



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON**

**ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA
PROBAR UNA RED CELULAR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

P R E S E N T A:

JESÚS FERNANDO SÁNCHEZ LEÓN

ASESOR:

ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ



MÉXICO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADESIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A mi madre Julia León Neri:

La mujer que más admiro, respeto y amo en el mundo, ya que es un ejemplo a seguir no solo para mí, sino también para la sociedad. Ya que ella tuvo que hacer muchos sacrificios, que solamente el amor de madre es capaz de hacer y soportar por sus hijos. Es imposible pagar o retribuir todas y cada uno de los sacrificios que tuvo que pasar, para poder darnos de comer, vestirnos y educarnos a mis hermanos y a mí. Por eso este trabajo es un pequeño tributo a su sabiduría, perseverancia, sus consejos y todo, absolutamente todo tu amor incondicional que siempre me has dado. Un billón de gracias TE AMO MAMÁ.

A mis Hermanos:

Agradezco a todos y cada uno de mis hermanos: Gonzalo, Armando, Rafael, María del Carmen, Margarita, Julio Ángel y María Isabel. Por todo lo que he aprendido de cada uno de ellos y su ayuda incondicional en todos los momentos de mi vida. Por que somos una familia unida y siempre contamos con el apoyo de todos. Los amo.

A mis Sobrinos:

Gerardo Rafael, Diego, Dulce Celeste, Ariadna Isabel, Isaac, Adriana, Gonzalo Sebastian, Angélica y Tabata. Por todo su cariño que me has dado. Los quiero mucho.

Al Ingeniero Eleazar Margarito Pineda Díaz.

Le agradezco mucho su tiempo, su dedicación, sus conocimientos para la realización de este trabajo. Es usted un pilar de la carrera de ingeniería, ya que es una persona ética y profesional en su trabajo. Solo basta con ver sus grupos para darse cuenta que se saturan todas sus clases, por que tiene el conocimiento, la paciencia y la habilidad para enseñar. Muchas gracias ingeniero espero que nos siga enseñando.

A la UNAM:

Ya que es un orgullo y un compromiso ser egresado de la máxima casa de estudio. Y por haberme dado la oportunidad de pertenecer a esta gran institución.

A la FES ARAGON.

Que es mi segunda casa, en donde tuve la fortuna de ser formado profesionalmente en sus instalaciones, llámese laboratorio, salones de clases, biblioteca etc. Tantas cosas que viví en aquí, unas buenas y otras malas. Un lugar donde siempre regresare con mucho gusto.

Al Ing. Raúl Roberto Briviesca Correa.

Le agradezco mucho el su tiempo y sus aportaciones a este trabajo, aunque no tuve la oportunidad de tomar alguna clase con usted, con sus contribuciones a este trabajo.

Al Ing. Julián Zúñiga Navarrete.

Le agradezco el profuso tiempo que dedico para revisar este trabajo y sus conocimientos.

Al Dr. Alejandro Antonio Vega Ramírez.

Le agradezco considerable su tiempo que empleo para la revisión y corrección para este trabajo y asimismo le expreso mi admiración por su grado de conocimiento y por consiguiente de estudios.

Al Ing. García Cazares Jorge.

Le agradezco el profuso tiempo que dedico para revisar este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	i
Capitulo 1.- Conceptos Generales	1
1.1 El espectro electromagnético	1
1.2 Antenas	2
1.2.1 Definición	2
1.2.2 Algunos tipos	3
1.2.3 Radiación	4
1.2.4 Patrón de radiación	5
1.2.5 Arreglos	5
1.2.6 Orientación	9
1.3 Modelos de Propagación	9
1.3.1 Definición	9
1.3.2 Tipos	9
1.3.2.1 Modelo Hata	10
1.3.2.2 Modelo COSTA 231 Hata	12
1.4 Tecnologías de acceso	13
1.4.1 Definición	13
1.4.2.1 Acceso múltiple por división de frecuencia	13
1.4.2.2 Acceso múltiple por división de tiempo	14
1.4.2.3 Acceso múltiple por división de código	18
1.4.2.4 Acceso múltiple por división de código en banda ancha	21
1.5 Tipos de Polarización	21
1.7.1 Polarización circular	22
1.7.2 Polarización elíptica	23
1.7.3 Polarización lineal	24
1.7.4 Polarización cruzada	27
1.7.5 Polarización vertical	27
Capitulo 2.Generalidades de Telefonía Celular	28
2.1. Historia de la telefonía celular	28
2.2. Generaciones de la telefonía celular	31
2.2.1.- Primera generación (teléfonos celulares 1G)	31
2.2.2.- Segunda generación (teléfonos celulares 2G)	34
2.2.3.- Generación intermedia (teléfonos celulares 2.5)	35
2.2.4.- Tercera generación (teléfonos celulares 3G)	36
2.2.5 Cuarta Generación (4G)	39
2.2.5.1 Sistemas	40

2.2.5.2 Retos tecnológicos	41
2.3 Componentes del teléfono celular	42
2.3.1 Diagrama a bloques	42
2.3.2 Diagrama modular	46
2.4. Módulos de los teléfonos celulares	46
2.4.1 Modulo de radio frecuencia	47
2.4.2 Modulo de audio frecuencia	47
2.4.3 Modulo lógico de control	47
2.4.4 Modulo de alimentación	47
2.5 Especificaciones de un teléfono celular	48
2.5.1 Modelo	48
2.5.2 Tipo	48
2.5.2 Condiciones ambientales	49
2.5.3 Valores Eléctricos	50
2.6 Red celular	52
2.6.1 Estación base	52
2.6.2 Arquitectura funcional	53
2.6.2.1 La estación móvil	54
2.6.2.2 Sistema de estación base	56
2.6.2.3 Central de conmutación móvil	56
2.6.2.4 Registro de posición	57
2.6.3 Proceso de las llamadas	57
2.6.4 Interferencias	59
Capitulo 3. Antecedentes para el diseño de una red celular	61
3.1 Ciudad o ciudades en que se puede instalar una red	61
3.2 Evaluación preliminar	64
3.3 Ubicación del sitio de la red	75
3.3.1 Estudio de sitios	76
3.3.2 Selección de sitios Candidatos y Aprobados	76
3.3.2.1 Definir el área de búsqueda	76
3.3.2.2 Evaluación preliminar de candidatos	77
3.3.2.3 Visita de sitios para su aprobación	78
Capitulo 4 Algunas recomendaciones para probar la red.....	87
4.1 Introducción	87
4.2 Recomendaciones generales	88
4.3 Recomendaciones para hacer la prueba de onda continua	90
4.4 Recomendaciones para el barrido de las frecuencias.....	91
4.5 Recomendación del modelo de propagación	94

4.6 Recomendación para la potencia emitida radiada	96
4.7 Recomendaciones para las antenas	99
4.8 Recomendaciones para la prueba de los servicios	108
4.9 Recomendaciones para el cambio de parámetros	111
Conclusiones	120
Bibliografía	121

INTRODUCCION

La necesidad de tener una comunicación celular, obliga a buscar un sistema con la mejor red, la actual tecnología y las óptimas aplicaciones. Algunas causas que no ayudarían a realizar una buena comunicación, y hasta traería consecuencias catastróficas en ciertos casos, sería que durante un enlace se perdiera la señal porque existe una construcción que la bloquea o una persona ajena ocupa la misma frecuencia para su uso particular, etcétera. Esto puede ocurrir si durante la ubicación de la radio base no se detecta a dicha construcción o durante las pruebas de operación de la red no se detecta a dicha persona. Observando a esa problemática, se pretende hacer este trabajo de tesis que aminore a dichas causas.

La tesis contiene a una serie de recomendaciones que están dirigidas al personal encargado de: el proyecto de la red celular, realizar las pruebas de operación y realizar la instalación de la red.

El desarrollo de la tesis proporciona la oportunidad de integrar los conocimientos que se adquirieron en la FES ARAGON, en el servicio social y trabajando para una empresa proveedora de tecnología de telefonía celular

Existen varias herramientas de computación que se pueden emplear para analizar a los datos de la red y por consiguiente también existen varias marcas de equipos para hacer las pruebas, como es el caso del Hewlett Packard HP 74xx y del Tems Investigation. Para realizar las pruebas de los servicios que brinda la red, se emplea un auto para recorrer la zona de cobertura y una computadora donde está instalado el programa llamado PlaNet, el cual es uno de los diferentes programas computacionales que se emplean para probar la red celular.

Los objetivos que persigue este trabajo de tesis son:

- 1o Explicar los conceptos que se relacionan con una red celular, como es el caso de los elementos que la constituyen, las partes de un teléfono celular, etcétera.
- 2o Mostrar los elementos que forman a cada una de las generaciones de teléfonos celulares.
- 3o Describir algunas morfologías que pueden existir en una ciudad, para el correcto proyecto de la red celular.
- 4o Dar algunas recomendaciones que pueden ser de gran utilidad durante el proyecto y pruebas de operación de una red celular.

Resumen del contenido de los temas

- El tema 1 aborda el funcionamiento del sistema telefónico. Además se presentan las características electromagnéticas de las antenas, por ser el elemento vital para hacer posible el enlace de un teléfono con otro. También el estudio de las maneras de acceso, donde se presenta el funcionamiento de distintas tecnologías.
- En el tema 2 se describe la estructura de una red celular con todos sus elementos, parámetros y la función que desempeñan. Además, se revisa un poco de su historia y las distintas etapas que han pasado. De igual forma se ve la manera en que debe manipularse por el ser humano y que si no tiene el suficiente cuidado o la prudencia necesaria para manejarla, puede causarle algún daño.
- El tema 3 se enfoca en la explicación de las diferentes topologías que se encuentran dentro de una ciudad, es decir, de las construcciones, árboles, cerros, etcétera. A manera de recomendación para realizar un buen proyecto de una red celular.
- En el tema 4 se desarrolla una serie de recomendaciones que se deben de seguir en las pruebas que se realizan, antes de poner en marcha la operación de una red celular y para el análisis de los parámetros que permiten visualizar a sus servicios. Con las pruebas que se realizan se obtiene la información para determinar si la red tiene problemas de interferencia, de transmisión de datos, o en alguno de sus servicios.

El trabajo está apoyado por múltiples figuras, tablas y pantallas de computadora de los programas que se pueden emplear; todos ellos se explican para que cada uno de los temas estén mejor entendidos de una manera visual.

CAPITULO 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 El espectro electromagnético

Las ondas de radio pueden variar a distintas frecuencias. Al conjunto de todas las frecuencias posibles se lo denomina espectro electromagnético, por su similitud con el espectro luminoso, también denominado mucho antes de que se descubrieran las ondas hertzianas. Así como el espectro luminoso se divide en colores que son franjas o bandas luminosas que pueden diferenciarse visualmente unas de otras, a las ondas de radio se dividen en bandas. Aunque esta división es en parte arbitraria, cada banda presenta comportamiento propio que justifica esa subdivisión.

Podemos imaginar el espectro como una larga avenida; así como hay números para marcar las direcciones de los distintos domicilios, las frecuencias identifican a los diversos puntos en el espectro. Como en la avenida, se encuentran zonas muy habitadas y zonas donde aún nadie se ha instalado. Por ejemplo: las frecuencias medias están instaladas en prestigiosas residencias establecidas por los primeros colonizadores del espectro, allí viven, por ejemplo, los radios de amplitud modulada. Un poco más alejadas, en las frecuencias altas, están las emisiones conocidas popularmente como de onda corta, radioaficionados, la banda ciudadana, comunicaciones con buques, comunicaciones militares, etc. Muchos de sus antiguos habitantes se han cambiado a otras zonas más alejadas, donde pueden emplear satélites o tendidos de fibras ópticas para realizar sus comunicaciones, cientos de agencias noticiosas que con sus teletipos, que es un dispositivo telegráfico de transmisión de datos, para enviar y recibir mensajes mecanografiados punto a punto a través de un canal de comunicación simple, a menudo un par de cables de telégrafo, con las últimas noticias o radio foto, gran cantidad de esas comunicaciones telefónicas internacionales hoy se realizan en porciones del espectro más elevadas.

El propósito de un sistema de comunicación electrónica es transmitir información entre dos o más lugares. Esto se logra convirtiendo la información de la fuente original a energía electromagnética y después transmitiéndola a uno o más destinos, en donde se convierte de nuevo a su forma original. La energía electromagnética puede propagarse en varios modos, como un voltaje o una corriente a través de una guía de onda, o como ondas de radio emitidas por una antena.

El espectro electromagnético total que muestra las localizaciones aproximadas de varios servicios, dentro de las bandas de luz y ondas de radio, se muestra en unidades de Hertz en la figura 1.1.

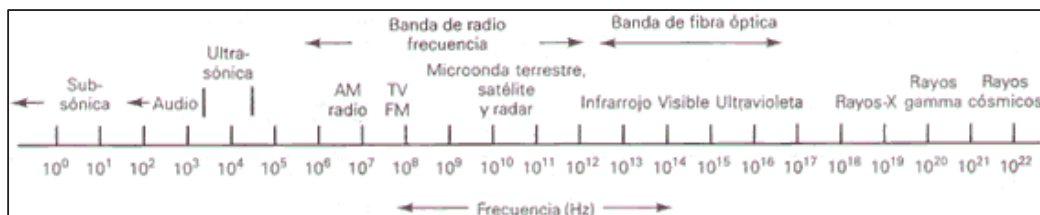


Figura 1.1. Espectro electromagnético en Hertz.

El mismo espectro, pero en unidades de metros ($\lambda = v/f$), se muestra en la figura 1.2.

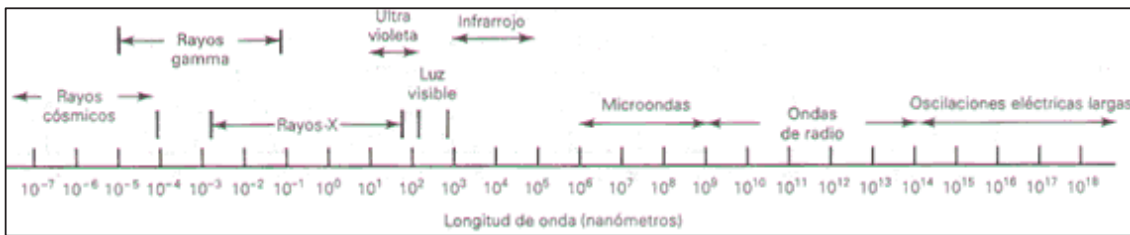


Figura 1.2. Espectro electromagnético en metros.

Puede verse que el espectro se extiende desde los límites de los rayos cósmicos, y cada banda tiene un valor característico único que la hace diferente de las otras franjas. Cuando se trata de ondas de radio, es común usar las unidades de la longitud de onda en vez de frecuencia. La λ es la longitud que un ciclo de una onda electromagnética ocupa en el espacio, es decir, la distancia entre los puntos semejantes de una onda repetitiva. La amplitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a la velocidad de propagación, la velocidad de propagación de la energía electromagnética en el espacio libre se asume que es la de la velocidad de la luz. La relación entre la frecuencia, velocidad y longitud de onda se expresa matemáticamente como:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{frecuencia}} = \lambda = C/F; \text{ donde la } C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Podemos decir entonces que se define la longitud de onda (λ) como la distancia que recorre el pulso mientras una partícula del medio que viaja la onda realiza una oscilación completa. El tiempo que tarda en realizar la oscilación se llama período (T) y la frecuencia (F) es el número de oscilaciones o vibraciones completas que efectúa cualquier partícula del medio perturbado por donde se propaga la onda en un segundo.

1.2 Antenas

1.2.1 Definición

Una antena es un dispositivo pasivo (un arreglo de conductores eléctricos) que convierte potencia de radio frecuencia (RF) en campos electromagnéticos, o en su defecto intercepta éstos mismos y los convierte a energía RF.

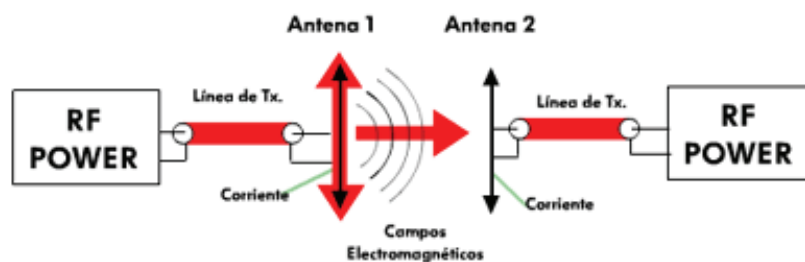


Figura 1.3. Diagrama de una antena.

En la figura 1.3 se puede ver que la antena 1 convierte RF en corriente y campo electromagnético, generando una radiación a través del espacio libre. En la antena 2 el campo electromagnético induce pequeñas corrientes y éstas son réplicas idénticas de la corriente original de la antena 1, las cuales reproducen la RF.

1.2.2 Algunos tipos

1.- Antena Isótropa. Es una antena que no se puede realizar físicamente porque radia con la misma intensidad en todas direcciones. Es decir, su radiación carece de polaridad y, aunque se trata de un elemento abstracto, es muy utilizable como antena de referencia. El ejemplo es la luz de un foco como referencia, produciendo la misma luz en todas direcciones. El radio equivalente a este foco se llama radiador isótropico, el cual radia lo mismo en todas direcciones. Desafortunadamente es virtualmente imposible construir tal antena. La radiación comparada a un radiador isótropico es llamada EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). La más simple, común y físicamente realizable antena de referencia es un dipolo. La radiación comparada a un dipolo se llama EIRP y los dos tipos son mostrados en la figura 1.4.

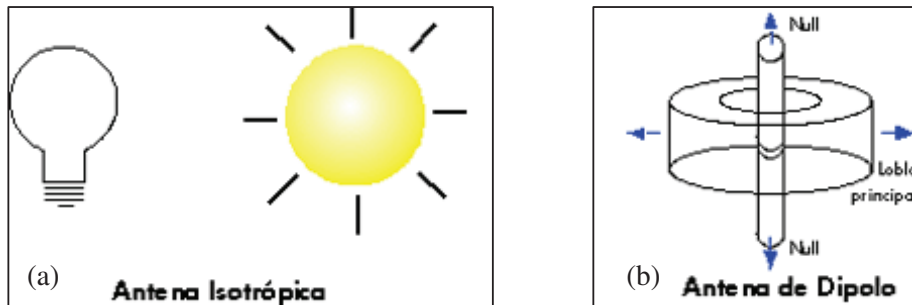


Figura 1.4.(a) Antena Isotrópica y figura 1.4 (b) antena de un solo polo.

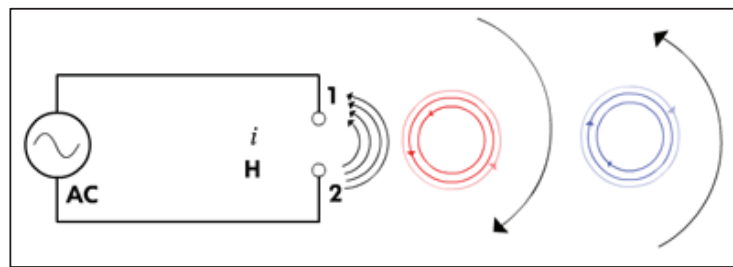
2.- Dipolo elemental. Es la antena con polarización lineal horizontal o vertical más simple. Está formada por dos pequeños conductores con una longitud total l muy pequeña en comparación con la longitud de onda de la radiación.

3.- Dipolo en $\lambda/2$. También posee polarización lineal. Es una antena similar al dipolo elemental, salvo en que su longitud teórica es igual a un semi-longitud de onda.

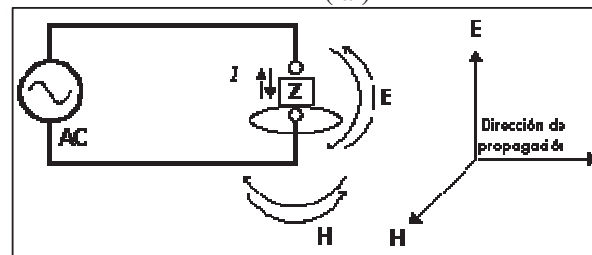
1.2.3 Radiación

En la figura 1.5.a se muestra a la radiación que se produce entre los extremos 1 y 2 de una antena, mientras que en la figura b aparece entre dichos extremos al símbolo Z de su impedancia.

Los campos eléctricos y magnéticos que se generan durante el primer semiciclo positivo $+V$ y durante el semiciclo negativo $-V$ son invertidos y liberados a la velocidad de la luz.



(a)



(b)

Figura 1.5. (a) Radiación entre los extremos y figura 1.5 (b). Hace referencia a la impedancia Z .

Se requieren de las condiciones siguientes para la radiación:

- Dos líneas de transmisión conectadas a una fuente de RF
- Las ondas fijas se forman de la apertura de separación con una distancia de hasta la mitad de la longitud de onda.
- Las ondas firmes forman un ciclo mientras la polaridad de la fuente cambia.
- El ciclo radia a la velocidad de la luz.

En la figura 1.6 se presenta la longitud de onda

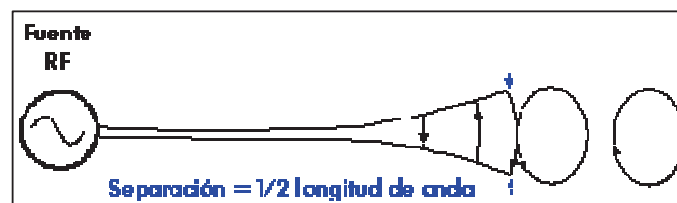


Figura 1.6. Longitud de media onda.

1.2.4 Patrón de radiación

Las antenas pueden radiar diferentes porcentajes de energía en diferentes direcciones.

En la figura 1.7 aparece un patrón de radiación para la separación de la mitad de la longitud de la onda, mientras que en la figura 1.8 aparece la suma de dos ondas cuando se encuentran en fase y cuando están desfasados 180 grados se cancelan.

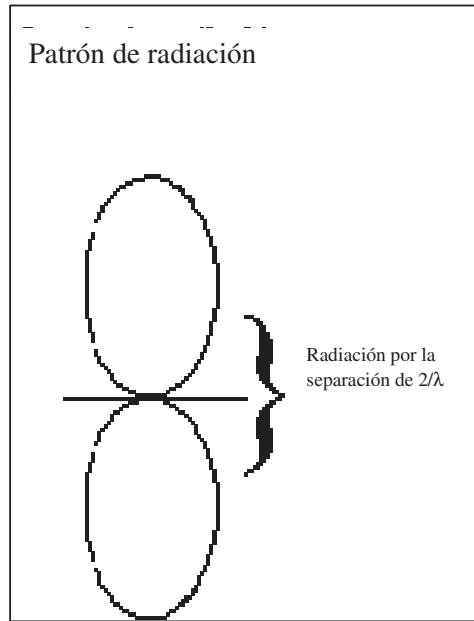


Figura 1.7 Patrón de radiación.

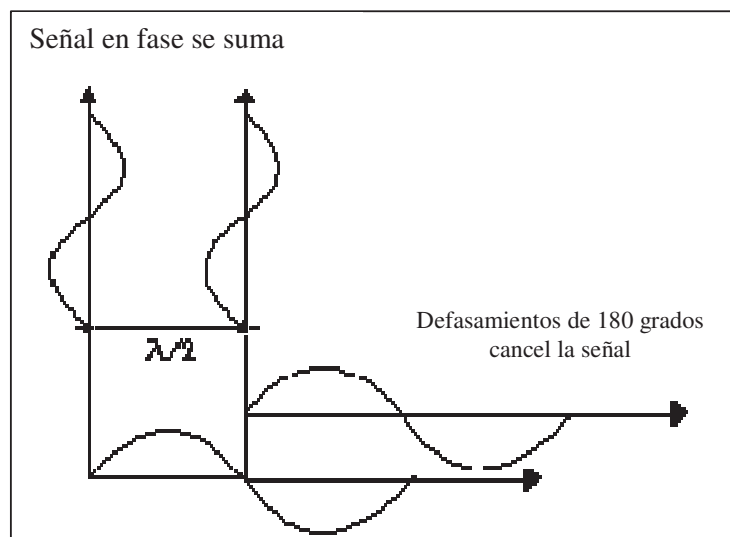


Figura 1.8 Señal en fase se suman.

1.2.5 Arreglos

Las antenas basadas en múltiples elementos radiando se conocen como arreglo de antenas y alguno de estos arreglos pueden ser los siguientes:

1.- Dos arreglos linealmente excitados:

- Los componentes en fase en el plano vertical son sumados.

- Los componentes con diferencia de fase de 180 grados en el plano horizontal son cancelados.

Dichos arreglos aparecen en las figuras 1.9 y 1.10

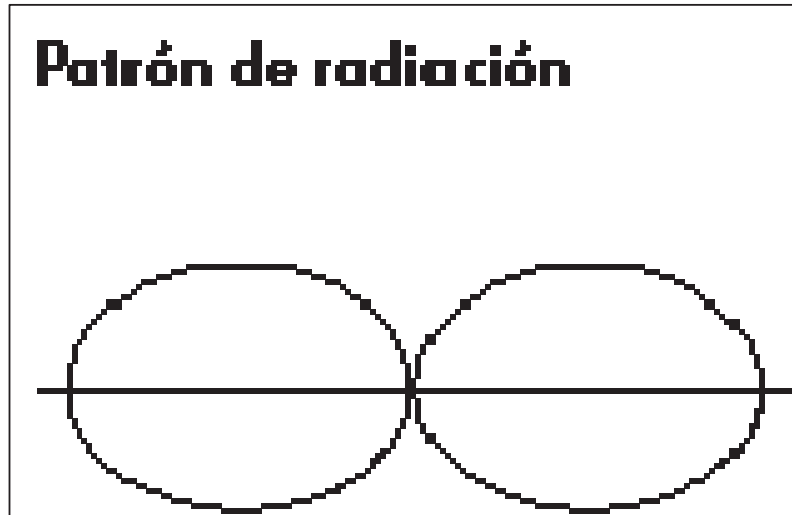


Figura 1.9 Patrón de radiación en arreglo excitado.

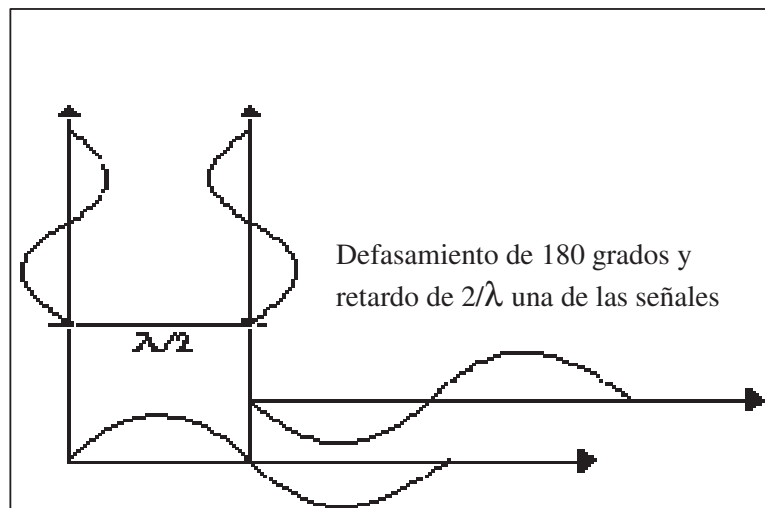


Figura 1.10. Señales con diferencia de fase de 180°.

2.- Dos arreglos linealmente excitados.

- Los componentes en fase en el plano horizontal son sumados.
- Los componentes con diferencia de fase de 180 grados en el plano vertical son cancelados.

- La dirección puede ser creada al cambiar la fase de excitación.

