: espectro ensanchado por salto de frecuencia

GBS: estación base de geolocalización

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

Multicasting: esquema en que varias estaciones base transmiten simultáneamente la misma información usando diferentes canales

POCSAG: protocolo anteriormente utilizado para tecnologías de buscapersonas

RSS: se refiere a la técnica de geolocalización de intensidad de señal recibida

SCADA: control supervisor y adquisición de datos

Simulcasting: esquema en que varias estaciones base transmiten una señal simultáneamente en el mismo canal

Sistema de geolocalización: Sistema que determina la ubicación de un objeto

Sistema de radio móvil: conjunto sistemas de comunicación inalámbrica y de dispositivos que utilizan radiofrecuencias, cuyas trayectorias de comunicación son movibles desde al menos uno de los extremos.

Sistema inalámbrico: cualquier conjunto de elementos (o subsistemas) que operan interdependientemente y utilizan propagación no-guiada de ondas electromagnéticas para realizar una o varias funciones.

TDOA: se refiere a la técnica de geolocalización de diferencia de tiempo de llegada

Terminal móvil (MT): término que puede abarcar a una gran variedad de dispositivos móviles de comunicación, además de teléfonos móviles.

TOA: se refiere a la técnica de geolocalización de tiempo de llegada

Trilateración: proceso de determinar la ubicación de un objeto con respecto a puntos de referencia usando matemática geométrica.

UTL: unidad transpondedora de localización