Dicho arreglo aparece en la figura 1.11.

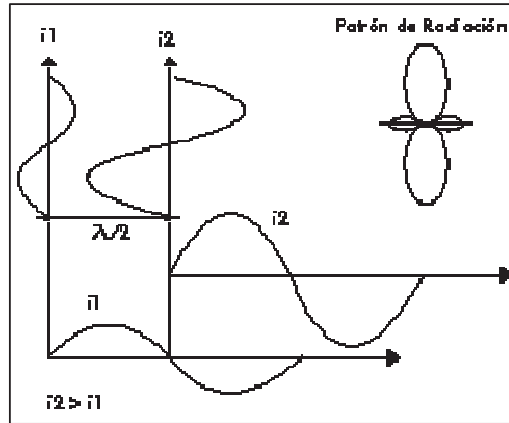


Figura 1.11. Patrón de radiación y cambio de fase.

3.- Cancelación de lóbulos laterales en arreglos de antenas no-uniformemente excitados.

- El patrón de radiación se encuentra a la mitad de la longitud de la onda.
- Se presenta un defasamiento cada media onda.
- El cambio de fase elimina al lóbulo lateral.

Dicho arreglo aparece en la figura 1.12.

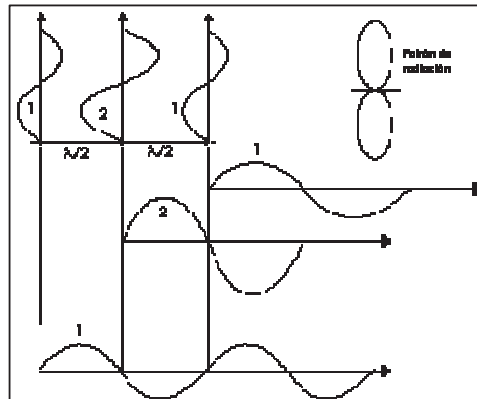


Figura 1.12. Patrón de radiación y cambio de fase que elimina el lóbulo lateral.

4.- Arreglos verticales colineales.

- Esencialmente omnidireccional en el plano horizontal.
- Ganancia de potencia aproximadamente igual al número de elementos.
- Apropiaada para los teléfonos celulares.

5.- Arreglo log-Periódico.

- Todos los elementos controlan la operación.
- Ancho de banda grande.
- Tipo omnidireccional.
- Se usa en tecnología celular.

En la figura 1.13 se presenta una antena Onnidireccional.



Figura 1.13 Antena Onnidireccional.

6.- Arreglos colineales

- Requieren monturas estabilizadoras y una alineación cuidadosa.
- Se debe asegurar que los ángulos no cambien en áreas de cobertura importantes.
- Los reflectores de codo y rejilla son usados para asegurar una directiva suave.
- El número de elementos determina el valor de su ganancia de potencia. En la tabla 1.1 se muestra a diferentes números de elementos con su ganancia de potencia.

Número de elementos	Ganancia de Potencia	Ganancia (dB)	Angulo
1	1	0.00	N/a
2	2	3.01	26.57°
3	3	4.77	18.43°
5	4	6.02	14.04°
5	5	6.99	11.31°
6	6	7.78	9.46°
7	7	8.45	8.13°
8	8	9.03	7.13°
9	9	9.54	6.34°
10	10	10.00	5.71°
11	11	10.41	5.19°
12	12	10.79	4.76°
13	13	11.14	4.40°
14	14	11.46	4.09°

Tabla 1.1 Arreglos colineales.

7.- Arreglos para antenas sectorizadas

- Las antenas sectorizadas típicas comerciales son combinaciones verticales de dipolos, yagis o elementos log-periódico con reflector (panel o rejilla) trasero.

- El patrón de plano vertical está determinado por el número de elementos verticalmente separados y varían de 1 a 8, afectando principalmente la ganancia y el ancho del haz en el plano vertical.
- El patrón de plano horizontal esta determinado por el número de elementos horizontalmente espaciados y por la forma que tienen sus reflectores.
- Dentro de este tipo de arreglo está la antena DB833, DB834 y DB980H90 (E/N)-M, la cual es mostrada en la figura 1.14, también muestra su ángulo de apertura tanto vertical como horizontal

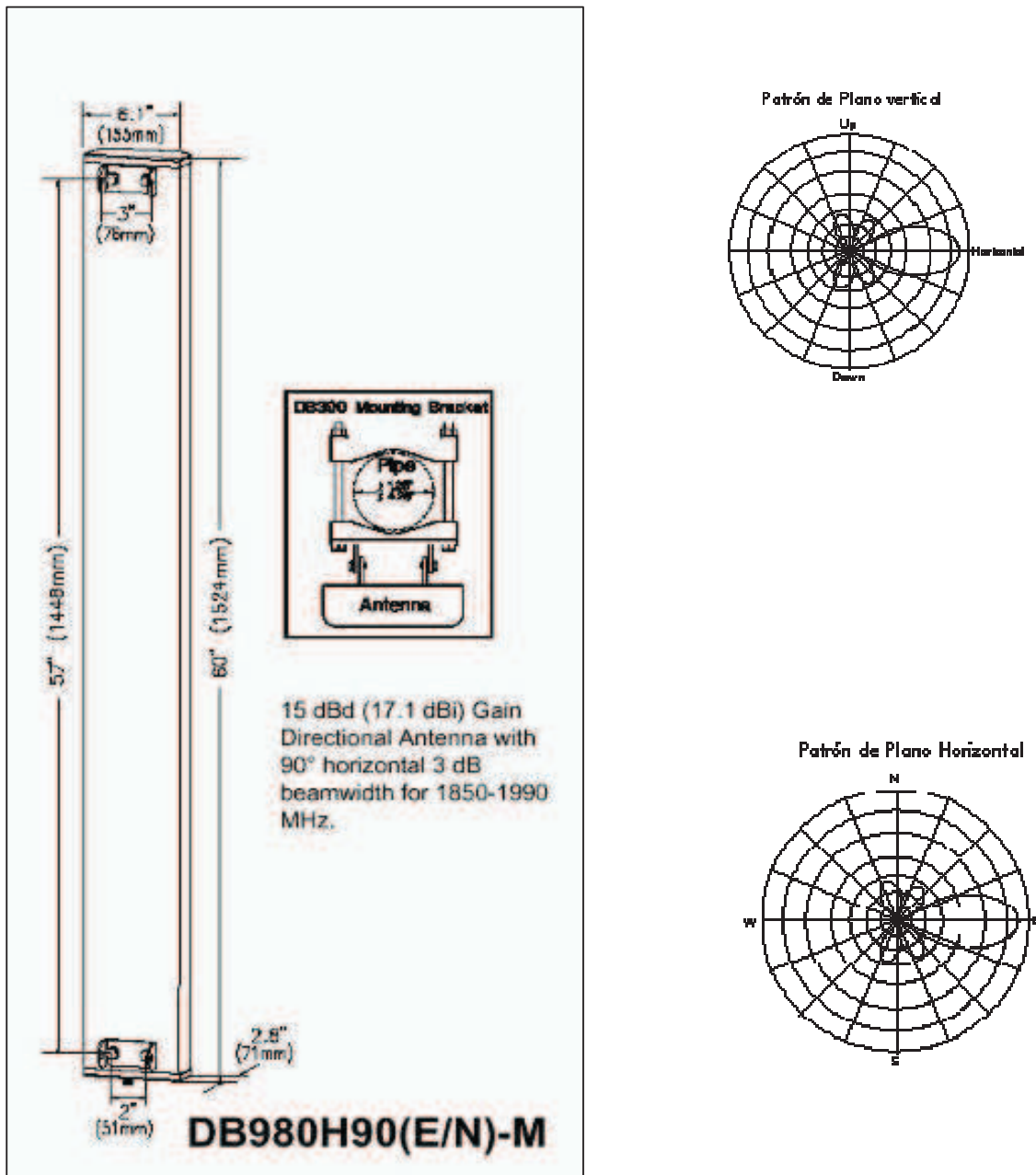


Figura 1.14 Antena sectorizada DB980H90 (E/N)-M.

1.2.6. Orientación

El campo electromagnético debe de estar orientado hacia la dirección del flujo de corriente, en la antena que se encuentra radiando la energía RF. Para interceptar a la energía significativa, la antena que se va a ocupar como receptora deberá ser orientada de manera paralela a la antena transmisora, es decir, la antena debe estar direccionada al lugar que se desea cubrir o dar el servicio.

Cuando la antena receptora se encuentra orientada en ángulos cortos, con relación a la antena transmisora, se producirá muy poca corriente inducida y esto es referido como una polarización cruzada. La pérdida típica para este tipo de orientación es de 20 dB.

Una orientación vertical de las antenas es utilizada en la telefonía móvil.

1.3 Modelos de Propagación

1.3.1 Definición

Un modelo de propagación es aquel que puede predecir la potencia promedio de la señal recibida por una antena, que se encuentra a una distancia determinada de la antena transmisora, y también a las variaciones de la potencia de la señal en la cercanía de un punto de interés.

Se han desarrollado diversos modelos con variaciones específicas, aunque en forma general, se pueden considerar los siguientes dos modelos:

1.- Determinísticos. Se utilizan para determinar las características de radio propagación de manera precisa, simulando a todas las radiaciones dominantes que existen entre la antena transmisora y la receptora, sobre una base de datos muy exacta. Esto hace que su costo sea muy alto.

2.- Estadísticos. Analizan el comportamiento de la señal electromagnética transmitida de manera aleatoria, por lo que este modelo se basa en el tratamiento de ciertas variables aleatorias y distribuciones probabilísticas. Este modelo ofrece un costo muy bajo, pero con una exactitud muy pobre.

1.3.2 Tipos

En un principio, cuando aparecieron las redes inalámbricas se utilizaban pocas antenas y estaban ubicadas a una gran altura. Esta implementación era válida debido a que la demanda por el servicio era mínima. Con el aumento del número de usuarios fue necesario disponer de más antenas y canales, con lo cual fue forzoso poder hacer reuso de las frecuencias, lo que permite volver a utilizar el mismo canal en otro lugar. Entonces, para disminuir al máximo la interferencia en los límites de las celdas se debió obtener mejores predicciones de cobertura.

Actualmente, se pueden encontrar a 4 tamaños o tipo de estaciones base: macro, mini, micro y pico. El radio de cobertura de la celda puede variar por la

posición que tenga la antena transmisora (TX). En la tabla 2.2 aparecen los valores de las radio celdas para las macro y micro celdas.

Tipo de celda	Radio de la celda	Posición de la antena transmisora
Macro celda	1 a 30 Km.	Montada sobre el nivel de los techos, las alturas que la rodean son menores a estas
Micro celda	0.5 a 5 Km.	Montada a una altura menor que la mayoría de las edificaciones y las estaciones base que la rodean son mas altas

Tabla 1.2. Radio de la celda macro y micro.

A continuación se listan algunos de los modelos empíricos, semi empíricos y teóricos que pueden ser utilizados en la macro celda para determinar a su propagación. Existen varios modelos para determinar la cobertura y sólo se revisarán a dos de ellos, a manera de ejemplo.

1.- Modelos empíricos:

- Modelo Hata.
- Rec 529 (Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)).
- Hata Modificado.
- Modelo COST 231 Hata.
- El Modelo Ibrahim y Parsons – (El modelo de Londres).
- Predicciones de propagación de Young.
- Modelo de Allsebrook.
- Modelo McGeehan y Griffiths.
- Modelo Atefi y Parsons.
- El Modelo Lee.

2.- Modelos semi empíricos y teóricos:

- Modelo Flat Edge.
- Modelo Walfisch-Bertoni.
- COST 231 Walfisch-Ikegami.
- Modelo Sakagami-Kubai.
- Modelo para Macro Celdas MBX.
- Modelo Ikegami.

1.3.2.1 Modelo Hata

Este modelo es de tipo empírico porque utiliza a una formula empírica para calcular a las pérdidas por propagación, a partir de las mediciones hechas por el ingeniero Okumura. El modelo trata de representar las aproximaciones realizadas a través de la forma $A+B \log_{10} R$, donde A y B son funciones de la frecuencia y la altura de la antena, y R corresponde a la distancia entre la antena y el usuario. Las mediciones que realizó fueron bajo los siguientes parámetros:

- Frecuencias entre 450 y 900 Megahertz (MHz).
- La altura de la antena del terminal móvil era de 1.5 metros.
- Las alturas de las estaciones base estaban entre 30 y 100 metros.
- Los datos que genero relacionan al campo eléctrico en función de la separación.

Las aproximaciones hechas involucran dividir las áreas de predicción categorizadas por el tipo de terreno, llamadas: área abierta, urbana y suburbana; las cuales se describen a continuación:

- 1.- Área urbana. Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde se hallan una gran concentración de casas.
- 2.- Área suburbana. Ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa; existen obstáculos cerca del usuario pero no provocan congestión.
- 3.- Área abierta. Son los espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones en el camino de la señal.

La fórmula del modelo Hata correspondiente a las pérdidas en área urbana es:

$$L_{pu} \{ \text{Área Urbana} \} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b$$

$$- a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R$$

Donde $a(h_m)$ corresponde al factor de corrección para la altura de la antena del equipo móvil del usuario.

La fórmula del modelo Hata para pérdidas en ciudad pequeña y mediana es:

$$a(h_m) = 1.1 \log_{10} f - 0.7 h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8)$$

La fórmula del modelo Hata para pérdidas en ciudades grandes es:

$$a(h_m) = 8.29(\log_{10} 1.54 h_m)^2 - 1.1 ; f \leq 200 \text{ MHz}$$

$$= 3.2 (\log_{10} 11.75 h_m)^2 - 1.1 ; f \geq 400 \text{ MHz.}$$

La fórmula del modelo Hata para pérdidas en área suburbana es:

$$L_{ps} \{ \text{Área Suburbana} \} = L_{pu} \{ \text{Área Urbana} \} - 2 \{ \log_{10} (f/28) \}^2 - 5.4$$

La fórmula del modelo Hata para pérdidas en área abierta es:

$$L_{pa} \{ \text{Área Abierta} \} = L_{pu} \{ \text{Área Urbana} \} - 4.78 (\log_{10} f)^2 - 18.33 \log_{10} f - 40.94$$

Las aproximaciones hechas por Hata son válidas dentro los límites de los parámetros de la Tabla 1.3.

Parámetros	Rango
Frecuencia (f) en [MHz]	100-1500
Altura efectiva de la estación base (h_b) en [m]	30-200
Altura de la antena del móvil (h_m) [m]	1- 10
Distancia (R) en [Km]	1- 20

Tabla 1.3: Rangos de validez del modelo Hata.

Cabe mencionar que este modelo está basado en las mediciones hechas en Tokio, por lo cual el uso del mismo en otras ciudades puede no dar buenos resultados debido al cambio de escenario.

1.3.2.2 Modelo COST 231 Hata

También es de tipo empírico y surge con la primera generación del sistema global para las comunicaciones (GSM), la cual operaba en la banda de los 900 MHz y se podía utilizar el modelo Hata porque es válido para frecuencias entre 100 y 1500 MHz. Con el incremento de usuarios y la evolución de los servicios ofrecidos se comenzaron a utilizar otras bandas como la de 1800 y 1900 MHz. Debido a lo anterior, el grupo europeo COST 231 propuso un nuevo modelo que complementa el teorema de Hata y que es válido para frecuencias entre 1500 y 2000 MHz.

La fórmula del modelo COST 231 para pérdidas por propagación es:

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h) \log_{10} R + C$$

Donde h_m es la altura de la antena del móvil y C_m es un factor de corrección para tomar en cuenta el ambiente de propagación. En la tabla 1.4 se muestran algunos valores de C_m . Es decir, valores de pérdida en las áreas donde se pretende establecer una red celular.

Entorno	Valor (dB)
Para ciudades urbanas densas (Edificios altos, de mas de 7 pisos)	3
Para ciudades urbanas medias (Edificios mas pequeños con calles pequeñas y medianas)	0
Para ciudades urbanas medias con calles anchas	-5
Para entornos suburbanos con pequeños edificios	-12
Para entornos mixtos, pueblo y rural	-20
Para entornos rurales con pocos árboles y casi sin colinas	-26

Tabla 1.4: Valores para el factor de corrección C_m del modelo COST 231.

La Fórmula del modelo COST 231 para pérdidas por propagación cuando el móvil se mueve verticalmente es:

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)$$

En la tabla 1.5 se muestran a las restricciones que tiene el modelo COS 231

Parámetros	Rango
Frecuencia (f) en [MHz]	1500-2000
Altura efectiva de la estación base (h_b) en [m]	30-200
Altura de la antena del móvil (h_m) [m]	1- 10
Distancia (R) en [Km]	1- 20

Tabla 1.5 Restricciones del modelo.

1.4 Tecnologías de acceso

1.4.1 Definición

Una tecnología de acceso es la que puede separar al espectro electromagnético en bandas o canales uniformes de frecuencia, tiempo, etcétera, para que diferentes usuarios puedan usar la misma red de comunicación.

1.4.2 Tipos

En la actualidad, existen tres tipos comunes de acceso que se usan para utilizar a las redes de comunicación. La diferencia primordial es el método de acceso, el cual varía entre: la frecuencia, que es utilizada en la tecnología de Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA, por sus siglas en inglés), el tiempo, que es utilizado en la tecnología de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés) y los códigos únicos, que se proveen a cada llamada en la tecnología de Acceso múltiple por división de código (CDMA, por sus siglas en inglés).

El término llamado acceso múltiple tiene un significado que le permite a cada usuario poder utilizar la misma radio base para lograr su comunicación.

1.4.2.1 Acceso múltiple por división de frecuencia

La tecnología FDMA separa el espectro en distintos canales de voz, al desviar el ancho de banda en pedazos (frecuencias) uniformes. FDMA es mayormente utilizada para la transmisión analógica. Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital.

El Servicio del Teléfono Móvil avanzada (AMPS, por sus siglas en inglés). Sistema celular analógico que funciona en 800Mhz. Usado por ejemplo en Norte América. En el sistema AMPS el número de canales de voz para cada método es de 312 y se pueden agrupar en cualquier número de subconjuntos. Dado que hay 21 canales de set-up en cada sistema, es lógico agrupar los 312 canales en 21 subconjuntos, por tanto cada subconjunto consta de 16 canales de voz. Es una técnica de control de acceso al medio en el cual el espectro radioeléctrico se divide en una serie de secciones o ranuras, dependiendo del número de usuarios en ese momento. La configuración es rígida e

invariante pues cada estación debe transmitir siempre con la misma frecuencia central o portadora, y es válida cuando se puede garantizar que durante la mayor parte del tiempo cada una de ellas ocupará activo ese ancho de banda que se le asignó. Por esta razón se llama acceso múltiple de frecuencia con asignación fija. En FDMA cuando el número subportadoras aumenta, el ancho de banda asignado a cada una de ellas debe disminuir, lo que conlleva a una reedición de la capacidad.

FDMA subdivide el ancho de banda en frecuencias, cada frecuencia sólo puede ser usada por un usuario durante una llamada. Debido a la limitación en la frecuencia, esta técnica de acceso es muy ineficiente ya que se saturan los canales al aumentar el número de usuarios alrededor de una celda. Esta industria de dirección múltiple predominó en los sistemas celulares analógicos de la primera generación. La tecnología más conocida de esta generación es conocida como AMPS. FDMA: suelen ser de un solo canal por portadora (SCPC). Cada usuario utiliza frecuencias diferentes.

En la figura 1.15 se presenta como distribuye FDMA a los usuarios y la figura 1.16 nos muestra los canales como los asigna la tecnología FDMA.

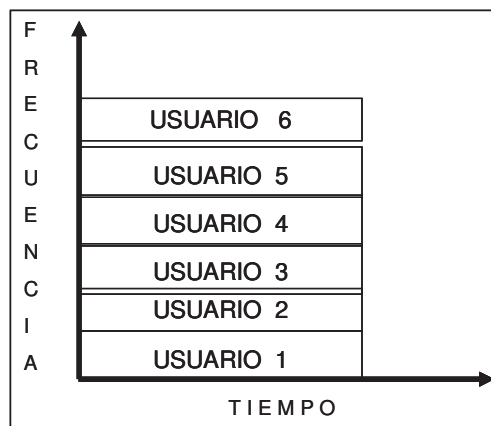


Figura 1.15. Forma de distribución de los usuarios en FDMA.

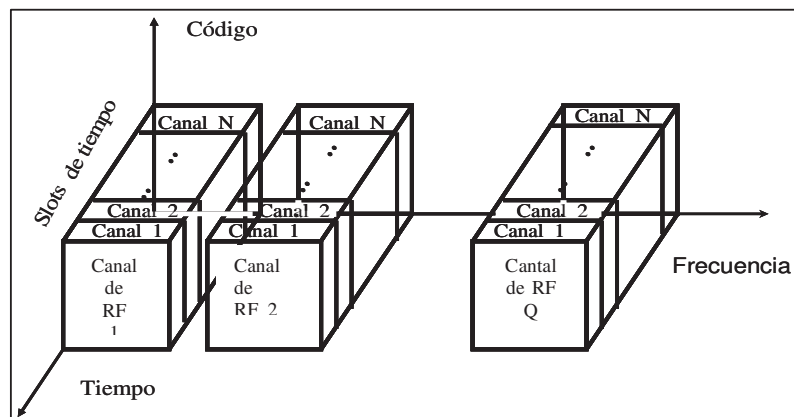


Figura 1.16. Forma de distribución de los canales.

1.4.2.2 Acceso múltiple por división de tiempo.

La tecnología TDMA comprime las conversaciones que han sido cambiadas a digital y las envía en forma de radio, a cada llamada utilizando a un tercio de tiempo solamente. La compresión de la señal de voz es posible debido a que la información digital puede ser reducida de tamaño por ser información binaria de unos y ceros. Debido a esta compresión, la tecnología TDMA tiene tres veces la capacidad de un sistema analógico que utilice el mismo número de canales.

TDMA es una técnica de acceso totalmente digital, mediante la cual varias estaciones base acceden u ocupan el ancho de banda existente. A diferencia de FDMA, donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencia, normalmente con un ancho de banda fijo y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo, es decir, cada estación tiene asignado un tiempo T para su transmisión dentro de la ranura y cuando su tiempo se agota debe dejar la transmisión para que lo haga la estación que le sigue en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

Actualmente, el acceso múltiple TDMA es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, las cuales eliminan la redundancia, períodos de silencio y disminuyen el tiempo necesario para representar un periodo de voz. Los usuarios acceden a un canal de acuerdo con el esquema temporal y, aunque no hay ningún requerimiento técnico para ello, los sistemas celulares usan TDMA sobre FDMA.

GSM es el estándar europeo para la segunda generación de telefonía celular móvil, de la cual logramos escribir múltiples características para las bandas de frecuencia en las que trabaja, como son:

- Transmisión de la estación móvil: 890- 915 MHz.

- Transmisión de la estación base: 935 – 960 MHz.

- Utiliza una modulación y una relación de potencia para interferencia co-canal de 9 dB y para los adyacentes de -9 dB.

- La potencia nominal de las estaciones móviles puede ser de diversos tipos debido a que hay 5 tipos diferentes y sus valores son: 0.8, 2, 5, 8 ó 20W. En el caso de las estaciones base tendremos 7 posibles valores, cada uno asignado a los 7 tipos de estación base existentes y que van desde 2.5 a 320 W.

- TDMA tiene 8 intervalos de tiempo por trama y la duración de cada intervalo es de 3577 ms. La trama comprende 8 canales físicos que transportan a los canales lógicos de tráfico y señalización (control). Se dispone también de un sistema de multiramas que consta de 26 ramas con intervalos de 120 ms. y otra que consta de 51 ramas con intervalos de 236 ms. Lo anterior aparece en la figura 1.17.

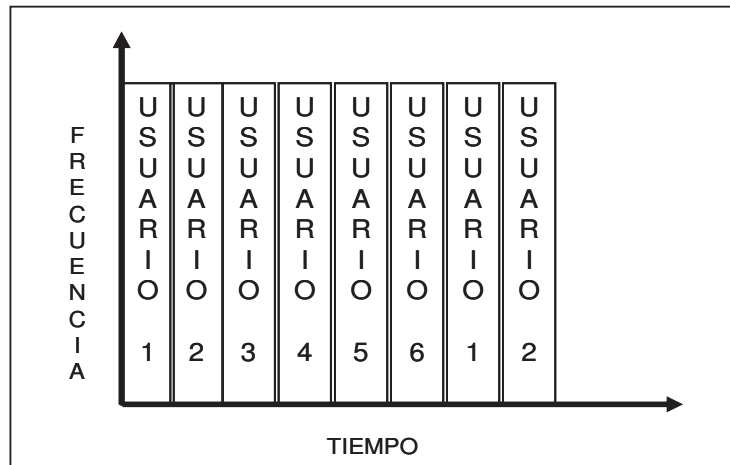


Figura 1.17. Distribución de los usuarios en TDMA.

De cada canal se hace una subdivisión en canales más pequeños, esto se hace utilizando TDMA, es decir, que se divide el tiempo en intervalos de tiempo o spots, de tal modo que se tendrán 8 subcanales que formaran una trama con duración de 4.62 ms. Algunos de estos subcanales se utilizan para transmitir información de usuarios y otros para tareas de señalización y control. La transmisión de la información se hace por ráfagas de 4.62 ms. De este modo, por ejemplo, se trasmite una ráfaga de información cada 4.62 ms. en el intervalo de tiempo que le ha sido asignado para su comunicación en el enlace ascendente. De la misma manera recibirá información cada 4.62 ms. en el intervalo de tiempo que le ha sido asignado en el enlace descendente. La figura 1.18 muestra esta división de los canales.

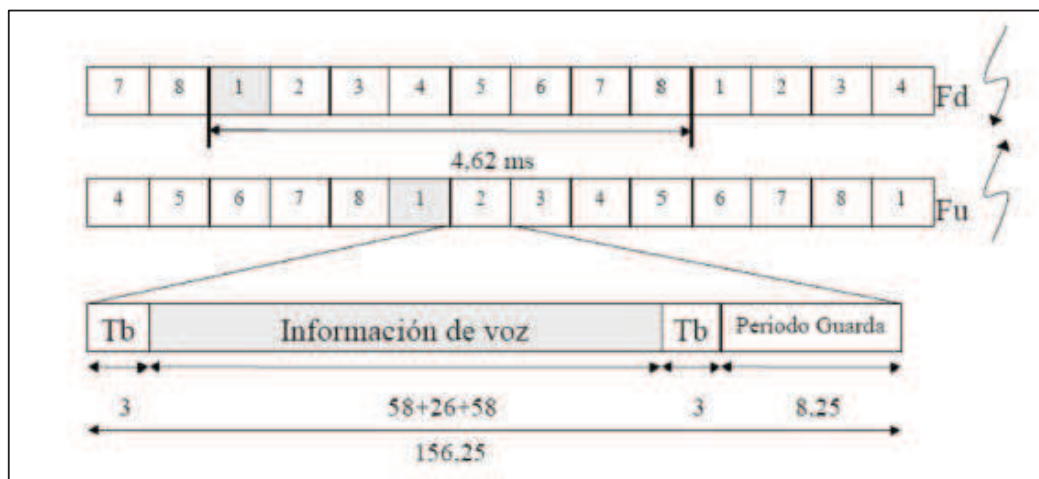


Figura 1.18. División por tiempo del canal.

Como se puede comprobar en la figura 1.19, los canales asignados a una misma comunicación en los enlaces ascendentes y descendentes tienen tres intervalos de

tiempo. De manera que una terminal nunca recibe y transmite al mismo tiempo, con lo que se consigue una comunicación de tipo duplex sin necesitar del filtro llamado duplexor. En la figura 1.19 se ilustran los canales de TDMA.

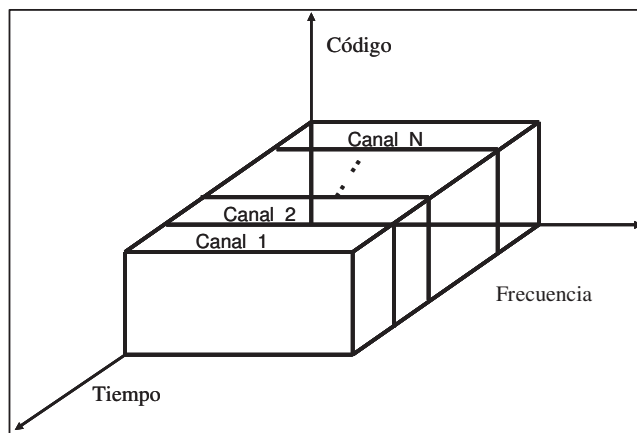


Figura 1.19. Distribución de canales en TDMA.

Hay que tener en cuenta que aunque la trama descendente y ascendente se forma en la estación base de transmisión (BTS) con las ráfagas que llegan de los móviles, esto obliga a que la ráfaga de un móvil llegue en el instante adecuado para meterse en el intervalo de tiempo que le corresponde con la potencia adecuada, ya que para la estación base todos los móviles deben llegar con un nivel de potencia parecido, es decir, como si todos estuvieran a la misma distancia. Esto obliga a llevar el control para que el instante de tiempo en el que transmite el móvil sea realmente el adecuado y de que la potencia emitida por el móvil sea la correcta. Para ello, en la BTS se utilizan las técnicas de avances de tiempo y de control de potencia emitida por el móvil. Para conseguir la sincronización y correcto funcionamiento del avance de tiempo es necesario limitar tanto el radio de la célula (puede ser como máximo de 35 Km.), como la velocidad del móvil (no puede ser superior a 120 Km/h).

La codificación de la señal se hace utilizando un decodificador (CODEC) vocal, el cual permite una transmisión de la voz a 13 Kbps, aunque su valor sea de 22.8 Kbps porque necesita redundancia para detección de errores y se utiliza una técnica de modulación digital denominada GMSK.

Cuando se realiza una llamada se tiene un canal de tráfico para la voz y un canal de datos. El primero se definió como canal de velocidad completa porque hace uso de un codificador vocal que proporciona una señal digital de 1.3 Kb/s y después de la codificación de canal la velocidad binaria bruta es de 22.8Kb/s. El segundo canal se sustenta sobre el canal de tráfico a velocidades de 2, 4.4, 8 y 9.6 Kb/s, con diferentes procedimientos de adaptación de la velocidad, codificación de canal y entrelazado. También se admiten servicios de datos no transparente con una velocidad binaria de 12 Kb/s.

Entre los canales de control existentes se han dispuesto tres categorías, que son:

-Difusión: mediante el cual se transmite información desde la estación base a los móviles para ser usada por todos los usuarios.

-Común: puede ser usado por todos los móviles, pero la información que se transmite en un momento determinado se refiere solo a uno de ellos.

-Dedicado: para su uso es preciso hacer una asignación de canal de tráfico y se asocian el establecimiento de la comunicación y la señalización intercambiada durante el curso de la comunicación.

En la figura 1.20 se muestra la distribución de canales en TDMA.

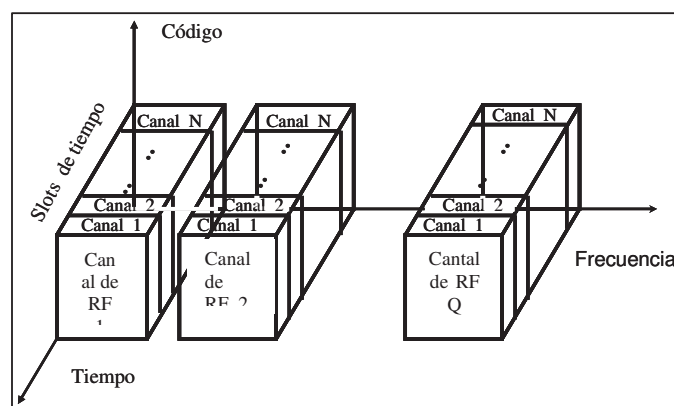


Figura 1.20 Distribución de canales en TDMA.

1.4.2.3 Acceso múltiple por división de código

La tecnología CDMA es muy diferente a la tecnología TDMA. La CDMA, después de digitalizar la información, la transmite a través de todo el ancho de banda disponible. Varias llamadas son puestas en el canal y cada una tiene un código de secuencia único. Usando la tecnología CDMA es posible comprimir entre 8 y 10 llamadas digitales, para que estas ocupen el mismo espacio que ocuparía una llamada en el sistema analógico. CDMA se superpone a la información digital de cada usuario con un código propio, con una secuencia directa (DS), por salto de frecuencias (FH) o por técnicas híbridas.

CDMA emplea una serie de códigos especiales para proporcionar múltiples canales de comunicación dentro de un solo segmento del espectro electromagnéticos. Los actuales sistemas de telefonía celular dividen el ancho de banda disponible en canales que se distribuyen entre las diferentes celdas que componen el sistema. La división de los distintos canales de comunicación se realiza empleando diferentes códigos dentro de una misma porción de espectro y con un ancho de banda mucho mayor que el de un sistema convencional. Esto se consigue mediante una técnica denominada espectro ensanchado, la cual fue empleada por primera vez en el año 1949 y cuya aplicación ha venido siendo fundamental en la milicia.

En CDMA, las señales pueden ser recibidas en presencia de niveles muy altos de interferencia, aunque el límite práctico depende de las condiciones del canal y la recepción puede tener lugar en presencia de señales interferentes de 18 dB por encima del nivel de la señal deseada. Debido a esta característica, los canales disponibles se pueden reutilizar en todos los sectores de todas las celdas. La mitad de la interferencia vendrá de la propia celda y la otra mitad vendrá de las celdas adyacentes; encontrándose todas ellas operando en la misma frecuencia.

CDMA utiliza una velocidad básica de 9600 bits/s en cada canal de comunicación. Esta velocidad es incrementada hasta los 1228800 bits/s que se emplean para transmitir la señal por el canal de radio. Los 9600 bits/s empleados por el sistema se incluyen tanto en la transmisión de la voz codificada como la señalización y la codificación para corrección de errores.

CDMA utiliza una serie de técnicas de diversidad que se clasifican en:

-Diversidad espacial: consiste en emplear más de una antena en la estación base. Junto con ésta se emplea lo que se conoce como traspaso sin ruptura de una llamada, la cual consiste en que antes del traspaso de la llamada de una celda a otra, ambas mantendrán el enlace con el móvil de manera simultánea.

-Diversidad en frecuencia: en un entorno con multi-trayectorias aparecen desvanecimientos de la señal, que en el dominio de la frecuencia surge como filtros de ranura. El ancho de banda de la frecuencia puede variar, siendo suficiente para afectar a 10 canales analógicos pero sólo se elimina el 25% de CDMA.

-Diversidad en el tiempo: se presenta de dos formas: la primera se utiliza en un receptor que está formado por varias ramas que incluye un retardo variable, el cual al variar se consigue que las señales con diversidad en el tiempo se combinen de manera óptima. La segunda forma es usando código de corrección de errores seguido de entrelazado. La pérdida de bits tiende a estar agrupada en el tiempo, mientras que los algoritmos de corrección de errores funcionan mejor con los bits distribuidos. El entrelazado ayuda a la aleatorización de estos bits.

En CDMA, un aumento de la potencia transmitida por el móvil afecta a todas las demás comunicaciones porque se incrementa la interferencia experimentada por las señales de todos los demás usuarios. CDMA intenta que todas las señales lleguen con la misma potencia usando dos formas de control: Bucle abierto y cerrado. La primera se emplea para cuando la señal recibida por el móvil es alta, por lo que hay que reducirla y si es baja hay que aumentarla. La segunda de las formas consiste en una realimentación activa desde la estación base, para que le indique al móvil que aumente o disminuya el valor de la frecuencia.

En las figura 1.21 se muestra da distribución de los canales en la tecnología CDMA, en la figura 1.22 se ve un comparativo de el uso de las frecuencias tanto en FDMA como en CDMA y el la figura 1.23 se muestra de forma grafica el tiempo es utilizado en FDMA y CDMA.

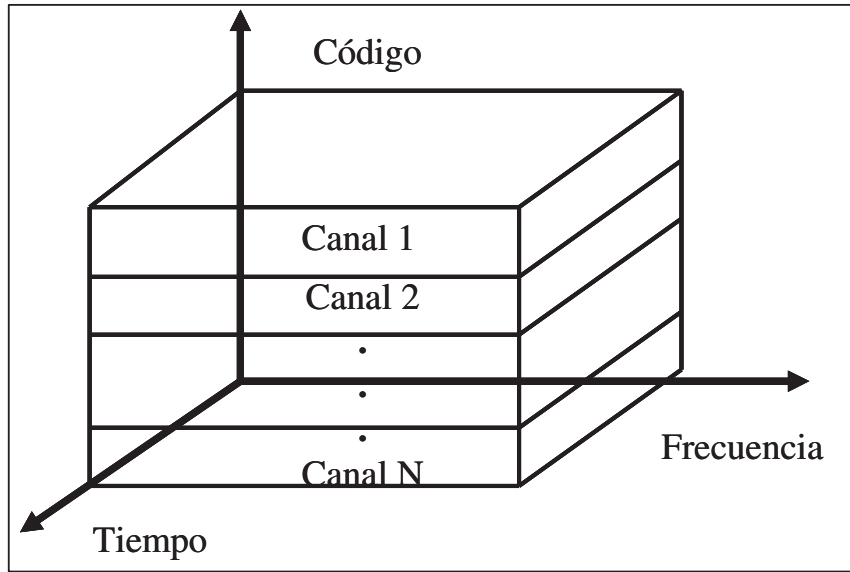


Figura 1.21 Distribución de canales en CDMA.

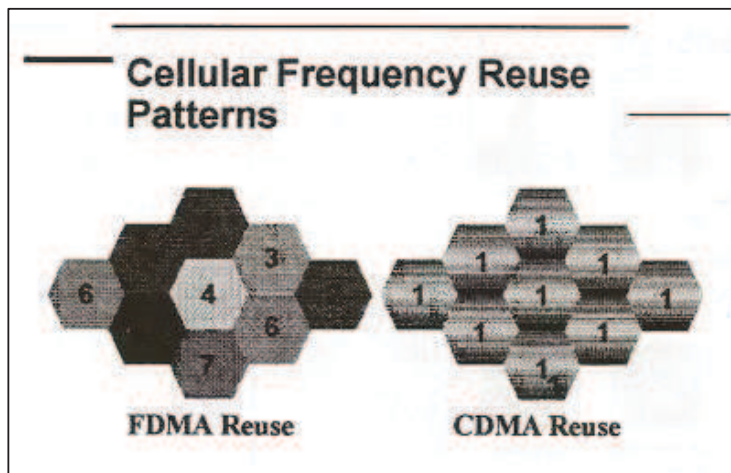


Figura 1.22 Uso de Frecuencia de FDMA y CDMA.

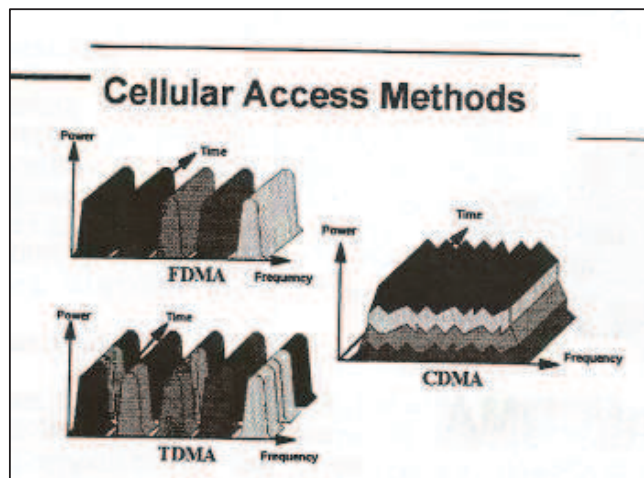
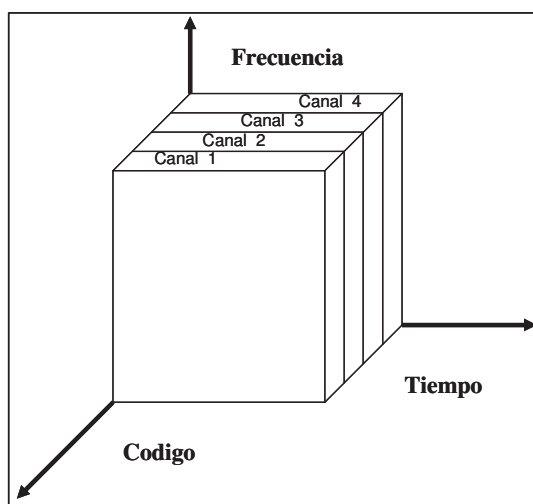


Figura 1.23 Graficas representativas de FDMA, TDMA y CDMA.

1.4.2.4 Acceso múltiple por división de código en banda ancha

Este tipo de acceso aprovecha el ancho de banda de forma mas efectiva en ambientes multiusuarios. Por esta razón, el sistema Acceso múltiple por división de código banda ancha (W-CDMA por sus siglas en ingles) se convierte en una elección ideal para zonas metropolitanas con gran densidad de usuarios. En la figura 1.24 se muestra como es W-CDMA.



1.24 Esquema de Acceso múltiple por división de código de banda ancha.

Un código W-CDMA es utilizado para modular la señal a transmitir. Dicho código consiste en una serie de impulsos binarios o chips, conocidos como una secuencia número de piloto (PN por sus siglas en ingles), que es una secuencia binaria con un periodo determinado. El código se ejecuta a una tasa más alta que la señal a transmitir y determina el ancho de banda real de la transmisión.

Una señal de espectro ensanchado en secuencia directa se obtiene modulando la señal a transmitir con una señal PN de banda ancha. Un código PN es una secuencia binaria representada con valores -1 y +1 que posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los códigos y la dificultad de bloquear o detección de una señal de información por un usuario no deseado. Con lo anterior queremos decir se utiliza el mismo canal para cada evento, pero se diferencia por su código que se la asigna a cada celda.

1.5 Tipos de Polarización

La polarización se describe como el lugar trazado por el vector del campo eléctrico E, en un plano estacionario perpendicular a la dirección de propagación, cuando la onda emitida por una antena atraviesa ese plano. Dicho vector en ese plano puede descomponerse en dos componentes ortogonales cuya amplitud puede ser variable en el tiempo y en el espacio; tal como aparece en la figura 1.25.

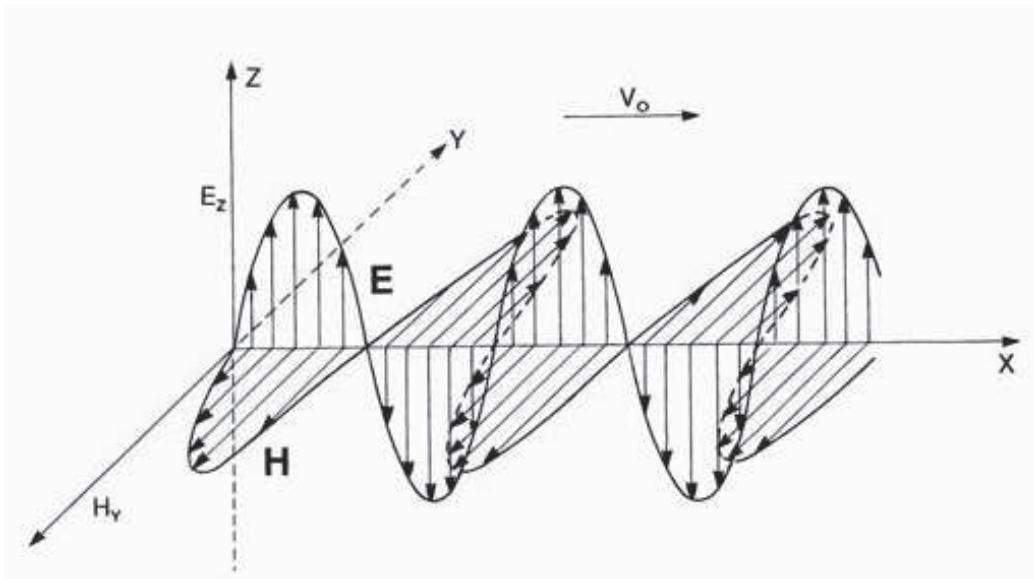


Figura 1.25 Componentes de una onda emitida por una antena.

Si imaginamos que las dos componentes de \mathbf{E} tienen amplitudes variables y se suponen girando en el plano transversal a la dirección de propagación, el lugar geométrico trazado por el extremo del vector resultante será, en general, una elipse. De esta manera se genera la *polarización llamada elíptica*, la cual representa el caso más general de polarización. La polarización llamada lineal, ya sea vertical, horizontal o inclinada, son casos particulares. La *polarización llamada circular* ocurre cuando las componentes del vector tienen la misma amplitud, pero están desfasadas 90° .

1.7.1 Polarización circular

Cuando el vector de campo eléctrico describe una trayectoria circular y si rota en el sentido de las agujas del reloj, la polarización se llama a la derecha. Si lo hace en sentido anti horario, la polarización se llama a la izquierda. Tal como aparece en la figura 1.26.

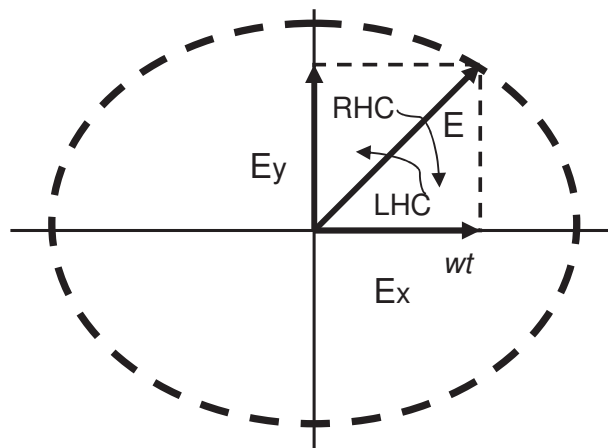


Figura 1.26 Polarización circular.

En donde se puede observar lo siguiente:

- Las fases φ diferente de 90° y las magnitudes de los fasores E_y , E_x son iguales, es decir:

$$\varphi = \varphi_x \pm \pi/2 \quad \text{o} \quad \varphi = \varphi_x \pm 90^\circ \quad \text{y} \quad |E_y| = |E_x|$$

- La punta de la flecha del vector resultante (\mathbf{E}); describe una circunferencia al variar el tiempo t , de aquí el nombre de polarización circular
- RHC representa el acrónimo de Right Hand Circular, es decir, cuando el giro o movimiento circular del vector \mathbf{E} se realiza hacia la derecha.
- LHC representa el acrónimo de Left Hand circular, es decir, cuando el giro o movimiento circular del vector \mathbf{E} es realizado hacia la mano izquierda.
- ω representa el símbolo de la frecuencia angular del giro en unidades de radianes/segundo.

1.7.2 Polarización elíptica

La polarización elíptica se produce cuando el campo eléctrico va girando en el plano de propagación a manera de saca corcho o remolino, por lo que describe una trayectoria elíptica y se aprovecha en una transmisión satelital. Dicha polarización es producida por antena helicoidal para tener el mismo sentido de giro. El vector de campo eléctrico describe una trayectoria elíptica. Tal como aparece en la figura 1.27.

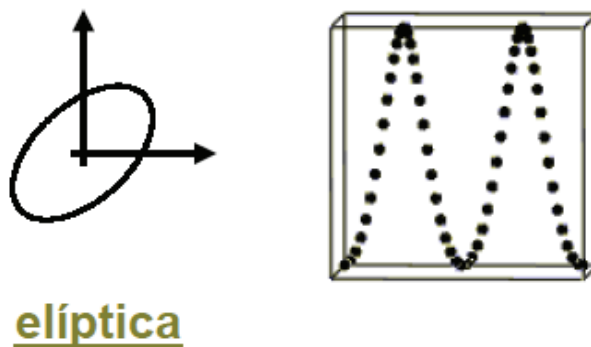


Figura 1.27 Polarización elíptica.

1.7.3 Polarización lineal

La polarización lineal ocasiona variaciones del vector de campo eléctrico contenidas en una única dirección, por lo que se emplean generalmente en las comunicaciones móviles, por ejemplo en la telefonía celular. Tal como aparece en las figuras 1.28 y 1.29.

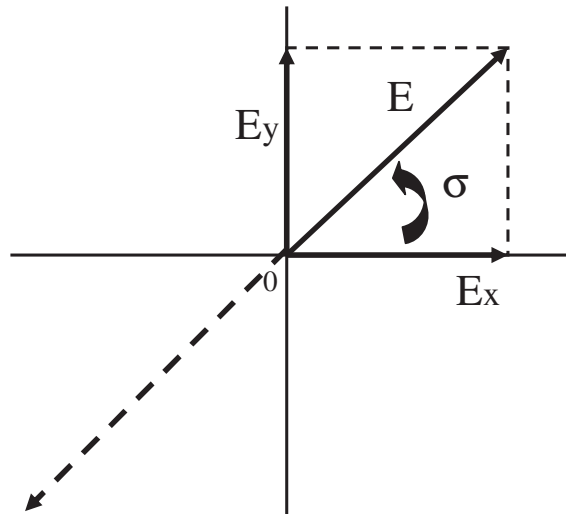


Figura 1.28. Polarización lineal en fase.

En donde se puede observar lo siguiente:

- Las fases φ diferentes de 90° y las magnitudes de los fasores E_y , E_x son iguales, es decir:

$$\varphi = \varphi_x \pm \pi/2 \quad \text{o} \quad \varphi = \varphi_x \pm 90^\circ \quad \text{y} \quad |E_y| = |E_x|$$

- Representamos en la figura que dibuja el extremo del vector campo a lo largo del tiempo, obtenemos una recta inclinada con un ángulo $\delta = \arctg(E_{yo}/E_{xo})$. Este tipo de polarización se le llama lineal

$$\varphi = \pi/2, \quad E_{xo} = E_{yo}.$$

- Donde $\varphi_x = \varphi_y \pm \pi$ (radianes)

$$\varphi_x = \varphi_y \quad \text{ó} \quad \varphi_x = \varphi_y \pm 180^\circ \quad \text{Están en fase ó difieren } 180^\circ$$

La punta de flecha del vector resultante \vec{E} traza una línea recta al variar el tiempo.

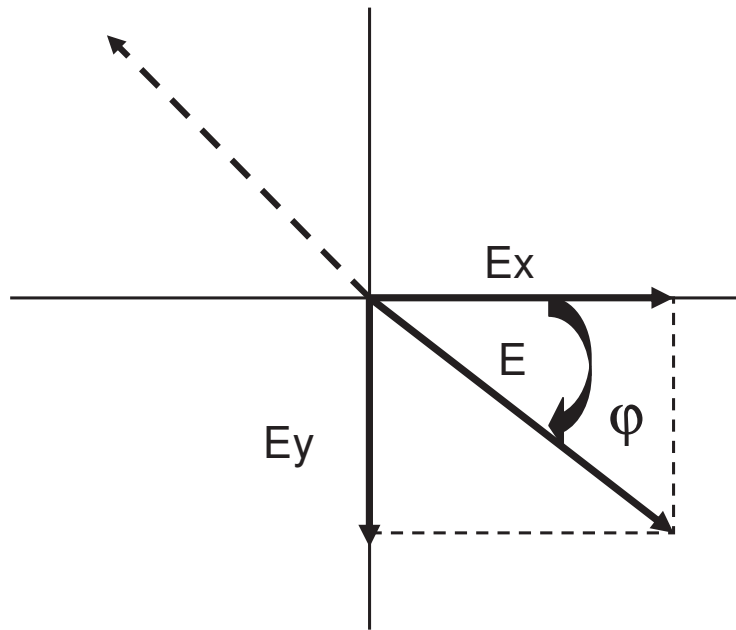


Figura 1.29 Polarización Lineal en fase negativa.

$$\varphi = -\operatorname{tang} \left[\frac{|E_{y0}|}{|E_{x0}|} \right] \quad \varphi = \text{inclinación de la recta}$$

Ejemplo supongamos;

E_{x0} es un número real positivo.

$$E_{x0} = |E_{x0}|; \quad \varphi_x = 0$$

$$E_{y0} = |E_{y0}| \hat{e}^{\varphi_y}$$

Pero

$$|E_{y0}| = |E_{x0}| = E_0$$

Y

$$\varphi_y = \varphi_x \pm \pi/2; \quad \varphi_y = \pi/2$$

Como va ser la polarización

$$E_x(z,t) = E_{x0} \cos [\omega t - \beta z] \quad \text{particularizando.}$$

$$E_y(\omega,t) = E_{x0} \cos [\omega t - \beta z + \pi/2]$$

Vamos a ver cuál es el sentido de giro en el plano $Z = 0$.

$$E_x(0,t) = E_{x0} \cos (\omega t)$$

Y

$$E_y(0,t) = E_{x0} \cos (\omega t + \pi/2)$$

Relación de polarización.

$$\vec{E} = \hat{x} E_x + \hat{y} E_y = \hat{\ell} E_{\ell} + \hat{r} E_r \quad \text{en términos de componentes lineales.}$$

$$\varphi_{\ell} = E_y / E_x = E_{y0} / E_{x0} \quad \text{relación de polarización lineal.}$$

$$\varphi_c = E_r / E_{\ell} \quad \text{relación de polarización circular.}$$

Transformación entre bases utilizando.

$$\hat{\ell} = \frac{\hat{x}}{\sqrt{2}} + j \frac{\hat{y}}{\sqrt{2}} \quad \text{y} \quad \hat{r} = \frac{\hat{x}}{\sqrt{2}} - j \frac{\hat{y}}{\sqrt{2}}$$

$$\hat{x} E_x + \hat{y} E_y = (\hat{x} / \sqrt{2} + j \hat{y} / \sqrt{2}) E_{\ell} + (\hat{x} / \sqrt{2} - j \hat{y} / \sqrt{2}) E_r$$

$$\hat{x} E_x + \hat{y} E_y = \frac{\hat{x}}{\sqrt{2}} (E_{\ell} + E_r) + j \frac{\hat{y}}{\sqrt{2}} (E_{\ell} - E_r)$$

Lo cual indica que

$$E_x = (E_{\ell} + E_r) / \sqrt{2} \quad \text{Base Circular}$$

Y

$$E_y = j (E_{\ell} - E_r) / \sqrt{2} \quad \text{Base Lineal}$$

Con las componentes circulares obtenemos las componentes lineales.

1.7.4 Polarización cruzada

La polarización cruzada tiene lugar cuando el transmisor o receptor de una comunicación tiene una polarización diferente al receptor o transmisor. La polarización cruzada implica una pérdida de señal que puede alcanzar 20 decibeles. Esto se puede aprovechar para que dos señales a la misma frecuencia compartan un mismo espacio geográfico, diferenciándose en la polarización.

Una antena con polarización cruzada consiste en dos sistemas de antenas separadas, orientadas 90° una de la otra. Esto significa que hay dos sistemas de antenas separados ubicados juntos que sustituyen a antenas físicamente separadas.

Una antena con polarización cruzada idealmente combina la necesidad de polarización vertical de redes de radio móvil con la propagación mejorada permitida mediante una onda polarizada horizontalmente.

No importa que polarización usted escoja, todas las antenas deben tener la misma polarización si pertenecen a la misma red de RF. La polarización cruzada tiene lugar cuando un extremo del enlace tiene polarización diferente del otro extremo.

1.7.5 Polarización vertical

La polarización vertical se presenta cuando el campo eléctrico permanece en una dirección vertical y durante toda la trayectoria de la onda. Para la antena de un dipolo el movimiento de los electrones dentro del alambre, responde al campo eléctrico y por lo tanto define a la polarización. Tal como aparece en la figura 1.30.

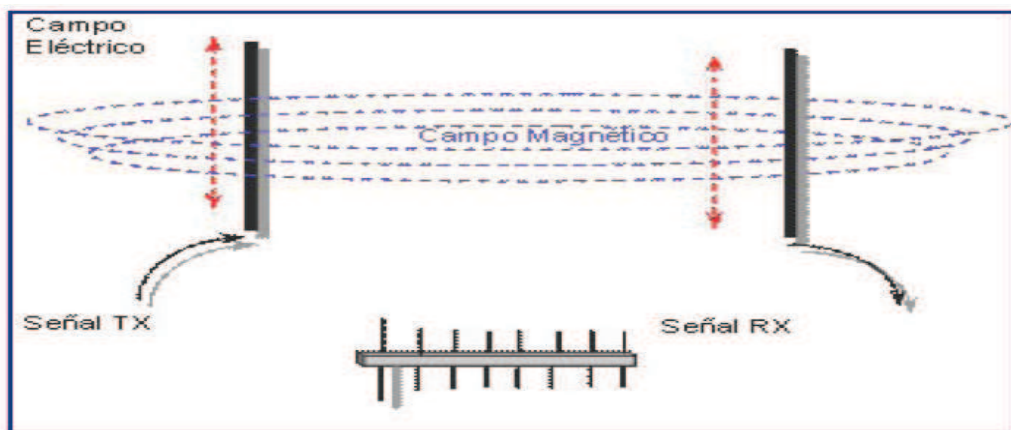


Figura 1.30 Polarización vertical.

CAPITULO 2.GENERALIDADES DE TELEFONIA CELULAR

2.1. Historia de la telefonía celular

El teléfono fue inventado por Alexander Graham Bell en 1876, y la comunicación inalámbrica tiene sus raíces en la invención del radio por Nikolai Tesla en la década de 1880 (formalmente presentado en 1894 por un joven italiano llamado Guglielmo Marconi). Era de esperarse que un día ambas tecnologías fueran combinadas para dar paso a la telefonía celular.

En la época predecesora a los teléfonos celulares, la gente que realmente necesitaba comunicación móvil, tenía que instalar radio-telefonos en sus autos. En el sistema radio-telefónico, existía sólo una antena central por cada ciudad, y probablemente 25 canales disponibles en la torre. Esta antena central significaba que el teléfono en el vehículo requeriría una antena poderosa, lo suficientemente poderosa para transmitir a 50 ó 60 Km. de distancia. Esto significaba que no muchas personas podrían usar radio-telefonos, simplemente por su alto costo y por no existir suficientes canales para conectar a más de 25 usuarios.

En los antecedentes del radio-telefono se encuentran las primeras instalaciones de radio bidireccional en los vehículos, en la década de los años treinta del siglo XX. Luego en la introducción del servicio telefónico móvil avanzado (AMPS) en los Estados Unidos de América durante los años setentas, le correspondió a Martín Cooper y a la empresa Motorola pasar a la historia como los creadores del primer equipo celular móvil.

La idea de comunicaciones móviles como tal empleando una red celular nació en el año de 1946, en el departamento de investigación (laboratorio Bell) de la empresa AT&T, que era el único operador norteamericano para ese entonces. La idea era poco factible de llevar a cabo por las dificultades que presentaban las autoridades en la concesión de espectro de radio. Ahora bien, el 17 de junio de 1946 en San Luís, Missouri, la empresa AT&T introdujo el primer servicio telefónico móvil en los Estados Unidos, este sistema inicial operaba con 6 canales en la banda de 150 MHz., con un espacio entre canales de 60 Khz, y una antena muy potente. El primer sistema se empleó para conectar a usuarios, con equipos instalados en los vehículos, a la red telefónica pública, permitiendo de esta manera llamadas entre estaciones fijas y usuarios móviles. El servicio rápidamente tuvo gran aceptación, y un año después, el telefónico móvil se ofreció en más de 25 ciudades de los Estado Unidos. Existían unos 44,000 usuarios en total, aunque por desgracia había 22,000 más en una lista de espera de un tiempo de cinco años.

Los sistemas telefónicos celulares iniciales se basaron en una transmisión con modulación en frecuencia (FM) y empleando un solo transmisor para proveer cobertura a más de 80 Km., desde la base. Los canales telefónicos móviles evolucionaron para transmitir la voz con un ancho de banda de 3 KHz.

En el año de 1949, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) dispuso más canales de transmisión, y a la mitad de los mismos se los asignó a la compañía llamada Sistemas Bell y la otra parte a compañías independientes como la llamada RCC, con la intención de crear la competencia y evitar los monopolios.

A mediados de los 50'S, Ericsson, una de las tres empresas más importantes del rubro, puso en marcha lo que se denominó el primer sistema automático de telefonía móvil que consistía en una estación base con 2 canales, cinco estaciones móviles, cuyos pesos eran de 40 Kg. y eran del tamaño de un armario; su costo era mayor al del vehículo en el que estaba montado. Estas redes cubrían apenas radios de 25 a 30 Km.

A fines de la década de los años 50'S se creó el primer equipo telefónico para usarse en automóviles, fue de menor tamaño y fabricado por la empresa sueca Sistemas Ericsson. En el año de 1956, la empresa Sistemas Bell comenzó a dar servicio en los 450 MHz, una nueva banda asignada para aumentar la capacidad existente. En 1958, la empresa americana llamada Richmond Radiotelephone mejoró el sistema de marcación logrando la conexión más rápida, conectando las llamadas de móvil a móvil.

A partir de 1960, sistemas Bell y la empresa Motorola comenzaron a estudiar el concepto de un teléfono móvil. La carrera fue vencida por Motorola el 3 de Abril de 1973, gracias a los esfuerzos de Cooper que pretendía que las personas fuesen capaces de transportar y utilizar su teléfono en todos los sitios. En enero del año de 1969, sistemas Bell aplicó por primera vez el rehúso de frecuencias en un servicio comercial para teléfonos públicos, en la línea del tren que une a la ciudad Nueva York con Washington. Para desarrollar dicho sistema se emplearon 6 canales en la banda de 450 MHz, para nueve zonas de la ruta de 380 Km.

A principios de la década de los años 70'S se creó el microprocesador y se usó un enlace de control digital entre el teléfono móvil y la estación base. Pero fue en marzo de 1977 cuando la FCC aprobó que Sistemas Bell, colocara en prueba a un sistema celular en la ciudad de Chicago.

El sistema celular como tal se inicia con la instalación del primer prototipo entre Baltimore y Washington, a partir del año de 1978, por la empresa americana Radio & Telephone y bajo la observancia de la Comisión FCC, quien desde ese momento comenzó a planificar el servicio de telefonía celular para todo Estados Unidos.

En el año de 1978, en los Estados Unidos comenzó a operar el servicio telefónico móvil avanzado. En ese año, 10 estaciones base para cubrían a 355 Km cuadrados en la ciudad de Chicago, operando en las nuevas frecuencias de la banda de 800 MHz. Esta red empleó circuitos integrados, una computadora dedicada y un sistema de conmutación, lo que comprobó que los sistemas celulares si podían funcionar.

El desarrollo del sistema AMPS fue muy rápido, al entrar en operación en diferentes países; Arabia Saudita en mayo de 1978, Tokio en diciembre de 1979 y en México el

año de 1986. Para ese entonces, la FCC exigió un proveedor de servicio celular que tenía que coexistir con el Sistema Bell en el mismo mercado con las bandas A y B, por lo que la empresa americana llamada Ameritech entró a trabajar en Chicago el 12 de octubre de 1983.

En el año de 1989 surge el sistema GSM, conocido inicialmente como grupo especial móvil y luego adoptó el nombre de sistema global para comunicaciones móviles. Este nuevo sistema unifica a los sistemas europeos con los americanos.

En el año de 1990, el sistema celular de los Estados Unidos convierte el tráfico de la voz en digital. Como consecuencia de ello se triplicó la capacidad de las conversaciones y en 1991 el servicio celular digital redujo el costo de las comunicaciones, además mejoró la capacidad de manejar las llamadas de los sistemas analógicos.

Para el año de 1994, la empresa llamada Qualcomm propuso usar la tecnología de modulación por división de código (CDMA), el cual sería en todos sus elementos digital con la finalidad de incrementar la capacidad en el tráfico de llamadas, además de que ofrecía de 10 a 20 veces mayor capacidad en el tráfico de llamadas. En estos días, más de la mitad de los teléfonos en el mundo operaban de acuerdo a los estándares de AMPS.

Para el 14 de enero del año de 1997, la FCC abrió la banda de frecuencias inalámbricas de 1900 MHz, que ha incrementado el desarrollo de la tecnología CDMA.

En México siendo el año de 1984, la empresa Telcel obtiene la concesión para explotar la red móvil de servicios radiotelefónico, en el área metropolitana, bajo la denominación de Radiomovil Dipsa S.A. de C.V.; operando en las bandas radiofónicas de 450-470 y 470-512 MHz. La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) convocó la introducción de la telefonía celular en nuestro país en las nueve diferentes regiones en que fue dividido. Aquí nace la empresa Iusacell, convirtiéndose en la primera de telefonía celular en ofrecer el servicio en la Ciudad de México. En ese mismo año Telcel ofrece este mismo servicio en la ciudad de Tijuana B.C. A partir de 1990, Iusacell y Telcel expanden los servicios de telefonía celular en el Distrito Federal y Zona metropolitana; paulatinamente ofrecen el servicio a escala nacional.

El 2 de mayo de 1989 se presentó el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, donde se menciona la importancia de las telecomunicaciones y los siguientes puntos:

- Múltiples empresas podrán desarrollar los servicios de transmisión conmutada de: datos, telexinformática, telefonía celular y otros.

- Las concesiones de telefonía celular se sujetarán a concurso de manera abierta, y así se garantizará la mejor oferta de servicios y contraprestación económica al Estado.

2.2. Generaciones de la telefonía celular

La historia y apertura de las telecomunicaciones móviles se han desarrollado al pasar del tiempo y su evolución se sintetiza en tres etapas muy bien definidas. Cada una de estas etapas suele llamarse generación y así se tienen equipos móviles celulares de primera, segunda y tercera generación. También se puede hablar de lo que se puede esperar de la cuarta generación.

2.2.1.- Primera generación (teléfonos celulares 1G)

El 3 de abril del año 1973, Martín Cooper, gerente general para la división de Sistemas Motorola, realiza la primera llamada desde un teléfono celular en el edificio Manhattan Hilton de la ciudad de Nueva York, empleando el prototipo llamado DynaTAC 8000X que fue creado por él. Para realizar la prueba llamó a Joel Engel, quien trabajaba en el proyecto bajo la dirección de Sistemas Bell. Con 15 años de investigación y una inversión de 150 millones de dólares, comenzó en 1973 una de las revoluciones más importantes de la comunicación personal: el teléfono móvil.

La FCC, en el año de 1970, concedió las frecuencias para emplear los sistemas móviles de radio en tierra y Sistemas Motorola comenzó a desarrollar una serie de productos telefónicos que incluyen algunos prototipos, entre ellos el llamado Dyna Tac 8000X diseñado por Cooper.

En 1973, Motorola intentaba convencer a la FCC para usar, desarrollar, e implementar a las nuevas tecnologías y el otorgamiento de la licencia para su uso. En un comienzo solamente estaban previstas las aplicaciones enfocadas para el ámbito de teléfonos en automóviles, como consecuencia del peso de los primeros sistemas celulares.

La introducción del primer servicio comercial de teléfonos móviles, sucedió en Japón el año 1979, y en 1982 la FCC aprobó en los Estados Unidos el lanzamiento, por parte de la empresa Ameritech, del primer sistema móvil comercial.

La generación 1G de telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy baja, tenía una disminución de velocidad (2400 bauds) y en cuanto a la transferencia entre celdas era muy imprecisa, ya que contaba con una poca capacidad por usar la tecnología con modulación por división de frecuencia (FDMA). Además, la seguridad no existía y la tecnología predominante era el sistema avanzado para teléfonos móviles.

La primera Generación de teléfonos celulares comienza en el año de 1983, cuando el teléfono llamado DynaTAC de Motorola obtiene la licencia para ser comercializado y

poder salir al mercado. Es en este mismo año cuando se monta el primer sistema celular del mundo, que unió a las ciudades de Washington y Baltimore.

El funcionamiento de la primera generación es sumamente sencilla de entender y se puede resumir de la manera siguiente: el teléfono envía una señal a las antenas receptoras, que están instaladas en la zona donde se encuentra el usuario del teléfono. Cada una de las antenas cubre alrededor de 15 cuadras a la redonda, el número marcado es enviado a una radio base, la cual se encarga de elegir el mejor canal para concretar la llamada realizada. Ahora bien, a medida que el usuario se desplaza físicamente, la radio base envía la señal de una antena a otra antena para establecer la continuidad en la comunicación.

Los primeros sistemas de telefonía móvil terrestre o de primera generación fueron análogos, las terminales bastante voluminosas, la cobertura se limitaba a las grandes ciudades y a las principales carreteras, por lo que solamente transmitían voz. Cada una de las estaciones base tiene un rango de frecuencias que delimitan el número máximo de llamadas simultáneas, por lo que a cada una de las llamada que se generan se le asigna un par de frecuencias diferentes, una para recibir y otra para transmitir, por lo que a esta acción de comunicación se denomina acción múltiple y la modulación es FDM. En esta generación las celdas colindantes no podían emplear las mismas frecuencias, con lo que se evitó las interferencias, pero las que se encontraban más alejadas si podrían reutilizar mismas frecuencias.

El objetivo fundamental de los teléfonos celulares de la primera generación es la de conseguir un prototipo móvil desde cualquier lugar, es así como nace el teléfono DynaTAC 8000X de Motorola, que al comercializarse tomó el popular nombre de ladrillo por su forma: Tiene un peso de 780 gramos y un tamaño de 33 x 9 x 4,5 centímetros. Dicho teléfono aparece en la figura 2.1.



Figura 2.1 Teléfono de la primera generación.

La tecnología predominante de esta generación es los denominados teléfonos móviles (AMPS), la interfaz de radio utilizada es analógica y, por la gran cantidad de

sistemas incompatibles entre sí, no existe el cambio de una radio base a otra (roaming). Se utilizaban, según el sistema, tres bandas de frecuencia: 450, 800 y 900 MHz, al ser totalmente analógico la única modulación era por FDM, y se usaba señalización fuera de banda.

En el año 1982, en España comienza el sistema nórdico de teléfono móvil (MT) que se bautizó como TACS, que también es conocido como TMA-450 por trabajar en la banda de los 450 MHz. Cuando se satura el sistema, comienza a usar la banda de los 900 MHz y aparece el denominado E-TACS o TMA-900; más conocido como línea móvil (ML). Las bandas de frecuencias utilizadas son las que aparecen en la tabla 2.1.

Sistema	Descendente	Ascendente
TACS	935-950 MHz	890-905 MHz
E-TACS	917-950 MHz	872-905 MHz

Tabla 2.1 Bandas de frecuencia de los sistemas TACS y E-TACS.

En este sistema cada 1 MHz se divide en 40 canales de 25 KHz. Se separan las frecuencias de transmisión y recepción a 45 MHz, es decir para el enlace entre el móvil y la radio base, ascendente (up-link), se utiliza una frecuencia y para el enlace entre la radio base y el móvil, descendente (down-link), se utiliza otra separada 45MHz de la primera.

En esta etapa, los fabricantes de celulares centran su esfuerzo en la transmisión de voz y en desarrollar teléfonos de menor tamaño y peso, así surge el llamado Star Tac de Motorola, en el año de 1996, con solo 100 gramos de peso. A partir de este momento los empresarios inician la carrera, buscando siempre los teléfonos cada vez más pequeños y manteniendo los servicios básicos; pero ampliando las bondades que podían ofrecer en el teléfono, como fue el caso de la agenda con memoria alfa numérica.

Todas las características anteriores se resumen a continuación:

- 1.- Tecnología analógica.
- 2.- Tenían como finalidad primordial, la transmisión de voz.
- 3.- La calidad de los enlaces era muy baja.
- 4.- La transmisión era de baja velocidad (2400 bauds).
- 5.- La transferencia entre las celdas fue muy imprecisa puesto que contaban con una baja capacidad, basadas en la modulación FDMA.
- 6.- La seguridad de la transmisión no existía y el hurto de llamadas o clonación de los números se hizo frecuente.

2.2.2.- Segunda generación (teléfonos celulares 2G)

La 2G nació en 1990 y a diferencia de 1G se caracterizó por ser digital, utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM, IS-136 (TIA/EIA136 o ANSI-136), CDMA y PDC; éste último utilizado en Japón. El tamaño de las terminales tienden a ser más pequeños, se extienden las coberturas, y se comienza a transmitir datos, aunque a velocidades muy pequeñas. Se introduce el envío de mensajes SMS, la compatibilidad en las distintas redes nacionales comienzan a mejorar, GSM se implanta en Europa, TDMA y CDMA en Estados Unidos.

Los protocolos empleados soportan velocidades de información más altas para voz, pero limitados en comunicación de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares como datos, fax y mensajes. La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En Estados Unidos y otros países se conoce a 2G como PCS.

A fines del siglo XX, los fabricantes comenzaron a ignorar el tamaño y peso de los teléfonos móviles celulares y le agregaron diferentes servicios. Posibilitando desde la instalación de la red de Sistema de Comunicación personal, PCS en una frecuencia de 1900Mhz en lugar de los 800Mhz de la analógica, lo que se percibe como la transición necesaria para llegar hasta el gran objetivo que no es otro que los teléfonos móviles celulares de tercera generación, capaces de acceder a Internet inalámbrico y navegar libremente por la Web, además de otras funciones. En esta segunda etapa de la evolución de los teléfonos se entra a la digitalización de los mismos y corresponde a los sistemas que en la actualidad se están empleando.

Los medios de segunda generación son sistemas digitales con técnicas más avanzadas en lo que respecta al empleo del espectro radioeléctrico y con capacidad de cambiar radio base (roaming) mejorada. Se basan en un ancho de banda de 9,6 kbit/s para datos de fax, lo que permite un incremento en la capacidad de la red, en la reducción de las tarifas y el ofrecimiento de los primeros servicios de valor agregado, como son los mensajes de texto cortos.

Los sistemas de segunda generación emplean protocolos de codificación más sofisticados y son los que usan en los métodos de telefonía móvil celular en la actualidad. En esta etapa los codificadores de voz (vocoders) en las redes celulares digitalizan voz en un rango de 8 a 13 Kbps, y esa es aproximadamente la capacidad disponible para datos, cubriendo las exigencias del sistema en el momento de su aparición.

Las características fundamentales de los teléfonos móviles de segunda generación son:

1.- Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan más alta capacidad de transmisión de voz, es decir, aumenta el volumen de llamadas.

2.- Los protocolos empleados son muy limitados para la comunicación de datos.

3.- Se comienzan a ofrecer nuevos servicios auxiliares, como son datos, fax y mensajes cortos.

4.- La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen servicios de PCS. En la figura 2.2 se muestran teléfonos de la segunda generación



Figura 2.2 Teléfonos de la segunda generación.

2.2.3.- Generación intermedia (teléfonos celulares 2.5)

Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se moverán a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a la 3G. La tecnología 2.5G es más rápida, y más económica para actualizar a 3G. La generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, como los llamados: GPRS, HSCSD, EDGE y protocolos IS-136B. Los prestadores del servicio celular europeos y estadounidenses se movieron a 2.5G en el 2001, mientras que Japón fue directo de 2G a 3G.

Los sistemas de generación 2.5 son métodos puente entre la segunda y tercera generación de telefonía móvil UMTS, la cual responde a un intento de estandarizar las comunicaciones móviles a nivel mundial. Este medio ofrece grandes velocidades de conexión y permite la transmisión de todo tipo de comunicaciones: voz, datos, imágenes, video.

Algunos sistemas 2.5 introducen la conmutación de paquetes en la telefonía móvil, es decir el acceso a Internet. Para ello la información se divide en trozos o paquetes que siguen caminos diferentes hasta llegar a su destino.

El sistema GPRS alcanza hasta 115 Kbps, mientras que el sistema EDGE lo supera llegando a los 384 Kbps, ofrece a los operadores de los sistemas GSM y TDMA integrar

sus redes actuales al nuevo sistema. Los sistemas 2.5G, son las tecnologías para poder emigrar de segunda generación y los de tercera o UMTS.

La tecnología 2.5G es la más rápida, y más económica para actualizar el sistema a la llamada tercera generación, motivo por el cual muchas operadoras que ofertan los servicios de telefonía móvil actuaran en las redes 2.5 antes de entrar a la tecnología de 3G. La generación 2.5G, facilita la velocidad de acceso hasta de los 65 kbps, permitiendo movilidad por medio del protocolo de Internet (IP). Es de señalar que el tráfico IP no necesita circuitos dedicados que sean localizados para la duración de las transacciones de datos.

Como características fundamentales de los teléfonos celulares de generación intermedia se tienen que:

1.- Ofrecen características que permite utilizar algunas aplicaciones de Internet, como envío de mensajes, navegación y datos, entre otros.

2.- Permite transmitir mensajes cortos de texto.

Es de apuntar que los teléfonos celulares de primera generación, 1G, o teléfonos análogos, y los teléfonos de segunda generación, 2G, o teléfonos digitales, fueron concebidos para trabajar a nivel nacional o local, no a nivel mundial. Celulares de 2.5G figura 2.3-



Figura 2.3 Teléfonos de la generación 2.5.

2.2.4.- Tercera generación (teléfonos celulares 3G)

La 3G se caracteriza por contener la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz, como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos.

Los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una movilidad total a usuarios (roaming), viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y logrará una velocidad máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran: UMTS, CDMA2000, IMT2000, ARIB 3GPP y UWC136.

La tercera Generación de los teléfonos celulares constituye un enorme adelanto con respecto a los sistemas actuales, puesto que está pensada en un roaming global con una transmisión de datos de alta velocidad que soporta el IP, lo que posibilita el acceso a Internet desde cualquier lugar en que se encuentre el usuario. Además permite aplicaciones de multimedia móviles, con servicios personalizados, fundamentados en la localización del usuario del servicio. Esto permite un nuevo modelo de negocios a través de la red, con lo que entran a desempeñar un papel fundamental para nuevos proveedores de contenidos y los distribuidores de aplicaciones, para los celulares.

El impulso de los estándares de la 3G está siendo apoyado por la unión internacional de telecomunicaciones (ITU) y este esfuerzo se le conoce como IMT-2000. Ha recibido diversos lanzamientos de diferentes comunidades de desarrolladores como CDMA-2000, que esta tecnología es respaldada por las empresas llamadas Qualcomm y Lucent; también por WCDMA, con capacidades 8 veces mayor que las actuales CDMA y apoyada por las empresas Ericsson, Nokia y los fabricantes japoneses.

La primera red de tercera generación en el mundo comenzó a ser operativa en Japón a finales de 2001. Esta fue desarrollada por la empresa Japonesa NTT DoCoMo. Entre las ventajas que ofrece esta tecnología móvil e inalámbrica se encuentra la posibilidad de navegar por Internet a velocidades desconocidas hasta ahora, las cuales pueden alcanzar hasta 144 Kbps. Las actuales conexiones a través de los teléfonos celulares son de 14,4 Kbps, en tanto que el acceso disponible en la mayoría de las computadoras personales llega sólo a los 56 Kbps por medio de los módems de la telefonía fija.

La mayor ventaja para el usuario es que podrá transmitir datos desde cualquier parte, utilizando su teléfono celular u otro dispositivo móvil, que servirá como un módem para el acceso a Internet, bajar archivos de la red e inclusive videos.

Los Teléfonos celulares de tercera generación combinan los componentes claves de las computadoras de mano (handheld); con lo que se ofrece al usuario, en un solo equipo, las funciones de comunicación, computación y memoria.

Los teléfonos móviles de tercera generación ofrecen a los usuarios una serie de características como lo es, cámara fotográfica, pantalla a color, calculadora, juegos integrados con múltiples componentes; por lo que representan la porción más cara y sofisticada del segmento del mercado de teléfonos celulares, sin embargo, la funcionalidad de los mismos aumenta, mientras que los costos de producción disminuyen.

Las características fundamentales que presenta esta generación son:

- 1.- Datos con acceso inalámbrico a Internet; por que son idóneos para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos.
- 2.- Acceso a Internet, navegación WWW, comercio electrónico, video juegos, vídeo y audio en tiempo real, con un ancho de banda mas grande para enviar información que para recibir.
- 3.- Los protocolos empleados soportan altas velocidades de información.
- 4.- Acceso a diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- 5.- Calidad de voz.
- 6.- Mayor capacidad y uso eficiente del espectro.
- 7.- Personalización de los servicios.
- 8.- Están diseñados para aplicaciones más allá de la voz, como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, entre otros.
- 9.- Calidad de voz comparable a la que ofrece una red de telefonía pública.
- 10.- Velocidad de transmisión de datos de 144Kb/s para usuarios en vehículos en movimiento, viajando a una velocidad de 120 Km/h en ambiente exterior.
- 11.- Velocidad de transmisión de datos de 384kb/s para peatones, que se encuentren en un solo lugar o bien moviéndose sobre un área pequeña.
- 12.- Soporte para operaciones de 2.048 Mb/s en oficinas, es decir, en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores.
- 13.- Mayor eficiencia del espectro electromagnético disponible.
- 14.- Soporte para una gran variedad de equipos celulares.
- 15.- Introducción flexible a los nuevos servicios y tecnologías.

En fin, los móviles de tercera generación proporcionarán a los usuarios terminales multimedia, multimodo y multibanda, con cámara fotográfica incorporada, pantalla en color y memoria, lo cual será posible por la incorporación de una interfaz de aire flexible, lo cual permitirá el roaming entre países.

El sistema evoluciona para integrar cualquier servicio ofrecido por las distintas tecnologías y redes actuales, y se podrá emplear con cualquier tipo de terminal en cualquier lugar, ofreciendo mayor calidad de los servicios, tolerando la personalización del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real.

Lo ideal es que los sistemas de tercera generación proveen servicios en cualquier lugar a cualquier hora. Mientras que los servicios analógicos y los primeros servicios digitales fueron diseñados solo para resolver problemas de sistemas analógicos, como fue seguridad, bloqueo y la incompatibilidad regional; iniciándose así, una nueva visión a la migración de 3G y por tanto a nuevos servicios.

Todas estas posibilidades brindarán excelentes oportunidades de negocio, creando un nuevo modelo comercial, a la industria de tecnologías de la información y las comunicaciones. Estos tipos de teléfonos se muestran en la figura 2.4.



Figura 2.4 Teléfonos de tercera generación.

2.2.5 Cuarta Generación (4G)

La cuarta generación es un proyecto a largo plazo, que se espera sea 50 veces más rápida que la tercera generación y se cree que se empiecen a comercializar la mayoría de los servicios en el año 2013 en México.

La empresa japonesa NTT DoCoMo comenzó la investigación y el desarrollo sobre la tecnología celular por transmisión de paquetes de cuarta generación, también empezó a construir un sistema de red experimental. La red está siendo construida en el centro de investigación y desarrollo de la compañía, ubicada en el parque de investigación de Yokosuka, a la vecindad de Tokio, e incorporará tanto estaciones de base como terminales móviles experimentales; esperando que tales redes puedan transmitir datos de bajada de Internet a velocidades de hasta 100 Mbps y datos de subida de 20 Mbps.

Para transmitir datos a una velocidad tan alta, las redes de 4G requerirán más ancho de banda que los sistemas celulares actuales. Se espera que cada canal 4G ocupe alrededor de 100 MHz del espectro electromagnético, que es 20 veces el de la red 3G, y se utilizar lo que se conoce como la tecnología de W-CDMA.

Las altas velocidades presentarán nuevos problemas que deben de resolver los ingenieros, dado que son mucho más susceptible a interferencia por señales reflejadas en los edificios, montañas y por otros objetos cercanos al usuario. Para superar esto, los japoneses planean experimentar con distintas técnicas para codificar y transmitir las señales.

Se espera que las redes de cuarta generación combinen las redes actuales 3G con sistemas inalámbricos de redes locales. Un grupo de trabajadores de la ITU-R. Mantuvo conversaciones sobre sistemas 4G en Tokio y estableció la meta de velocidad de 100

Mbps para el año 2011. La cuarta generación de telefonía promete ofrecer servicios multimedia de alta calidad, entre los que destaca el vídeo de alta resolución, que permitirá la visualización de películas y TV en el móvil. Los móviles 4G podrán transmitir datos a 20 megabits/segundo, 2.000 veces la velocidad de descarga de los celulares actuales y 1000 por ciento más rápido que los móviles 3G.

La cuarta generación deberá superar por mucho a sus predecesoras y aunque no está muy claro como será esto posible, ya se tienen establecidos la mayoría de los requisitos que deberá esta cumplir, entre los cuales están:

- *Alta tasa de transmisión.* La tasa de transmisión de las futuras generaciones deberá alcanzar rangos de 2 a 60 Mbits/s, dependiendo del sistema.
- *Gran movilidad.* Esta característica es de las más difíciles de llevar a cabo, especialmente en las tasas de transmisión que se requieren. No obstante será la base para los sistemas de transporte inteligentes (ITS), que operarán en su primera etapa en la banda de frecuencia de los 5.8 GHz.
- *Gran cobertura y simplicidad entre sistemas.* Al tener altas tasas de transmisión el tamaño de las células disminuye, por lo que para poder afrontar este problema se plantea el uso de sistemas de HAPS, colocadas en aeronaves a 20 Km. del suelo para que retransmitan la señal. Además, se contará con una gran variedad de sistemas, como son redes inalámbricas locales para convivir con las comunicaciones móviles. El primer paso para llevar a cabo esta compatibilidad entre sistemas, es el soporte de redes con IP.
- *Alta capacidad y bajos costos.* La capacidad por unidad de área de la 4G deberá ser 10 veces mayor que la de su predecesora y los costos se obligarán ser mucho más bajos para que estén al alcance de todos.
- *Calidad de servicio y control sobre esta.* Al usar los sistemas inalámbricos recursos de ancho de banda y potencia, se requiere que los organismos controlen adecuadamente el mercado para evitar abusos.

2.2.5.1 Sistemas

Debido a la gran variedad de servicios que plantea la generación 4G de comunicaciones móviles, hace necesario la existencia de varios tipos de sistemas enfocados a proporcionar un servicio en específico, de esta manera tenemos a los siguientes:

- *MMAC.* Este sistema está enfocado a proveer acceso a las redes inalámbricas de alta velocidad y provee dos categorías de acceso de los móviles. La primera de ellas que operará en interiores y exteriores proveerá tasas de transmisión superiores a los 30 Mbits/s en una frecuencia de 5.2 GHz. La segunda proveerá tasas aún más altas en interiores de 600 Mbits/s y en ondas de frecuencia de 60 GHz. Estos sistemas están limitados a una pequeña área de cobertura y no son capaces de proveer ningún servicio dentro de las comunicaciones móviles: por lo que su principal uso es el de crear la red dorsal donde se conectarán el resto de los sistemas.
- *ITS.* Por medio de los ITS's se espera resolver los problemas de accidentes y congestión en las grandes ciudades. Los ITS's son considerados como el negocio

más prometedor dentro de las telecomunicaciones en los próximos años, se estima un mercado potencial de superior a los 53 trillones de yenes. Los sistemas de telecomunicaciones relacionados con los ITS's, se dividen en sistemas de comunicación vehículo-base y comunicación entre vehículos.

- *HAPS*. Este tipo de sistema es muy atractivo para las comunicaciones multimedia, ya que puede soportar gran variedad de servicios con acceso de altas tasas de transmisión y aumentar el área de cobertura.

2.2.5.2 Retos tecnológicos

Para poder llevar a cabo la implantación de los sistemas planteados en la generación 4G, es necesario un desarrollo tecnológico impresionante en las siguientes áreas de las telecomunicaciones:

- *Modulación y transmisión de las señales*: Los sistemas móviles que trabajan a altas frecuencias sufren mucho de interferencia, por lo que son necesarios esquemas de modulación y demodulación que resuelvan estos problemas. Los esquemas de modulación con multiportadora ortogonal y OFDM son los candidatos. Otro problema que se tiene en estos sistemas es el bajo valor que tiene la razón señal a ruido requerido y para ello es necesario implantar códigos de detección y corrección de errores.
- *Propagación*. La propagación de las señales se llevará a cabo a través de sistemas de microondas y ondas milimétricas, los cuales tienen grandes problemas ocasionados por el medio ambiente.
- *Desarrollo de Software*. Para poder llevar a cabo la integración de los diversos sistemas es necesario el desarrollo de estándares dentro de la industria del software, además si consideramos la gran importancia que tiene el procesamiento digital de las señales para adecuarlas al medio de transmisión y para poder recibir las adecuadamente, es claro que disponer de mejores algoritmos y aplicaciones será básico dentro del nuevo mercado.
- *Antenas inteligentes*. Las nuevas antenas deberán ser capaces de suprimir las señales no deseadas, auto ajustar al valor de la ganancia, e incorporar algoritmos de procesamiento de señales. Todo esto dentro de su tamaño que es de unos centímetros.
- *Transmisiones sobre fibra óptica*. Este tipo de transmisión es muy importante dentro de los ITS's
- *Arquitectura de las redes y protocolos*. El principal reto de las redes de datos es el establecer interacción con los sistemas de comunicación inalámbricos a través de protocolos, como es el caso de IP, conmutación por paquetes, calidad de servicios y escalabilidad.
- *Dispositivos*. Se requiere el desarrollo de elementos que trabajen en altas frecuencias, lo cual representa un reto para la electrónica actual.

Todos estos requerimientos que plantea la generación 4G de comunicaciones móviles, podría en un momento dado retrasar su lanzamiento en el mercado, o su implementación parcial, dejando para una nueva (la quinta quizás) el reto de satisfacer a un mercado cada vez más exigente y con necesidades creadas por Internet.

2.3 Componentes del teléfono celular

Las componentes que forman parte de un teléfono celular se pueden agrupar dentro de un diagrama a bloques y dentro de un diagrama modular, para permitir a su mejor comprensión y fácil identificación.

2.3.1 Diagrama a bloques

Tarjeta Lógica: Es la parte donde se encuentra todos los componentes electrónicos, es decir es el cerebro del teléfono celular. Es donde van conectados todos sus componentes y de ahí diseccionarlos de acuerdo a su función o el proceso que les corresponde. Se muestra en la figura 2.5.

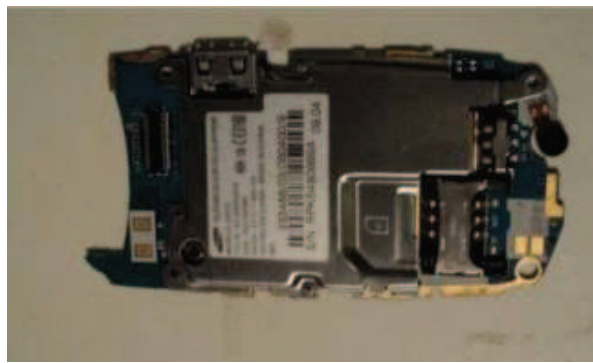


Figura 2.5 Tarjeta lógica de un celular.

Separador: Este puede ser un protector de la tarjeta lógica o también un aislante, para que algunas partes electrónica de teléfono celular no tengan ningún tipo de contacto.

Tarjeta de teclado: Es la parte que se considera el dispositivo de entrada del celular, es parte electrónica que se una con la tarjeta lógica para interactuar con el teléfono. En la figura 2.6 se muestra la tarjeta del teclado

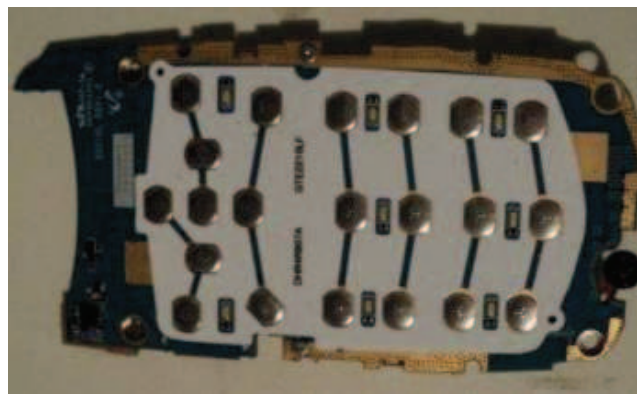


Figura 2.6. Tarjeta de teclado.

Teclado: Es una parte que esta hecho de caucho, por eso las teclas con muy suaves y puede ser que solo tenga los numero o también que sea uno con todas las letras, dependiendo del tipo de teléfono. Tipos de teclados de celulares figura 2.7.



Figura 2.7 Teclados de teléfonos celulares.

Tapa Frontal: Es básicamente la que cubre o protege los componentes del celular y además le puede dar imagen o personalizar al teléfono. Figura 2.8.



Figura 2.8 Tapa frontal de un celular.

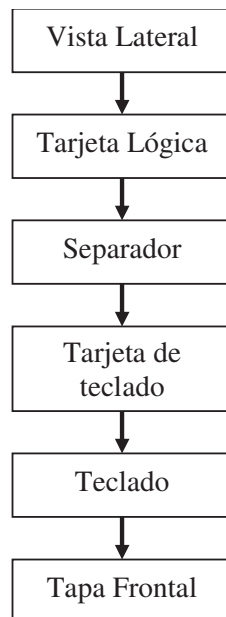


Figura 2.9 Diagrama a bloque de las partes de un celular.

Display o pantalla: Es el dispositivo de salida, que mediante una interfaz nos presenta la toda la información para interactuar con el celular. Se muestra en la figura 2.10.

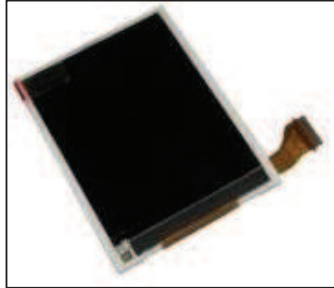


Figura 2.10 Display o Pantalla de un celular.

Bocina o Parlante: Es un dispositivo de salida por donde se puede hablar o escuchar las conversaciones o sonidos que salen de celular, como música. Se ve en la figura 2.11.



Figura 2.11 Bocina o Parlante.

Timbre o Altavoz: Es un dispositivo de salida donde no se requiere estar muy junto al teléfono, es por tanto la puerta por donde sale el sonido al exterior desde los aparatos que posibilitaron su amplificación. Se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12 Timbre o Altavoz.

Micrófono: Su función es la de transformar (traducir) las vibraciones debidas a la presión acústica ejercida sobre su cápsula por las ondas sonoras en energía eléctrica o grabar sonidos de cualquier lugar o elemento. Se muestra en la figura 2.13.



Figura 2.13 Micrófonos.

Conector de sistema: Es básicamente un cable o cables que sirven como interfaz de conexión entre el teléfono y cualquier otro equipo compatible, por lo regular lo más común es conectarlo a una computadora. Se muestra en la figura 2.14.



Figura 2.14 Cable de conexión a PC.

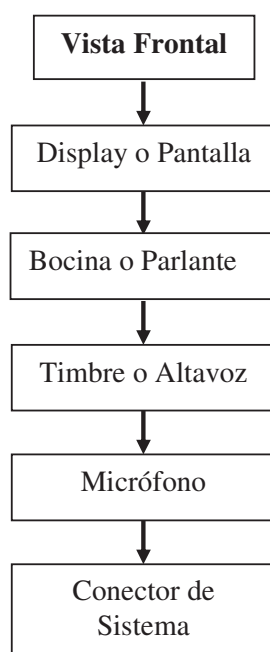


Figura 2.15 Diagrama de bloques de un celular.

2.3.2 Diagrama modular



Figura 2.16 Diagrama modular.

2.4. Módulos de los teléfonos celulares

Como se mencionó en el subtema 1.3.2, los teléfonos celulares pueden configurarse en tres módulos bien definidos, los cuales son: el módulo de radio frecuencia (RF), el módulo de audio frecuencia (AF) y el módulo de lógico de control (CPU). Como transductores existen una antena y dos altavoces; todos ellos se muestran en la figura 2.17.

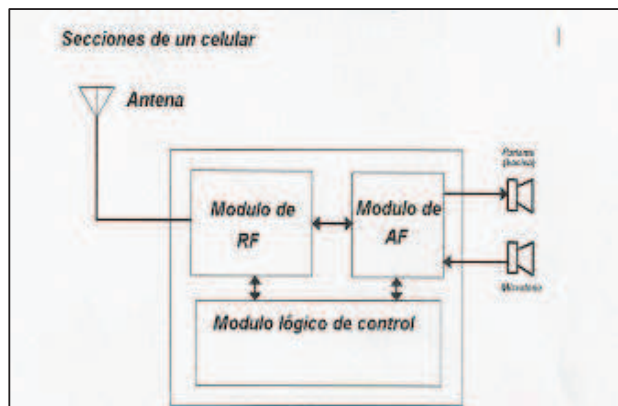


Figura 2.17 Módulos de un celular.

2.4.1 Modulo de radio frecuencia

El modulo RF tiene a su cargo todas las señales que entran o salen del teléfono celular. El circuito receptor filtra y remodula las señales recibidas, mientras que el circuito de salida se conecta al modulo AF para su intercomunicación. A diferencia de los radio receptores tradicionales, en los que se usan sintonizadores manuales para definir el canal deseado, el teléfono celular usa un circuito sintetizador de frecuencia de precisión, el cual se puede auto ajustarse a cualquier de los 666 canales celulares asignados. El canal seleccionado en un momento dado esta determinado por el modulo CPU.

2.4.2 Modulo de audio frecuencia

El modulo AF es el responsable de la comunicación entre las señales de frecuencia intermedia (FI) que provienen del modulo de RF, con las señales de voz que se pueden oír en el receptor del teléfono celular. Generalmente se incluye a otro modulo receptor para reproducir a las señales de advertencia, tales como las señales de llamadas. Los tonos son del tipo multi frecuencial y la voz proveniente del micrófono se filtra, se mezcla y se aplica al modulo RF; para ser modulados junto con las señales de control provenientes de un moden lógico de control. Las funciones de transmisión y recepción de este modulo, también están bajo el control del modulo lógico de control.

2.4.3 Modulo lógico de control

El modulo CPU es el cerebro de un teléfono celular y tiene su estructura similar a la de una computadora personal. El CPU controla al teléfono celular con base a un conjunto de instrucciones permanentes programadas y grabadas en una memoria permanente. Se incluye una memoria temporal que almacena variables tales como el canal de uso, el valor seleccionado de potencia de transmisión, así como los resultados de cualquier comparación lógica u operación matemática requeridos cuando el programa del teléfono no esta corriendo. También usa una memoria borrable para almacenar información que es exclusiva de cada teléfono, tal como el número asignado al teléfono celular.

2.4.4 Modulo de alimentación

El modulo de alimentación no aparece dentro de la figura 2.7, pero es necesario hacer su descripción porque es la parte encargada de suministrar la alimentación al teléfono celular. Este modulo tiene la estructura similar a la de cualquier aparato eléctrico, porque sus dispositivos están diseñados para operar con una batería recargable, la cual usa a un cargador tipo AC- 3 o AC -4.

2.5 Especificaciones de un teléfono celular

2.5.1 Modelo

En la actualidad, podemos decir que todas las personas que utilizan teléfonos móviles son personas de todas las edades, desde estudiantes hasta personas mayores con una variedad de profesiones. Los servicios celulares se han vuelto tan indispensables en sus vidas que los obligan traerlos a la mano. Sin embargo, un teléfono celular de hace unos años atrás nos pareció un signo de riqueza. En el mercado de la producción de teléfonos móviles, existe un gran número de empresas diferentes y cada uno de ellos tiene su propio método de fabricación de teléfonos que les permite reducir el costo de la producción. Por ejemplo, la compañía telefónica Nokia fabrica el teléfono modelo 3600 y 6300, mientras que Samsung hace el teléfono modelo E1310M; en donde los tres teléfonos se distinguen por su fiabilidad y durabilidad en su uso. En términos generales se puede decir que Nokia es el líder mundial en tecnologías móviles, las comunicaciones de apoyo y la fuerza motriz para la industria móvil. Los teléfonos móviles actuales están equipados con una gran variedad de funciones adicionales, por ejemplo la compañía Sony Ericsson fabrica el teléfono modelo C902, cuyas características son: la cámara, reproductor de MP3, Bluetooth, la presencia de las tarjetas flash y otros.

2.5.2 Tipo

Todos los teléfonos celulares pueden ser divididos en los tipos siguientes:

- a) Inteligente (smartphones). Es un teléfono inteligente con un completo sistema operativo de pleno derecho. Este tipo permite que se le instalen nuevos programas, por lo que se extiende su funcionalidad; tal es el caso de los organizadores, reproductores de audio y vídeo, navegadores, etcétera.
- b) Comunicador (communicator). Contiene los programas de los ordenadores personales pero con las funciones de un teléfono celular. En la actualidad, la definición de los límites entre los teléfonos inteligentes y comunicadores está ausente; de aquí que la mayoría de las personas hace referencia al mismo tipo.
- c) Teléfono de negocios (bissnes). En estos teléfonos se usan a menudo materiales caros y factores de fabricación de forma únicos. La funcionalidad de estos teléfonos es limitada, por lo que hay teléfonos disponibles, a menudo sin pantalla, sin una tarjeta SIM, destinados a llamadas hasta que todo el dinero en la cuenta o la batería se agote.

Por lo anterior, al haber una competencia enorme de fabricantes de teléfonos móviles, se debe tener cuidado al elegir el tipo de teléfono, definitivamente se debe de saber con qué fin se va a comprar un teléfono móvil, ya que de su tipo depende el precio. Para seleccionar el modelo adecuado del teléfono, puede pedir ayuda en diversos sitios del Internet. También usted tiene la oportunidad de comprar un teléfono móvil a través de la tienda de Internet, pero hay que tener cuidado y sólo la confianza de los vendedores confiables.

Los celulares antiguos solo se usaban para hablar y eran grandes y pesados, agradecimos cuando los hicieron más pequeños y livianos, pero cuando les pusieron una

pantalla en colores nos dimos cuenta de que se les podían dar más utilidades como televisión, GPS, mp3, mp4, lector de libros electrónicos, lector de documentos, planillas electrónicas, correos, juegos, etc.: es decir una computadora portátil que podemos llevar a todas partes, cargar el software que nos dé la gana y llevar todos los documentos que queramos; lo que no entiendo es por qué a los fabricantes les ha costado tanto darse cuenta de esto y por eso nosotros agradecemos una pantalla grande, táctil, con gran resolución (1280 por 1024 o más píxeles), mucha memoria, un gran disco duro en gigabits, con conectividad wifi, puertos USB, lectores de tarjeta, un procesador superior a un gigahertz y que contengan una o más baterías intercambiables de gran duración

2.5.2 Condiciones ambientales

Un teléfono impermeable es un tipo de teléfono que ha sido diseñado para soportar los elementos ambientales. Por lo general, es más robusto y más funcional que el teléfono normal.

Los japoneses inventaron a los teléfonos impermeables, debido a la apreciación de la cultura del baño. Los japoneses toman baños con largos tiempos de duración, por lo que tienen la necesidad de tener a su teléfono cerca y con el riesgo de mojarse.

Algunas empresas han intentado vender gabinetes impermeables, fabricados de plástico duradero u otro tipo material, para evitar que los teléfonos tengan contacto con polvo, suciedad u otros desechos que los puedan dañar. Sin embargo, ahora se están construyendo teléfonos para resistir las condiciones ambientales, incluyendo depósitos para llaves y pantallas.

En términos de mercado, estos teléfonos no están propensos a los accidentes, por lo que también pueden ser utilizados por los niños que regularmente manejan los teléfonos de sus padres y los dañan. Los atletas que participan en deportes extremos o deportes que tienen lugar en condiciones climáticas adversas, pueden utilizar teléfonos celulares impermeables. Los teléfonos de tipo impermeable se muestran en la figura 2.18.



Figura 2.18 Teléfono Impermeable.

Un usuario normal, no es lo suficientemente atractivo para justificar la compra de un teléfono impermeable, ya que simplemente realiza llamadas en condiciones ambientales favorables. Para satisfacer la demanda y hacer atractiva la compra, las empresas de telefonía celular han empezado ahora a crear teléfonos celulares impermeables, que incluyen una variedad de características adicionales.

Un teléfono impermeable puede presumir de cualquiera de las características que se encuentran en un teléfono celular normal. No es raro encontrar un teléfono impermeable que tiene la capacidad de tomar fotografías y como un reproductor de mp3, funciona como un cronómetro o trabaja como un GPS. Estas características hacen que los teléfonos impermeables sean una inversión sólida para cualquier usuario de teléfono celular normal.

Así como existen teléfonos que impermeables, también hay celulares muy frágiles, los cuales son la mayoría o los que normalmente venden en el mercado y deben tratarse con cuidado. Las sugerencias que a continuación se mencionan, ayudan a proteger al teléfono:

-Mantener el dispositivo seco. La lluvia, la humedad y los líquidos contienen minerales que pueden oxidar los circuitos electrónicos. Si el dispositivo se moja, extraiga la batería y espere que el teléfono se seque por completo para volver a conectarla.

-No utilice ni guarde el dispositivo en lugares sucios o polvorientos. Las piezas móviles y los componentes electrónicos podrían dañarse.

-No se deben guardar los dispositivos en lugares calurosos. Las altas temperaturas pueden reducir la vida útil de los dispositivos electrónicos, daña las baterías y deforman o derriten algunos tipos de plásticos.

-No guarde los dispositivos en lugares fríos. Cuando el dispositivo recupera su temperatura normal puede formarse humedad en su interior, lo cual puede dañar las placas de los circuitos electrónicos.

-Abra siempre el dispositivo de acuerdo con las instrucciones que figuran en el manual.

-No se debe dejar caer, golpear ni mover bruscamente el dispositivo. Los manejos bruscos pueden romper las placas de circuito interno y las piezas mecánicas más delicadas.

-No utilice productos químicos perjudiciales, disolventes ni detergentes fuertes para limpiarlo.

-No pinte el dispositivo. La pintura puede obstruir las piezas móviles e impedir un funcionamiento apropiado.

-Use un paño suave, limpio y seco para limpiar cualquier lente, como el lente de la cámara.

-Utilice sólo antena suministrada o una de repuesto aprobada por el productor. El uso de antenas, modificaciones o accesorios no aprobados podría dañar el dispositivo e infringir los reglamentos sobre el uso del dispositivo de radio.

2.5.3 Valores Eléctricos

El teléfono recibe alimentación eléctrica a través de una batería recargable. El rendimiento óptimo de una batería nueva se obtiene solamente después de dos o tres ciclos completos de carga y descarga. La batería no se puede carga y descargar cientos de veces, porque con el tiempo se desgasta. Cuando los tiempos de uso y de reserva sean notablemente más cortos de lo normal, se debe de cambiar la batería. Conviene únicamente usar baterías aprobadas por el productor de celular y así mismo recargarla con los cargadores del productor.

Si se utiliza una batería de repuesto por primera vez o si la batería no ha sido usada por un tiempo prolongado, podría ser necesario conectar el cargador y luego desconectar y volver a conectar para iniciar la carga de la batería.

Desconecte el cargador del enchufe eléctrico y del dispositivo cuando no esté en uso. No deje la batería conectada al cargador tras cargarla completamente, puesto que la sobrecarga podría reducir la vida útil de la batería. Si una batería completamente cargada no se utiliza por un tiempo, se descarga paulatinamente.

Si una batería está completamente descargada, podrían pasar unos pocos minutos antes de que el indicador de carga aparezca en la pantalla o antes de poder realizar alguna llamada. Se deben utilizar las baterías solamente para propósitos para la que fue diseñada y no se debe utilizar nunca el cargador para alimentar al teléfono.

Se puede producir un corto circuito accidental si un objeto metálico, como una moneda, clip o bolígrafo ocasiona la conexión directa de las dos terminales positivo (+) y negativo (-) de la batería. Lo anterior puede ocurrir, por ejemplo, cuando coloque la batería en un bolsillo de su pantalón o en su bolsa de mano. Dicho corto circuito puede dañar la batería o solo descargarla. En la tabla 1.2 aparecen las especificaciones.

FUNCION	ESPECIFICACIÓN
Peso (Varia dependiendo el teléfono)	Volumen: 93.2 cm ³ (5.87 pulg ³) Largo: 103.8mm (4.09 pulg.) Ancho: 50mm (2 pulg.) Espesor: 19.8mm (0.78 pulg.)
Rango de frecuencias (varia del modelo del teléfono)	GSM 900 880-915 MHz (TX); 925-960 MHz(RX) GSM1800 1710-1785 MHz (TX); 1805-1965 MHz (RX) GSM 1900 1850-1910 MHz (TX); 1930-1990 MHz (RX)
Potencia de salida del trasmisor	Hasta 2 watts
Voltaje de la Batería	3.7 Vcc
Tiempos de funcionamiento	Tiempos de reserva: Hasta 12.5 días Tiempo de conversación: Hasta 6 horas con batería

	de Li-Ion 1100mAh BP- 6M
Peso (varía del modelo)	130 g (4.59 oz)
Temperatura de funcionamiento	15°C hasta 25°C (59°F hasta 77°F)

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas.

2.6 Red celular

El teléfono celular no es más que un radio que emplea ondas electromagnéticas para su comunicación, pero son radios extremadamente sofisticados porque usan a un dispositivo doble que emplea una frecuencia para hablar y otra para escuchar; esto le permite operar dentro de una red celular.

2.6.1 Estación base

El gran auge de estas redes, desde los años 90'S se ha debido al abaratamiento de los servicios y sobre todo a la reducción del costo de los teléfonos; los cuales se ha ido mejorando tecnológicamente, gracias a los adelantos en la tecnología de potencia que le permite tener cada vez una mayor autonomía y un menor tamaño. El incremento en el número de abonados a estas redes, ha sido uno de los más sorprendentes.

Un teléfono celular puede utilizar 1664 canales, operan con células y pueden alternar a medida que el teléfono es desplazado de un lugar a otro. Las células le permiten al teléfono el desplazamiento para que una persona que transita por cualquier parte pueda movilizarse y mantener la conversación todo el tiempo, por lo que también se les denomina dispositivo móvil inalámbrico, o sencillamente dispositivo inalámbrico.

Cada teléfono está conectado mediante un enlace de radio a una estación base (*BS*) por turno, esta se conecta a la red telefónica y por cierto es la mayor máquina del planeta. Los primeros sistemas móviles utilizaban la asignación fija de una frecuencia para cada pareja móvil estación base, de forma que cada canal se asignaba a un móvil específico y un grupo de canales queda a disposición de todos los usuarios, no existiendo canales asignados a prioridad.

La filosofía de la red celular es utilizar estaciones base de pequeña o mediana potencia y dar servicio a un área mas limitada, como se muestra en la figura 2.19.

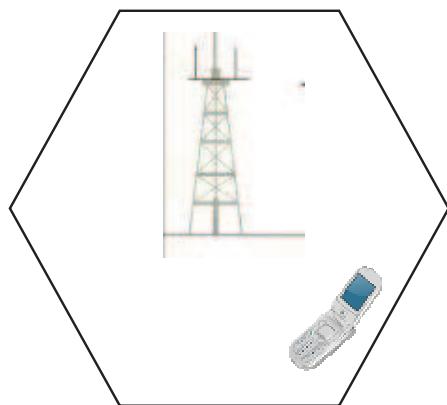


Figura 2.19. Estación base.

Lo que es realmente inteligente e ingenioso en un sistema celular, es que en vez de utilizar una gran estación base cubriendo una gran área, cada estación cubre un área limitada denominada *celda* y cada celda contiene su propia antena con una serie de canales asignados. Si el teléfono se mueve y cambia de celda, la conexión pasa a una estación base adyacente (*handover* o *Hand-off*) y permite la movilidad de los teléfonos reutilizando las frecuencias.

Esta zona de cobertura a la que dará servicio una estación base se conoce como célula. En cada célula se puede utilizar una subbandas de frecuencias, dentro de la banda total que el operador tenga asignado. De manera que en una célula sólo ofrecen una parte de todos los radio canales de los el operador dispone. Para dar cobertura a todo el territorio será necesario utilizar muchas células. El problema puede parecer no resuelto aún, si una célula no puede utilizar los mismos canales que otra, ya que el número de canales esta limitado.

El tamaño de las celdas varía de un sistema a otro, y de un lugar a otro. Pueden ser desde más de 70 Km. en los sistemas analógicos, a menos de 500 metros en áreas de alta ocupación de redes. Cuanto más pequeño es el tamaño de la celda más usuarios pueden estar conectados a la red, menor es la potencia que es necesaria para alcanzar la estación base, y las baterías pueden ser más pequeñas y ligeras. Desafortunadamente celdas más pequeñas significa mayor número de ellas, que la instalación es más cara, y mayores problemas de cobertura en lugares alejados de las grandes áreas urbanas.

2.6.2 Arquitectura funcional

Se debe de especificar entidades funcionales e interfaces normalizadas, de este modo siempre se cumplirán las especificaciones de operación, es decir, los equipos de todos los fabricantes serán ínter operables, se podrán comunicar entre si y un operador podrá comprar sus equipos a distintos fabricantes; evitando así la posibilidad de crear monopolios en los mercados. En la figura 2.20. Se muestra la arquitectura de la red celular.

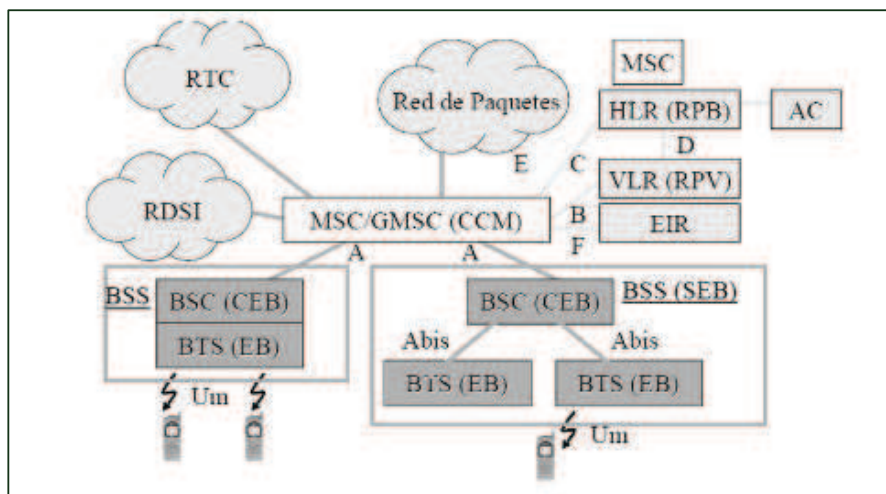


Figura 2.20 Arquitectura funcional.

Por supuesto, el diseño de cada arquitectura funcional es libre y una de ellas se presenta en la figura 2.20. En donde los nombres de cada entidad funcional se han mantenido con los acrónimos anglosajones, debido a que por facilidad se utiliza a éstos en lugar de llamarlos por su nombre. A continuación se hace una descripción de dichos acrónimos:

MS: Estación móvil.

BTS: Estación base.

BSC: Controlador de estación base.

BSS: Sistema de estación base.

MSC: Central de comunicación móvil.

GMSC: Central de comunicación móvil pasarela.

HLR: Registro de posición base.

VLR: Registro de posición visitado.

EIR: Registro de identificación de equipos.

AC: Centro de autenticación.

2.6.2.1 La estación móvil

Dicha estación no es otra cosa que el teléfono, el cual puede albergar al modulo de identidad (SIM). Este modulo contiene un microprocesador y una pequeña memoria; la cual contiene las características del abonado que se puede utilizar en cualquier teléfono compatible. Guarda entre otras cosas a la siguiente información para la cubicación:

- Número de serie (SN).
- Identificación internacional del abonado (IMSI).
- Identificación temporal del abonado móvil (TMSI).
- Clave corta de desbloqueo (PIN).
- Clave larga de desbloqueo (PUK).
- Clave del algoritmo de autenticación (K).
- Algoritmo de autenticación (A_3).
- Clave del algoritmo de cifrado (K_c).

Para mantener la seguridad de comunicación en los teléfonos, el usuario debe de seguir los tres mecanismos siguientes:

- 1.- Antes de comenzar a utilizar los servicios ofrecidos por la red, el usuario debe identificarse y la red acreditar que realmente es un abonado de la misma y por tanto se podrán presentar los servicios que tengan contratados. Para ello se utiliza el mecanismo basado en un algoritmo de autenticidad (A_3) y el uso de una clave autenticación (K_i).
- 2.- Cuando un abonado quiere acceder a la red, ésta le envía al móvil un número aleatoria. A partir de ese número y utilizando el algoritmo A_3 y la clave de autenticación K_i se genera otro que envía de nuevo a la red.
- 3.- Ahora será necesario verificar que realmente el resultado es el esperado, es el centro de autenticación el que tiene también el algoritmo A_3 y la K_i y por tanto el que sabe qué tendría que ser el resultado. Una vez que la red verifica que el número es correcto se autorizo a ese abonado a utilizar la red.

En la figura 2.21 se muestra a los tres mecanismos que el usuario toma en cuenta.

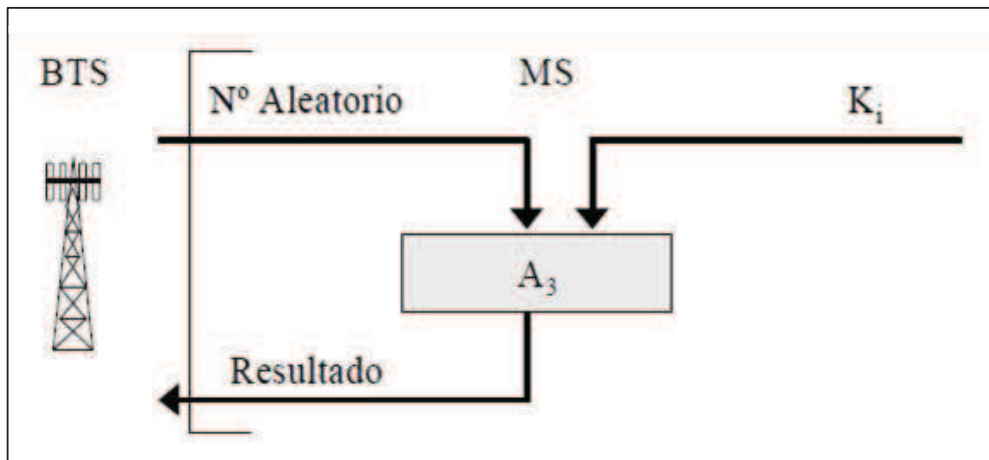


Figura 2.21 Identificación del teléfono.

Las comunicaciones digitales son aptas para la codificación cifrada. Se número tanto los datos de usuario como la señalización. Se utilizará una clave secreta (K_c) y un algoritmo de cifrado (A_s), por el que se hace para la información. Para obtener esta clave de (K_c) se utiliza previamente otro algoritmo (A_8) con la clave K_i , de modo que la red envía un número aleatorio que se introduce en el algoritmo junto con la clave y se genera la clave de cifrado. La comunicación irá cifrada entre el móvil y la estación base, donde más sensible es a intrusiones. En la figura 2.22 se muestra este procedimiento.

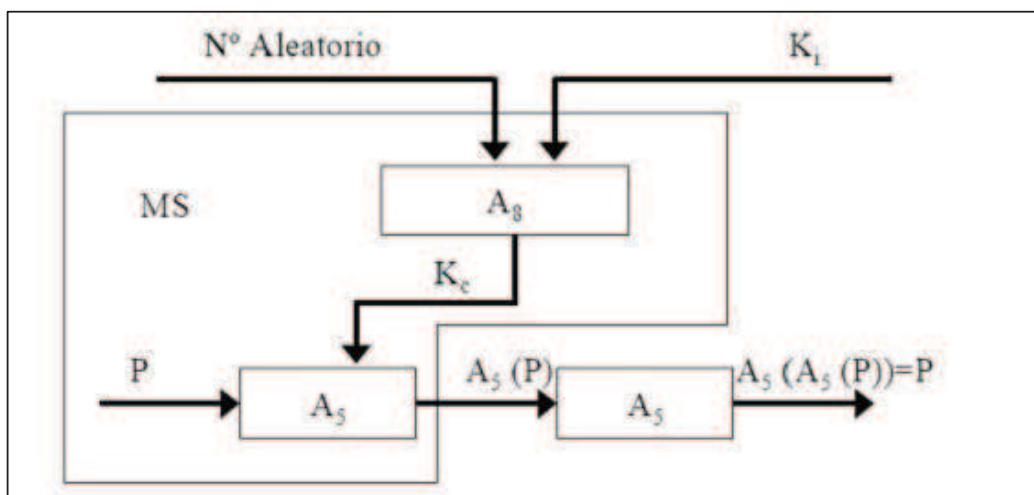


Figura 2.22 Cifrado del teléfono.

En la identidad temporal no se utiliza la verdadera identidad de la estación móvil, ya que la identidad real está dada por el IMSI. Desde ese momento el abonado se identifica con ese número y la red lo puede cambiar cuando quiera, nadie podrá interceptar la

información destinada a un abonado concreto, ya que no es fácil conocer su TMSI; además de que cambia constantemente. En la figura 2.23 se muestra como esta conformada la identidad del teléfono.

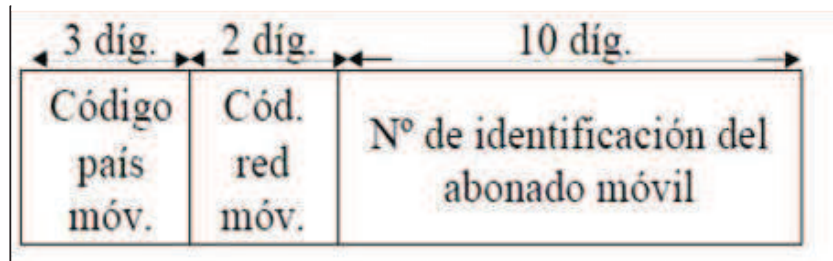


Figura 2.23 Identidad del teléfono.

2.6.2.2 Sistema de estación base

Esta formada por la BSC y una o varias BTS; estos dos elementos pueden estar integrados en el mismo equipo o separados, en ese caso la interfaz de comunicación entre ambos se denomina Abis. En el BSS existen una serie de características que el estándar GSM define como opcionales es decir, que es el operador el que decide si quiere utilizarlas o no. Entre dichas características se puede mencionar a las siguientes:

- Salto de frecuencia (Hopping). Cada 4.62 mili segundos la frecuencia que se está utilizando para la comunicación MS/BTS cambia, aún sin cambiar de célula. Esto mejora los desvanecimientos y protege de portadoras interferentes.
- Control de potencia emitida. Se presenta tanto en la BTS como en el móvil.
- Transmisión discontinua. Se presenta cuando no se transmite nada (silencio) o se introduce en éstos un ruido blanco para que no haya efecto auditivo raro.

El BSC tiene las tareas de decisión, es decir la gestión de radio canales, configuración, salto de frecuencia, asignación y gestión de canales en el enlace del MSC con el BSC, determinación de hadover y control de potencia.

El BTS tiene las tareas de temporización, medidas de la intensidad de campo, la calidad del servicio, encriptación y la detección de accesos de estaciones móviles.

2.6.2.3 Central de conmutación móvil

La MSC es el equivalente a una central de conmutación digital en la red fija, pero por supuesto añadiendo las características necesarias para el servicio móvil. Dentro de la MSC de la red hay un tipo particular de compuerta que sirve como puerta de acceso a otras redes. Evidentemente para que la conmutación se lleve a cabo correctamente es necesario que los conmutadores conozcan en todo momento la posición de las terminales móviles y para ello se apoya en la utilización de los dos registros siguientes:

El registro de posición base, que normalmente es uno solo y se encuentra generalmente en la GMSC, aunque para redes muy grandes y por requisitos técnicos puede estar fraccionado en varios. La información almacenada en este registro es para localizar al usuario y es de dos tipos: el número RDSI del abonado móvil, el que hay que marcar para conectar con él, la clave de autenticación, restricciones impuestas a ese abonado, características del equipo y servicios contratados. El número del abonado móvil que permite encaminar las llamadas dirigidas al móvil.

El registro de posición visitado, que se tiene uno en cada MSC y almacena información sobre los móviles que actualmente están en esa MSC. En cada MSC se almacena por tanto que móviles están actualmente en su zona de influencia o área de localización, se considera un área de localización a un conjunto de células con la misma identificación de la posición. Es importante destacar que la información se almacena en el VLR por iniciativa del móvil. En este registro tenemos información de dos tipos: datos permanentes copiados del HLR (por ejemplo el IMSI), de manera que no es necesario consultar constantemente el HLR para tener estos datos y disminuyendo así el tráfico de la señalización necesaria. Datos temporales, que pueden no estar en el HLR (por ejemplo el TMSI), de manera que cuando un móvil entra a una nueva área de localización (es decir que cambia de MSC) solicita actualizar su posición. Este proceso de registro trae un intercambio de información entre registro de posición base y visitado.

2.6.2.4 Registro de posición

El centro de autenticación suministra al número aleatorio, al resultado esperado y al valor de Kc que se almacenan posteriormente en el VLR y el HLR, los cuales se utilizarán para la autenticación del usuario y el cifrado de las comunicaciones. De este se crean listas de tripletas y para cada llamada se utiliza una de la lista, cuando se terminan se piden más al centro de autenticación.

El EIR es opcional. Es una base de datos sobre los equipos móviles que contienen datos como el número de serie, fabricante, homologación. La función básica es impedir un uso malicioso de la red y de terminales móviles robados o no homologados. Para que realmente tenga interés es imprescindible la cooperación entre operadoras, incluso de distintos países, cosa que resulta bastante complicada. Existen las siguientes tres listas:

- Blanca: Terminales no problemáticas
- Gris: Terminales que interesan tener aparte
- Negra: Aquellos a los que no se les debe permitir el acceso (robados, no homologados).

2.6.3 Proceso de las llamadas

Cuando se marca un número en un teléfono móvil y se efectúa una llamada, el proceso que sigue es el siguiente:

1. Muestreo de los canales de control. Cuando el teléfono móvil se enciende muestrea el grupo de canales de control para determinar de cual BS le llega la señal con mayor potencia.

2. Elección de Estación Base. El teléfono elige la señal más potente y la Estación Base de donde procede es la que decide usar para efectuar la llamada.

3. Envío del mensaje de origen. El teléfono envía un mensaje muy corto (de unos 250 ms.) que contiene el MIN, (esto es el número de teléfono), su ESN y el número marcado.

4. Obtención de asignación de canal. Después de que el servicio celular verifica que el usuario es un cliente válido (basado en el MIN y el ESN), la Estación base envía un mensaje de asignación de canal al teléfono (mensaje de unos 250 ms.). Este mensaje le dice al teléfono en que canal tendrá lugar la conversación.

5. Comienzo de la conversación. El teléfono pasa al canal asignado y comienza la llamada. Se escucha el tono de llamada o la señal de terminal ocupado. Ambas señales son transmitidas por la Estación Base como una señal de audio.

En la figura 2.24 aparece el esquema de una red celular durante el proceso de una llamada por parte del usuario móvil, en donde la función de la oficina de conmutación es realizar todas las conexiones y el puente entre la red pública y las celdas; que es en donde en última instancia se establece la conexión sin hilos con el móvil. El MTSO no sólo realiza las conexiones sino que controla todo lo relacionado con los móviles y las estaciones base, mediante un canal de control.

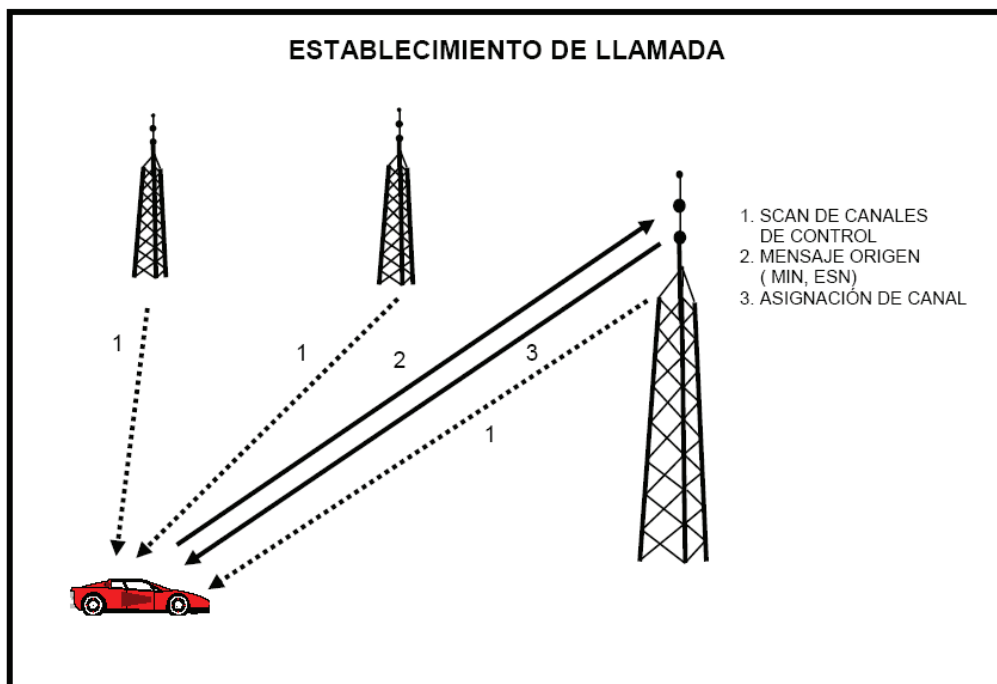


Figura 2.24 Establecimiento de una llamada.

2.6.4 Interferencias

Al dispositivo móvil se le denomina celular porque el concepto celular se basa en la distribución de una gran cantidad de transmisores de baja energía, para que cubran a un área limitada o célula determinada. Para el funcionamiento de los teléfonos, a cada célula se le asigna un grupo de canales, que permiten la comunicación en los teléfonos.

La diferencia de la radio con el celular es que en el primero su alcance y cobertura de las zonas se mantienen muy limitados, por medio del uso de transmisores de bajo nivel de energía, de tal manera que las frecuencias se pueden rehusar más a menudo; lo que permite un mayor número de usuarios.

La gran ventaja de estos sistemas es que si las células están suficientemente alejadas podrán reutilizar el mismo canal. Lo primero que hay que analizar es cuál es el problema en que dos células utilicen el mismo canal, muy sencillo, se puede producir lo denominado interferencia por co-canal. Es decir, si una señal a determinada frecuencia es interferida por otra señal de la misma frecuencia o en el mismo canal (de ahí el nombre de co-canal) con potencia similar o mayor, entonces la correcta demodulación de la señal original se hace imposible. Sin embargo, si la señal interferente es suficientemente baja podría considerarse un ruido despreciable y no dar ningún problema al demodular la señal original. Esta interferencia se presenta en la figura 2.25, donde además se muestra como la interferencia co-canal provocada por la estación base interferente es mucho menor en la estación base 2 (la mas alejada) que en la estación 1, debido a que la señal interferente se atenúa con la distancia.

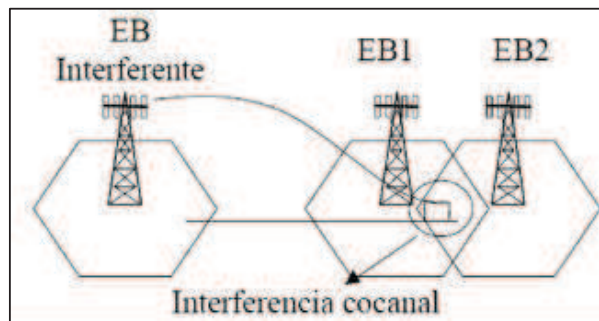


Figura 2.25 Interferencia co-canal.

De manera que si las células que utilizan el mismo canal están suficientemente alejados, al menos la distancia conocida como distancia de reutilización, la señal de una no afectará a la otra y no habrá ningún problema con que dos funcionen a la misma frecuencia. Así que se define un reparto de los canales disponibles por el operador entre varias células vecinas, lo que se conoce normalmente como racimo (cluter) y se repite este patrón para dar cobertura a todo el territorio, teniendo en cuenta que las células que comparte el mismo canal tiene que estar suficientemente alejadas.

Se conoce como distancia de reutilización a la mínima distancia entre dos células que comparte el mismo canal para que la interferencia co-canal no afecte a las comunicaciones, la cual aparece en la figura 2.26.

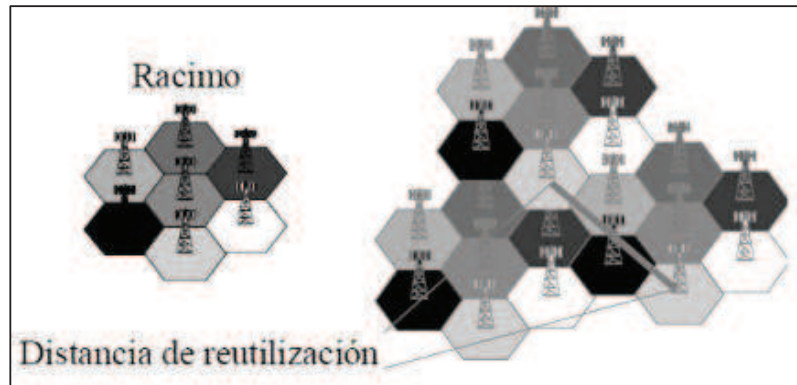


Figura 2.26 Distancia de reutilización.

Si en una célula con X canales hay mas trafico del que se puede cursar, por que aumenta el numero de usuarios por ejemplo, se puede dividir la célula añadiendo mas estaciones base y disminuir la potencia de la transmisión. De manera que en realidad el tamaño de las células variará según la densidad de tráfico, teniendo células más grandes en zonas rurales de hasta decenas de Km. y células más pequeñas de unos 0.5 Km. en grandes ciudades.

Los canales de radio de una célula se comparten entre todos los móviles que están en la célula y se asignan de forma dinámica. El estudio del número de radio canales necesarios en una célula será en función del trafico esperado y se realizan definiendo el grado de servicio que pretende ofrecer en términos normalmente, de la probabilidad de bloqueo en la llamada. La probabilidad de bloqueo de la llamada es la posibilidad de que un usuario que pretenda establecer una comunicación no pueda porque todos los radio canales están ocupados, cuanto menos sea minúsculo será el grado de servicio ofrecido.

CAPITULO 3. ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DE UNA RED CELULAR.

3.1 Ciudad o ciudades en que se puede instalar una red

Lo primero que se debe saber sobre una red celular es que se diseña dependiendo del mercado, es decir, el número de personas con un equipo móvil y la zona geográfica donde estos se encuentran. Antes de realizar un diseño de radiofrecuencia se debe saber o definir las coberturas primarias y secundarias de la ciudad donde se instalara la red. Existen varios tipos de programas que se utilizan para el diseño, como son: CellPlanet, OptimiWizard y PlaNet; en este trabajo se menciona el PlaNet exclusivamente. Los requisitos de cobertura primaria son áreas de servicio que requieren del 95% del total, ya que son los de mayor interés o de más demanda por los usuarios. La cobertura secundaria es requerida por los vehículos en los caminos, carreteras, áreas abiertas o simplemente áreas de menos interés. Estos niveles pueden variar dependiendo de los requerimientos del usuario.

Los datos de tráfico del usuario para todos los planes iniciales, es información que proporciona el operador, ya que él hace el estudio de tráfico, es decir que debe de calcular la cantidad de posibles usuarios que requerirán del servicio y las zonas de cobertura que deben de cubrir.

Se recomienda utilizar el programa MapInfo para hacer un plano (plot) que cubra las ciudades donde se interesa hacer el diseño. En la figura 3.1 se muestra la pantalla con el plano seleccionado.

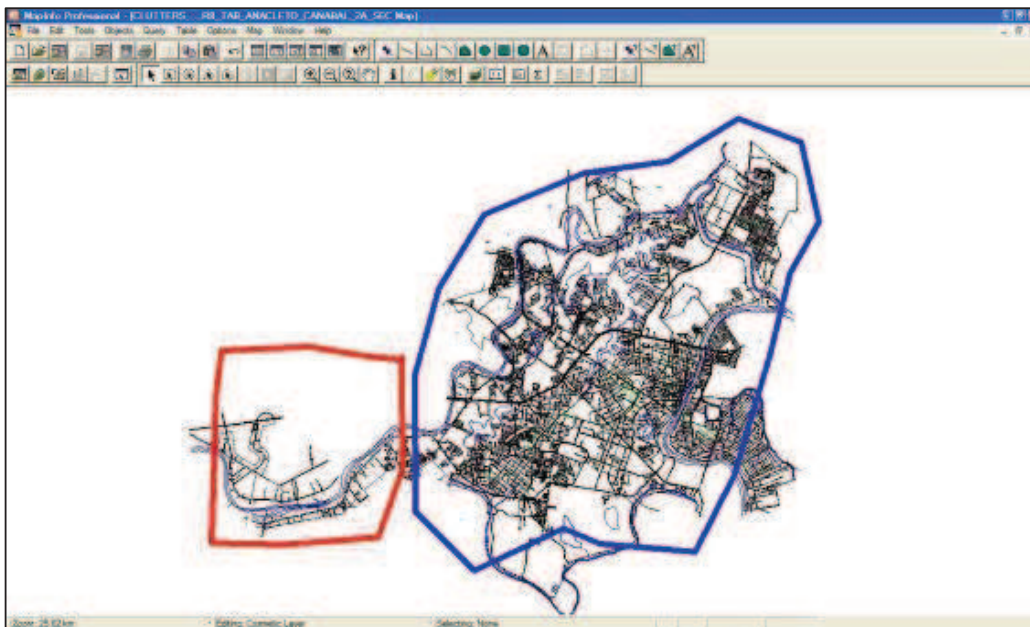


Figura 3.1 Pantalla con el plano seleccionado.

A continuación suprimen las ciudades para que solo queden los marcos llamados de referencia que formarán a los vectores llamados de cobertura, los cuales se muestran en la figura 3.2 y posteriormente se emplea el programa PlaNet para procesar a dichos Vectores; esto aparece en la pantalla de la figura 3.3.

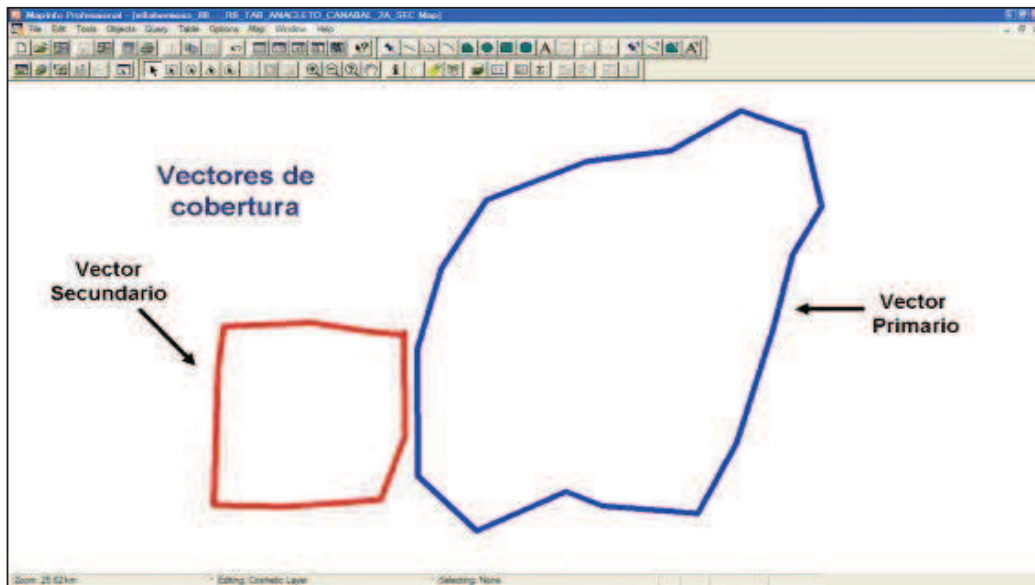


Figura 3.2 Dos pantallas con los vectores de cobertura.

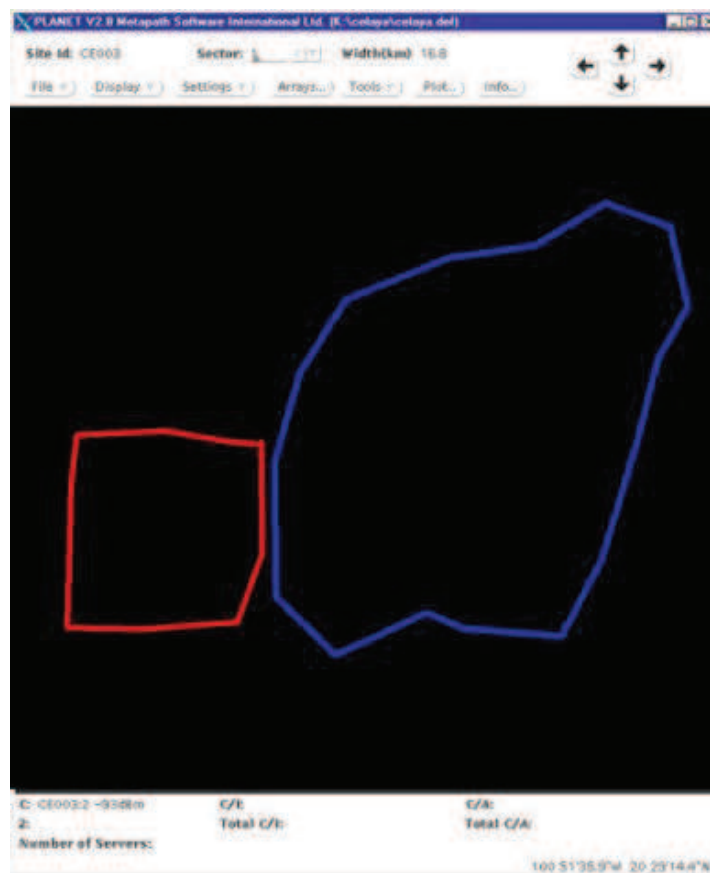


Figura 3.3 Pantalla de los vectores de cobertura en el programa PlaNet.

La cantidad de sitios iniciales esta determinada por el operador y se basa en un plan de capacidad. Estos sitios se usan como un punto de arranque para el diseño, es decir un diseño preliminar para cumplir los requisitos de cobertura. En seguida se construye una tabla para anotar las ciudades de cobertura con sus posibles usuarios en 4 diferentes etapas y que son representadas por la letra Q. Dicha tabla aparece con el número 3.1.

Ciudad	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
Monterrey	4,268	7,903	11,064	15,805	39,040
Guadalajara	8,156	15,105	21,146	30,209	74,616
León	3,817	7,069	9,897	14,138	34,921
Acapulco	3,303	4,820	6,140	8,119	23,904
Puebla	2,985	5,528	7,740	11,057	27,311
Toluca	1,561	2,890	4,046	5,780	14,276
México 1	4,741	8,779	12,291	17,559	43,370
México 2	2,929	5,425	7,594	10,849	26,797
México 3	-	1,850	3,459	5,872	11,182
México 4	-	-	1,159	2,897	4,056

Tabla 3.1 Ciudades de cobertura.

Debido a que el operador es un empresario o un conjunto de empresarios y por consecuencia tienen diversos negocios; es por ello quieren que se coloquen sitio en sus negocios como pueden ser: tiendas departamentales y edificios corporativos, con el propósito de no hacer más gastos en la adquisición de otros lugares para la colocación del sitio. Estos lugares son el punto de arranque para el diseño de la red celular y la lista de lugares que el cliente quiere que se ocupen para el diseño debe de proporcionarla junto con otros datos como son las coordenadas de su ubicación.

En la tabla 3.2 se anota la cantidad de sitios que existirá en cada ciudad para el inicio del diseño de la red.

Ciudad	Sitios
Monterrey	60
Guadalajara	50
León	20
Acapulco	19
Puebla	30
Toluca	40
México 1	90
México 2	100
México 3	80
México 4	50

Tabla 3.2 Cantidad de sitios por ciudad.

Los sitios que el cliente quiere que se empleen en el diseño se cargan al programa PlaNet y aparece la pantalla mostrada en la figura 3.4 Muchas veces, algunos de los

sítios que selecciono el cliente no son una buena opción y por esto se debe de hacer un plan de estudio.

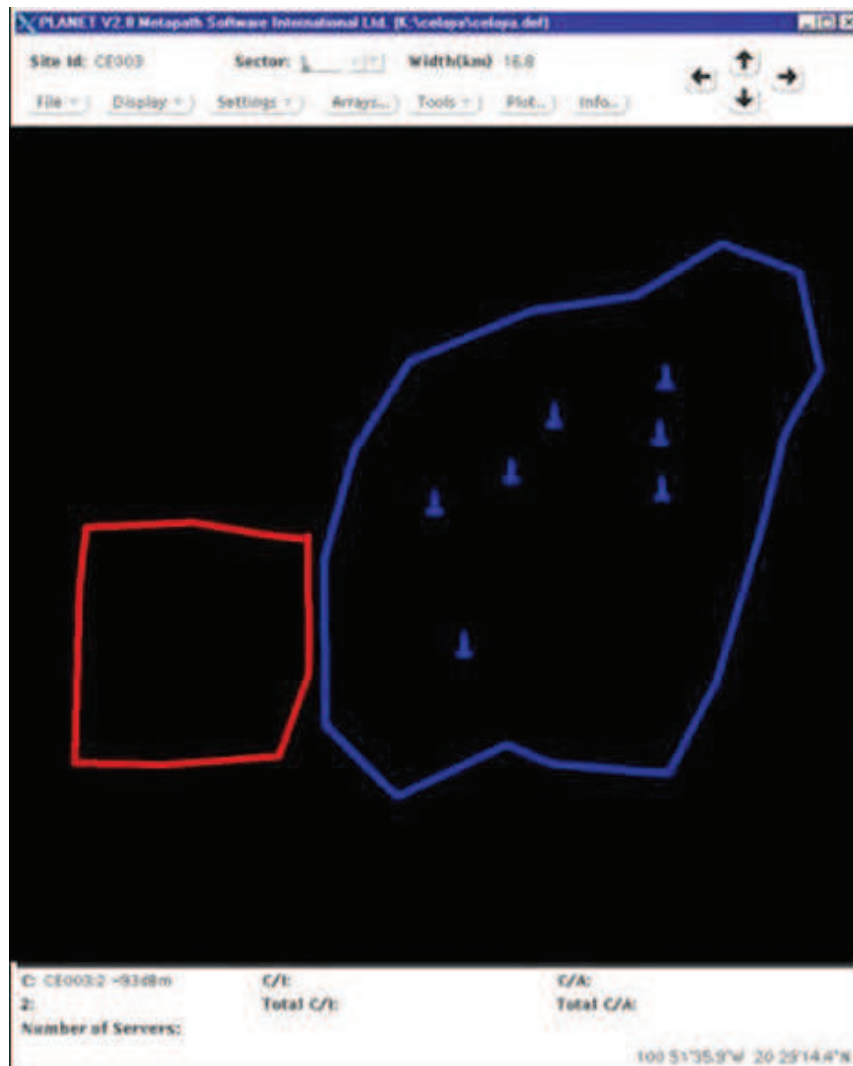


Figura 3.4 Ubicación de los sitios en PlaNet.

3.2 Evaluación preliminar

Lo primero que debe de realizar el diseñador de la red es un plan de estudio de las ciudades, con el objetivo siguiente: verificar la zona o morfología del lugar (clutter) para comparar al banco de datos que existe en el programa PlaNet con lo que existe físicamente en la ciudad, para que el diseño sea más exacto.

Luego se debe determinar cuales son las zonas o morfologías del terreno, para lo cual se toman en cuenta las listas que aparecen en la tabla 3.3. Se debe de saber el significado de cada una de las zonas para su entendimiento y dicho significado es el siguiente:

a) Denso urbano: Morfología de ciudad, típicamente centro o distrito de negocios con edificios altos de ocho o más niveles y una densa población de usuarios. Un ejemplo de dicho denso se muestra en la figura 3.5.

Tipo de Clutters
Denso urbano
Urbano
suburbano
Rural
Comercial
Residencial con los árboles
Residencial algunos árbol
Áreas abiertas
Bosque
Industrial

Tabla 3.3 Tipos de zonas.



Figura 3.5 Ejemplo de una zona con denso urbano.

b) Urbano: Fuertemente poblado, lleno de edificios y residencias, o pueblos grandes con casas estrechamente entremezcladas y densa vegetación. Un ejemplo de dicho denso se muestra en la figura 3.6.

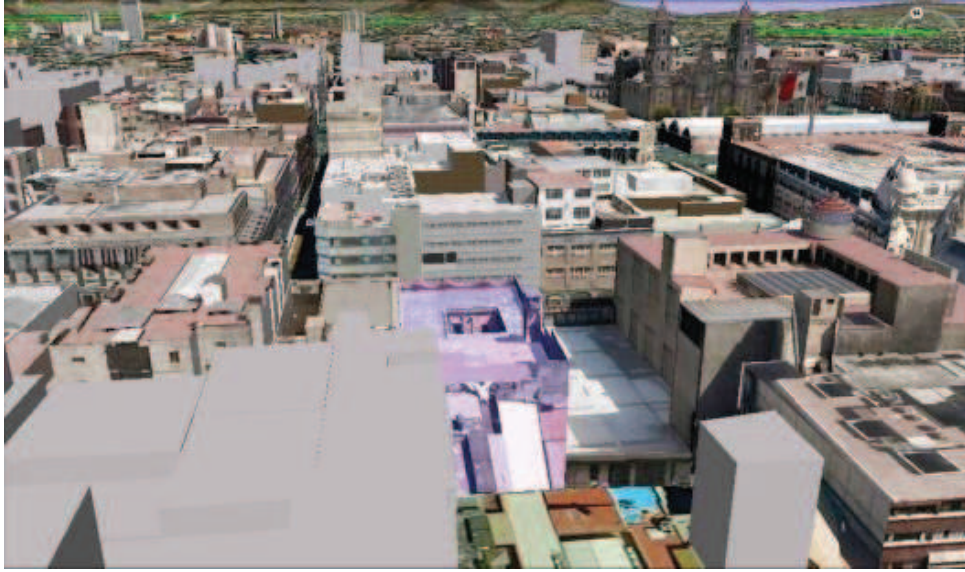


Figura 3.6 Ejemplo de una zona urbana.

c) Suburbano: Zonas periféricas de las ciudades donde históricamente, es el lugar que alojaba a los sectores sociales más empobrecidos. Donde hay pequeñas casa dispersas y árboles. Un ejemplo aparece en la figura 3.7.



Figura 3.7 Ejemplo de zona suburbana.

d) Rural: Zona con pocos obstáculos, ya que solo existen árboles, casas y campos abiertos de 300 a 400 m. Un ejemplo aparece en la figura 3.8.



Figura 3.8 Ejemplo de la zona rural.

e) Comercial: Zona que consta de uno o varios edificios, por lo general de gran tamaño y que albergan locales comerciales aglutinados en un espacio determinado; por lo que concentran a una mayor cantidad de clientes potenciales dentro del recinto. Un ejemplo se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9 Ejemplo de zona comercial.

f) Residencial: Es una zona donde las casas son entre 6 y 9 metros de altura; pueden existir muchos árboles (figura 3.10) o pocos árboles (figura 3.11).



Figura 3.10 Ejemplo de una zona residencial con muchos árboles.



Figura 3.11 Ejemplo de una zona residencial con pocos árboles.

g) Áreas abiertas: Son zonas donde no se encuentra ningún tipo de obstáculo y por lo regular son los tramos carreteros. Un ejemplo aparece en la figura 3.12.



Figura 3.12 Ejemplo de zona abierta.

h) Bosque: Zona con una alta densidad de árboles pero que existen caminos, casas o edificios en su interior. Un ejemplo se muestra en la figura 3.13.

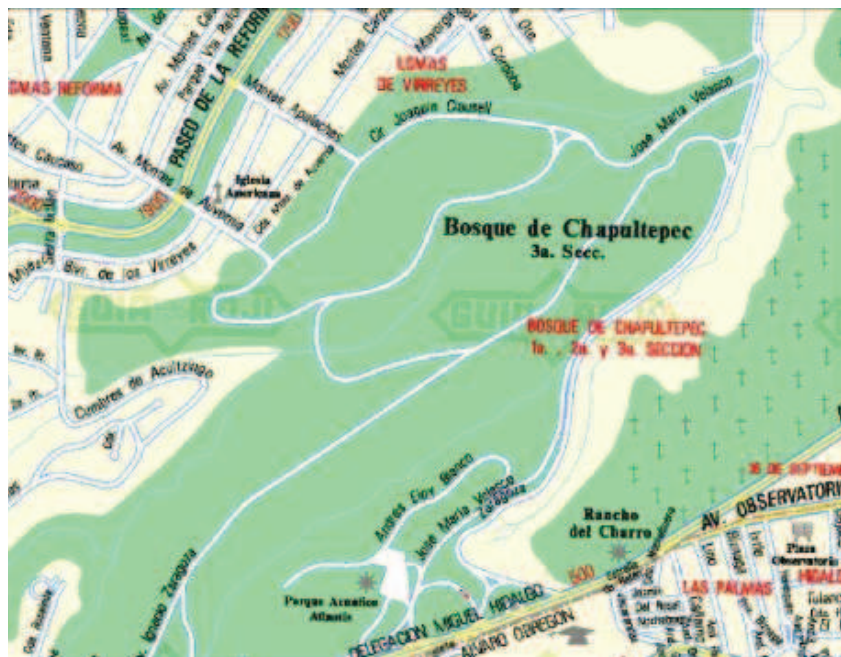


Figura 3.13 Ejemplo de un bosque.

i) Industrial: Zona territorial donde se concentran diversas empresas, fábricas, talleres, bodegas, etcétera. Un ejemplo se muestra en la figura 3.14.



Figura 3.14 Ejemplo de una zona industrial.

También los sitios propuestos por el operador se deben de verificar si son útiles para la instalación, ya que no deben de existir obstáculos de orden natural o hechos por el hombre. De orden natural puede ser un cerro, que son obstrucciones que pueden impedir la instalación y un ejemplo es el que aparece en la figura 3.15.



Figura 3.15 Ejemplo de obstrucción del orden natural.

Las posibles obstrucciones hechas por el hombre se pueden presentar en los edificios, bodegas, puentes vehiculares, etc. y un ejemplo es el de la figura 3.16.



Figura 3.16, Ejemplo de obstrucción hecha por el hombre.

Otros lugares donde se pueden generar problemas en la instalación son donde se encuentran las torres de alta tensión, ya que pueden generar altas emisiones de interferencia. Un ejemplo aparece en la figura 3.17.



Figura 3.17 Ejemplo de obstrucción por torre de alta tensión.

Otro lugar donde se puede generar problemas en la instalación, es donde ya existen equipos de comunicación, por lo que es posible que ya no se encuentre espacio suficiente para la colocación de más equipo y un ejemplo aparece en la figura 3.18 y 3.19.



Figura 3.18 Ejemplo de obstrucción por otros equipos.



Figura 3.19 Ejemplo de obstrucción por otros equipos.

Para familiarizarse con el terreno y las áreas de servicio es muy importante hacer un recorrido por las diferentes áreas, con la finalidad de identificar el tipo de zona geográfica que será considerado en el diseño y verificar que en dichas zonas no existen colinas, vados o desniveles por la irregularidad del terreno; también se hay nuevas construcciones que en un futuro pueden obstruir a la instalación. Un ejemplo aparece en la figura 3.20 y 3.21.



Figura 3.20 Ejemplo de obstrucción por desniveles o vados.



Figura 3.21 Ejemplo de obstrucción por desniveles o cerro.

Para determinar los potenciales de onda continua que manejan las áreas de prueba, se deben crear los planos (plots) de las zonas geográficas (clutter) con los sitios propios y llevarse al campo para el estudio preliminar. Se hace una comparación entre la zona existente y la zona del plano; si la diferencia es significativa se deben de anotar las correcciones para corregir la base de datos del programa. La base de datos se solicita a una empresa dedicada a la venta de topografías y cartográficas; un ejemplo de un plano es el que se muestra en la figura 3.22.

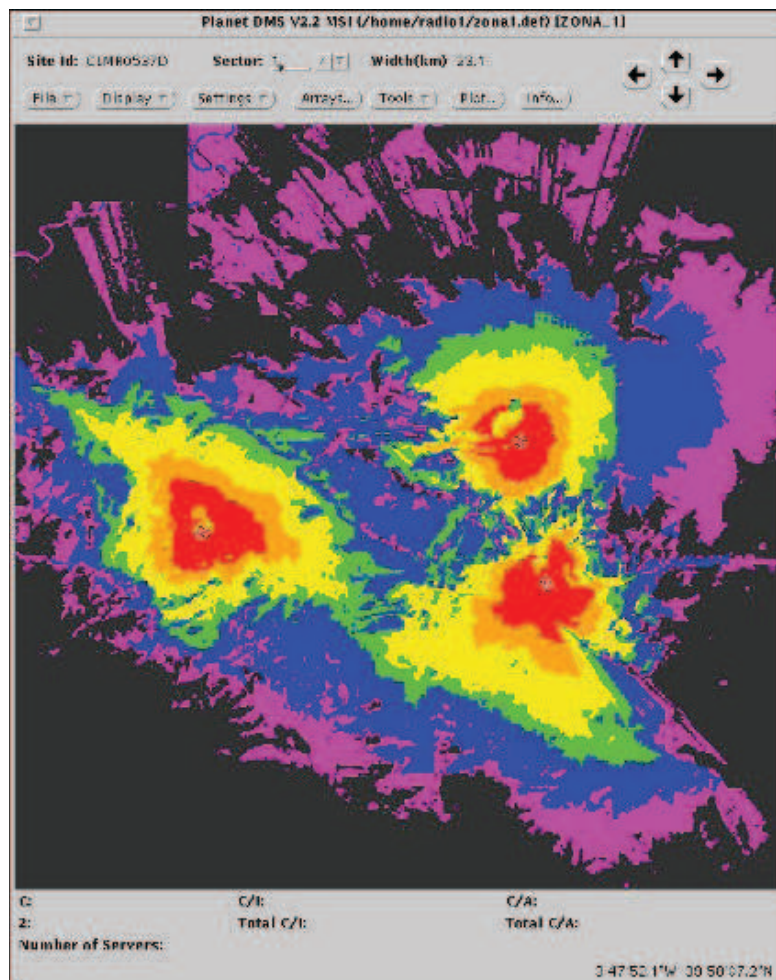


Figura 3.22 Plano de cobertura de una zona.

Durante la visita del campo, hay que tomar nota de las áreas residenciales mayores, el terreno, la morfología y las áreas de servicios primarios y secundarios, que se determino. También las obstrucciones (colinas, edificios altos, etc.), así como las fuentes posibles de interferencia (torres de alta tensión) deben de anotarse en una lista con los datos del sitio, las coordenadas y direcciones del plano; porque se requiere para preevaluar la conveniencia de cualquiera de estos sitios. Un ejemplo se muestra en la figura 3.23.



Figura 3.23 Plano de ubicación con los sitios candidatos.

El último requisito del estudio es escoger áreas específicas muy convenientes para realizar las pruebas. Las áreas de prueba de deben escoger dentro de las áreas del servicio que se requiere y deben de cubrir algunas de las clases de morfología.

La prueba de onda continua consiste en colocar una antena de tipo omni-direccional en el edificio seleccionado y transmitir una señal con frecuencia parecida a la banda correspondiente a la red que se esta instalando, con la finalidad de saber como se propaga esta señal en cada área, es decir, de dependiendo el tipo de morfología y tipos de construcciones que existan en la ciudad la señal se propaga diferente y con esto nos ayuda para poder instalar mejor la red. Por medio de un equipo que consta de una computadora portátil con una antena receptora, se ira recolectando la información recorriendo la zona en un automóvil, por lo que a este tipo de prueba se le llama también de recorrido DT (Drive Test).

3.3 Ubicación del sitio de la red

Una vez que se hace el diseño preliminar de radio frecuencia con el programa llamado PlaNet y ha sido aceptado por el cliente, el estudio del sitio y áreas de la búsqueda para las ubicaciones del sitio designado empieza. Se comienza a revisar las propiedades del cliente para saber si son aptos para la instalación de un sitio, es decir

sus edificios, tiendas, etcétera y también debe tener el estudio completo de todos los sitios, incluso las áreas de la búsqueda si el sitio propio designado no puede ser apto.

3.3.1 Estudio de sitios

La mayoría de la información requerida para el estudio del sitio, se refiere al espacio con el que cuenta, sin embargo, algunos campos requieren de algunos detalles que pueden ser críticos para un uso futuro.

Algunos de estos detalles incluyen un comentario general y debe incluir información específica que describe detalles del terreno. Se deben de tomar fotografías de las 4 coordenadas del sitio, si una de las fotografías no incluye el sitio designado, incluya una fotografía adicional, para que simplemente se indique que es el lugar del sitio. Si el sitio designado es una torre existente se debe de asegurar que las alturas de antenas existentes son moderadas y hacer las anotaciones correspondientes, así como las alturas de la montura potenciales disponible. También es importante tomar en cuenta las posibles obstrucciones o interferencia y tomar nota del sitio para el equipo transmisor dentro de un radio de 500 m, sobre todo anotar los sitios de la radio dentro de la vista del sitio, y construcciones de altura similar como la altura del edificio y dirección del sitio; además de incluir el requisito de altura de la antena estimada. En la figura 3.24 se muestra la fotografía del equipo GPS marca etrex que se puede emplear para tomar a las coordenadas del sitio.

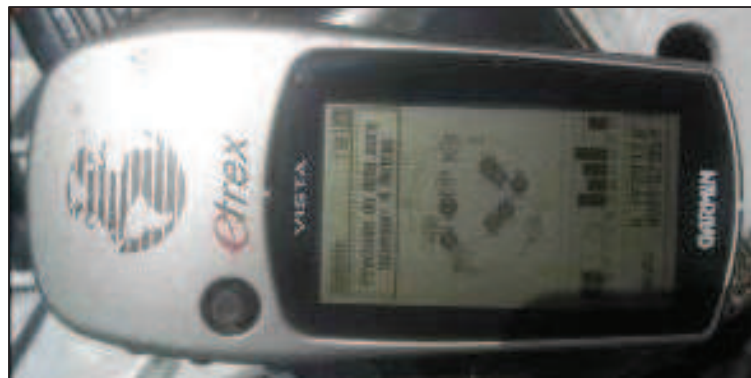


Figura 3.24 Ejemplo de un equipo que sirve para tomar las coordenadas.

3.3.2 Selección de sitios Candidatos y Aprobados

3.3.2.1 Definir el área de búsqueda

Una vez que el diseño preliminar se ha completado y se ha aceptado por cliente, es necesario dirigir el estudio del sitio detallado y definir las áreas de la búsqueda para cada sitio específico. Las áreas de la búsqueda no deben ser los círculos genéricos, desde que las limitaciones del terreno pueden permitir un sitio dentro del área de búsqueda, para ser localizado adyacente a las obstrucciones de edificios o colinas, etc.. Las áreas de la búsqueda deben ser específicas para que alguien con poco conocimiento sea capaz de evaluar el sitio.

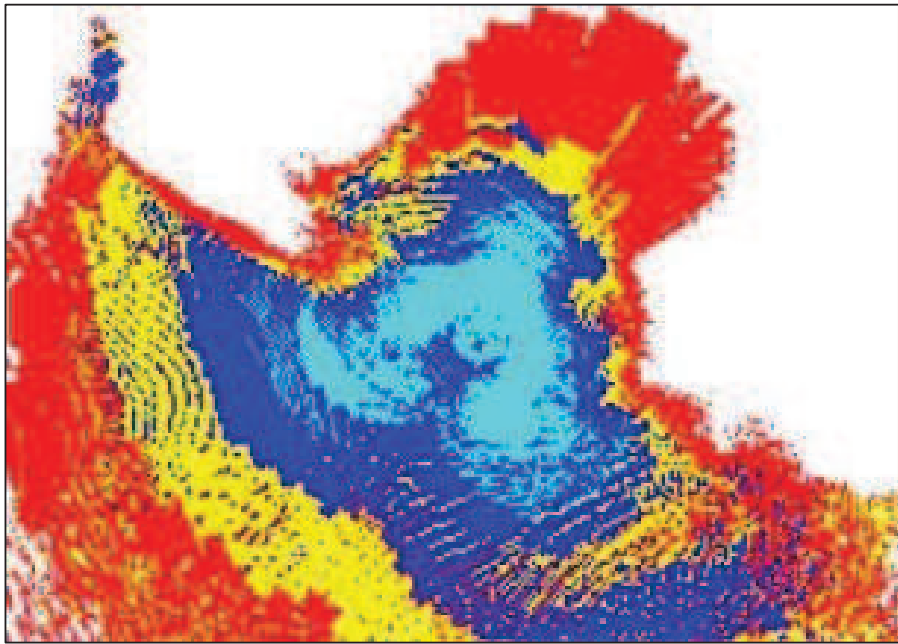


Figura 3.27 Plano de cobertura.

También se requieren los mapas del lugar para conocer la ubicación de caminos principales y saber la altura tendrá el sitio. Durante la evaluación del candidato, van varios departamentos o áreas del proyecto, el departamento responsable es el de radio frecuencia porque es el que decide si el sitio es óptimo. La gente de ingeniería civil, para el análisis de la estructura o del lugar con la finalidad de saber que se puede construir ahí, para lograr la altura que se requiere. Ya que hay tres tipos de estructuras que se pueden construir, que son torres auto soportadas, torres arriostradas y el dominado mono polo. También debe haber suficiente espacio en el cuarto donde se va a instalar el equipo correspondiente.

El sitio de la celda para telefonía celular es el lugar en donde se reciben y envían las señales para la comunicación entre receptores móviles, esto por medio de una torre y aparatos especiales de telecomunicación que están dentro de la cuarto. Las torres pueden variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vaya a colocar.

La torre auto soportada dentro del sitio será la encargada de recibir o transmitir las señales para los celulares a grandes distancias. El término auto soportada consiste en que la torre no necesita ningún tensor para poder estar en equilibrio, la cual se sujetará a bases de concreto reforzado que son fundidas en el suelo y su función será el de dar soporte del peso de la torre y anclarla a la superficie. Estas torres se construyen sobre terrenos, en áreas urbanas o cerros, y deberán de contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

Las torres auto soportadas son a menudo la solución de la opción cuando la disponibilidad de la tierra es mínima. Las Torres Auto-soportadas para resolver cualquier combinación de requerimiento como son de altura, de carga o de requerimientos funcionales y aparecen en la figura 3.28.

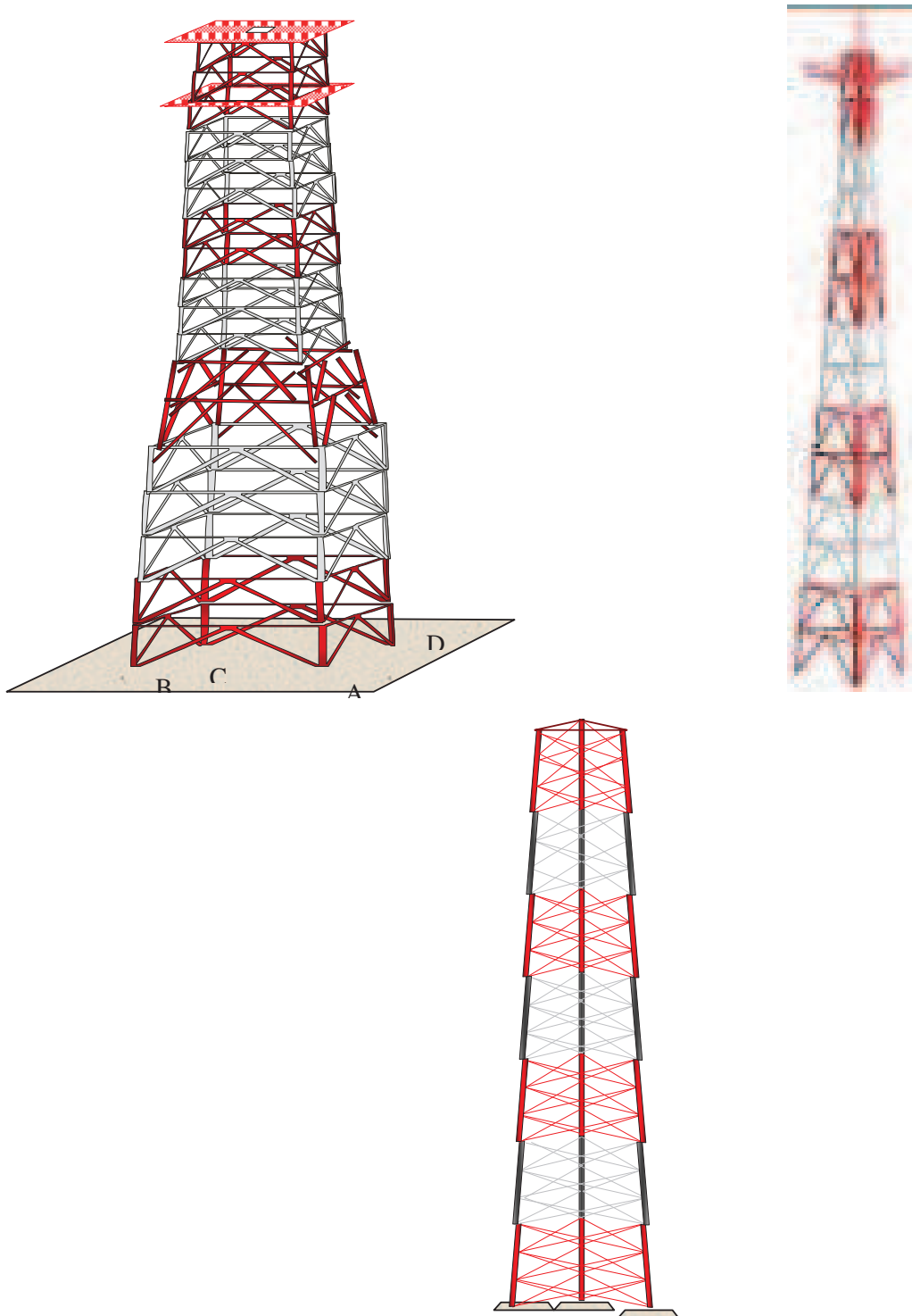


Figura 3.28 Tipos de Torres auto-soportadas.

Este tipo de torres se utilizan en la instalación de antenas para telefonía celular, de micro ondas de radio, telecomunicaciones y transmisiones; porque son capaces de

resistir velocidades de viento de hasta 240 Km./Hr en diferentes condiciones orográficas.

Muchas veces se requieren instalar antenas celulares en puntos específicos o regiones, por lo que se recurre a construir torres arriostradas sobre edificaciones existentes. Estas torres cuentan generalmente de tirantes o arriostres a diferentes distancias; como aparece en la figura 3.29.

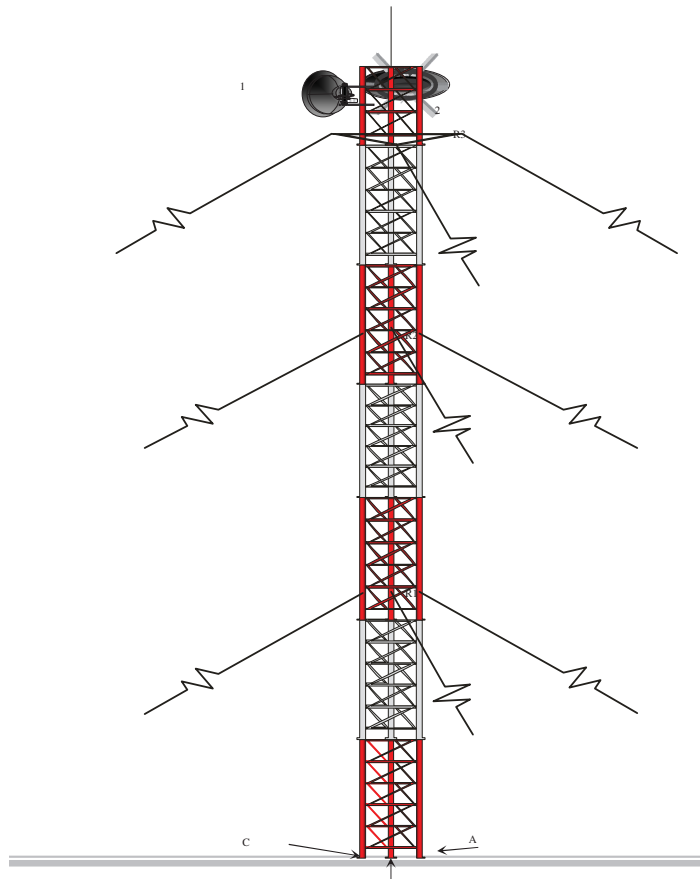


Figura 3.29 Torre arriostrada.

El peso que genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, por lo que no le adiciona mucho peso a la edificación, sin embargo, se deben de colocar el apoyo de las torre y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes, porque la descarga de la torre no podría colocarse sobre una losa o algún otro elemento inadecuado, porque este podría fallar. La base de la torre transmitirá un esfuerzo de compresión en donde está apoyada, y los arriostres generalmente transmitirán esfuerzos de tensión. En torres arriostradas, se deberán de revisar que los tirantes estén en buenas condiciones, y que estos tengan la tensión adecuada.

Los cables o arriostres generalmente se tensan al 10% de su resistencia, la cual es proporcionada por el fabricante. Así, por ejemplo, si el cable tiene una resistencia a la

ruptura de 4.95 ton en tensión, entonces se acostumbra tensar los cables a 0.495 ton. También se pueden tensar los cables con diferentes fuerzas, calculando una tensión tal que el sistema esté en equilibrio.

Cuando al centro de la edificación no se encuentre una columna para poder apoyar la base de la torre, se puede recurrir a la colocación de alguna viga de acero o alguna estructura para que la torre se apoye. Esta estructura podrá ya apoyarse sobre otras columnas de la edificación; tal como aparece en la figura 3.30.

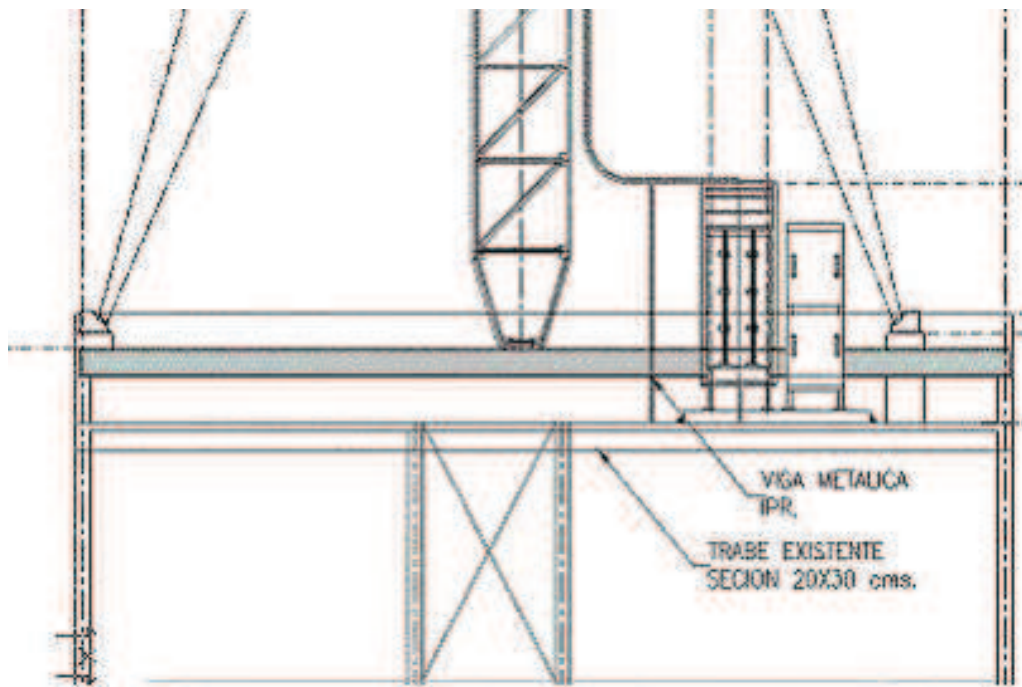


Figura 3.30 Torre arriostrada sobre un edificio.

Si el área donde se va a instalar la torre es un terreno libre de construcciones existentes, entonces la torre puede ser auto soportada o tipo mono polo.

La forma que tiene una torre auto soportada es que en toda la altura está formada por crucetas que van rigidizando su estructura, en cambio el tipo de torre mono-polo es un cilindro que va desde su base hasta la altura total. La diferencia es que la auto-soportada puede alcanzar tres veces la altura de una mono-polo y soportar más peso, pero la tipo mono-polo disminuye diez veces menos el espacio que ocupa en un terreno.

Estas estructuras se instalan en sitios donde se quiere conservar la estética, pues ocupan menos espacio, y se aplica camuflaje para que simule vegetación. Cómo estas

estructuras están sobre terrenos, se deberá de construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de la misma y un ejemplo aparece en la figura 3.31 y 3.32.

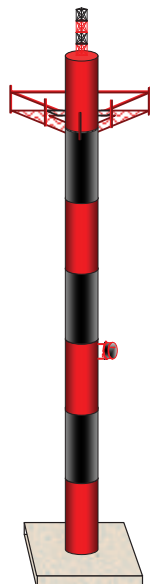


Figura 3.31 Torre Mono polo.



Figura 3.32 Torre mono polo camuflaje de árbol.

La caseta (shelter) es el lugar cerrado dentro del sitio de celda donde se colocan todos los aparatos que tienen problemas al estar en intemperie. La caseta de transmisión de datos es el área dentro del sitio de celda en donde se colocan los equipos que corren mayor peligro cuando el sitio está en operación, esto se utiliza en su mayoría para protegerse del agua. También se utiliza la caseta de transmisión para evitar el contacto directo con cualquier persona que pueda ingresar al sitio de celda, esta se circulará en su totalidad y solo habrá una puerta de acceso para ingresar a la caseta de transmisión. Este equipo posee una cubierta antioxidante en toda la parte superior, pero en la parte inferior puede llegar a tener problemas cuando en el sitio de celda se den amplios gradientes hidráulicos; un ejemplo aparece en la figura 3.33 y 3.34.



Figura 3.33 Caseta para el equipo de radio base.

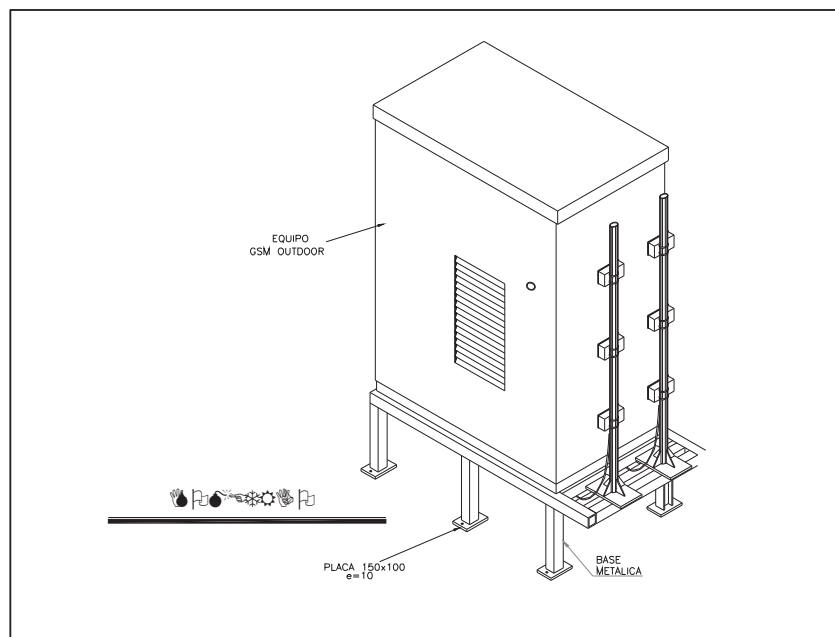


Figura 3.34 Gabinete de equipo exterior.

También hay que considerar el espacio suficiente para una planta generadora de corriente o un banco de baterías, que entra en operación cuando se presente un corte de energía eléctrica.

El motor generador es un equipo el cual provee de energía al sitio cuando este tenga irregularidades con la alimentación principal, funciona con combustible diesel y su función principal es la de apoyar y regular el servicio de alimentación de energía de 220 voltios que se necesitan para tener en operación los aparatos internos del sitio; un ejemplo de planta generadora y tanque de combustible aparece en la figura 3.35 y 3.36.

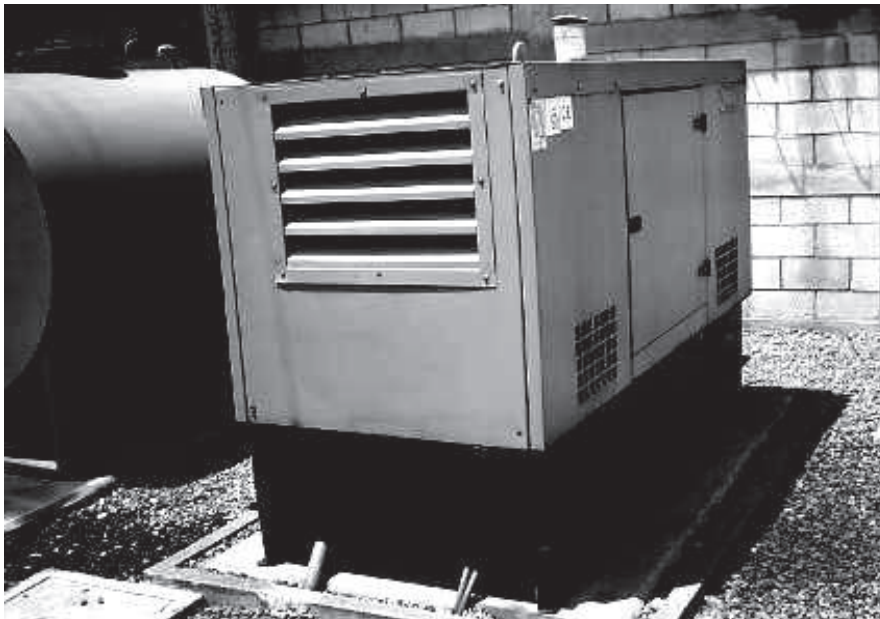


Figura 3.35 Planta generadora.

El tanque de combustible es un contenedor metálico en el cual se guarda el combustible diesel, el cual tiene una duración de un mes y su función principal es la de abastecer de combustible al motor generador mientras esta en operación.

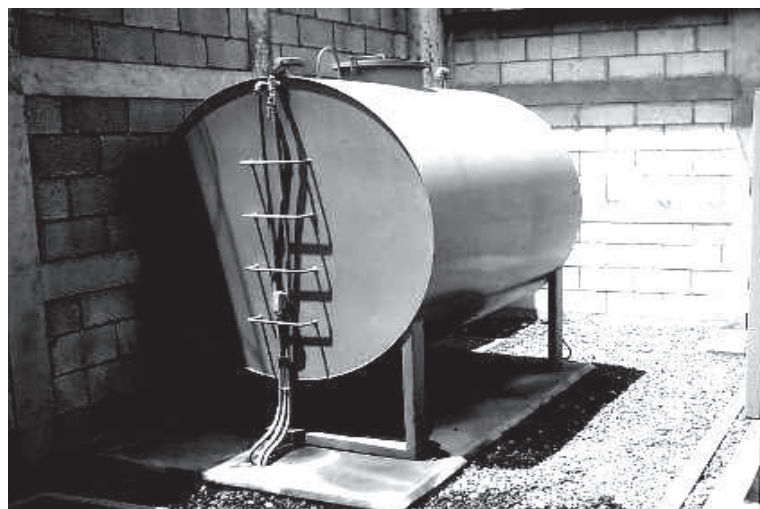


Figura 3.36 Tanque de depósito de combustible.

Otra área involucrada es la de transmisión que es la encargada de los enlaces de microonda, y su trabajo es ver que a que altura pueden ir estos enlaces, es decir, tienen que ver la altura donde se pretende poner la microonda, no tenga ningún tipo de obstáculo. Ya que si no existe línea de vista entre los enlaces de microondas, no hay transmisión de información; un ejemplo de línea de vista se muestra en la figura 3.37.

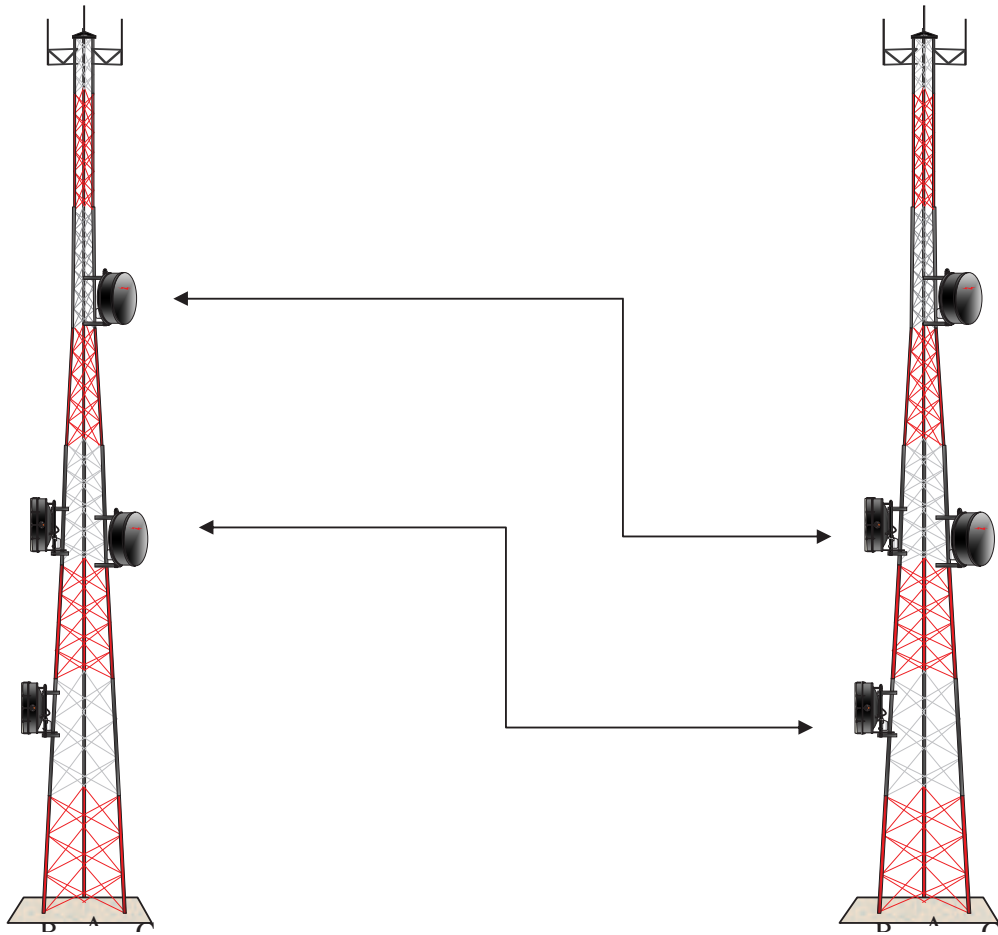


Figura 3.37 Ejemplo de línea de vista.

Cuando los sitios candidatos son evaluados para definir cual es la mejor opción, la gente de adquisición de sitios se encarga de hacer los tramites correspondientes para obtener el sitio deseado y empezar la construcción.

CAPITULO 4 ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA PROBAR LA RED.

4.1 Introducción

Ante de que se lleve a cabo la instalación del equipo o durante la instalación de la radio base de una red celular, se recomienda llevar a cabo algunos procesos o procedimientos para probar el funcionamiento que va a tener dicha red.

Primero, se recomienda tomar en cuenta el equipo necesario para la realización de la pruebas de cobertura de la red, ya que es muy importante que el equipo contenga todo lo necesario para poder observar todos los parámetros de la misma. Además se recomienda probar el equipo transmisor, receptor, antenas, etcétera.

Segundo, se recomienda antes de poner en operación la red hacer la prueba de barrido de frecuencias, la cual consiste en hacer un recorrido por las avenidas principales y cubrir una gran parte de la ciudad donde se va instalar la red celular; con la finalidad de saber si todas las frecuencias asignadas están libres, es decir, que no las estén utilizando otros equipos porque causaría interferencia en la red y además, de que sólo se le conecta a un operador y no debe ser utilizada por otras personas.

Tercero, se recomienda antes de poner en funcionamiento la red celular la realización especial de la prueba del modelo de propagación o de onda continua para hacer la comparación de los niveles de la señal que se va a transmitir con los niveles que fueron calculados, es decir comparar lo práctico con lo teórico.

Cuarto, se recomienda recalcular el valor de la potencia emitida radiada para saber si el valor que aparece en los datos del diseño está correcto.

Quinto, se recomienda probar la inclinación de las antenas en la radio base, para ir haciendo los ajustes que se requieran para su buen funcionamiento. Además se debe de revisar la etiqueta de la antena para ver si los datos coinciden con el diseño.

Sexto, se recomienda realizar un recorrido por la ciudad para hacer una prueba de los servicios.

Séptimo, se hacen unas recomendaciones para hacer el cambio de valor de los parámetros, que es diferente al del diseño de la red.

En la figura 4.1 se muestra un equipo para la realización de todas las pruebas necesarias antes de que empiece a dar servicio la red celular. Existen muchos tipos y marcas de equipos

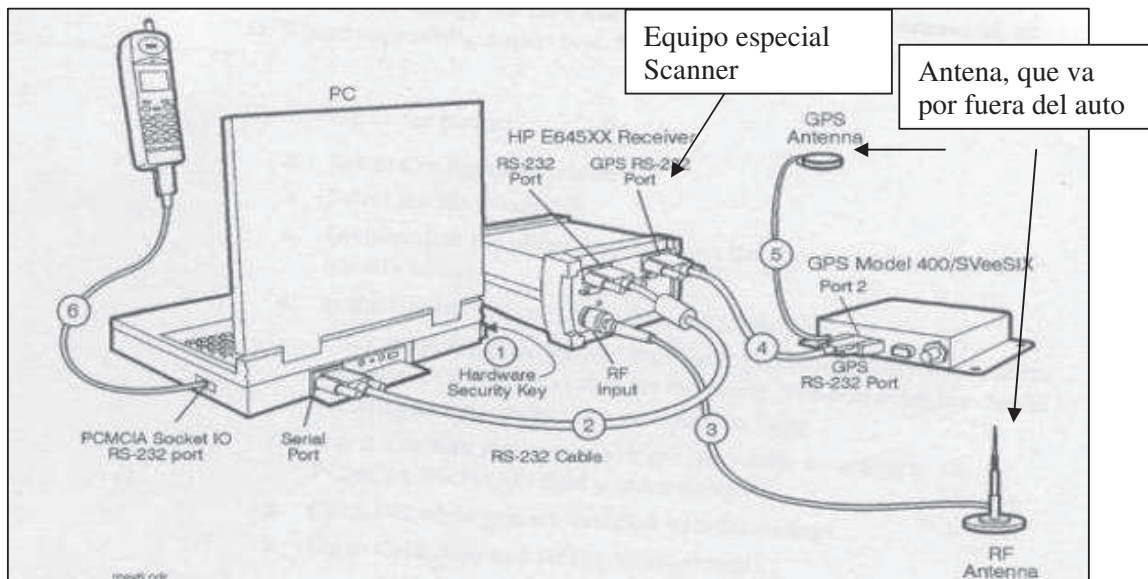


Figura 4.1 Equipo para la prueba de transmisión y recepción.

4.2 Recomendaciones generales

- Maneje el equipo de prueba el Ingeniero responsable.
- Localice el sitio del transmisor de prueba, dentro de las pautas requeridas e identificadas por el Ingeniero.
- Asegure que el espectro de radio frecuencia se ha aclarado en dicha área y la frecuencia de prueba que se va a utilizar no se usa actualmente. Usando el receptor del equipo de prueba, verifique que el espectro está claro por lo menos a 105 dBm.
- Pruebe la funcionalidad y exactitud del transmisor y receptos.
- Pruebe el equipo de recepción para coleccionar la información de onda continua con los parámetros requeridos.
- Asegure que la antena transmisora y la antena de recolectora estén por lo menos separadas a 1m y ponga la antena de recolección al centro del techo del vehículo que se va a emplear en el recorrido de la prueba.
- Configure la antena transmisora a la frecuencia y la potencia de transmisión.

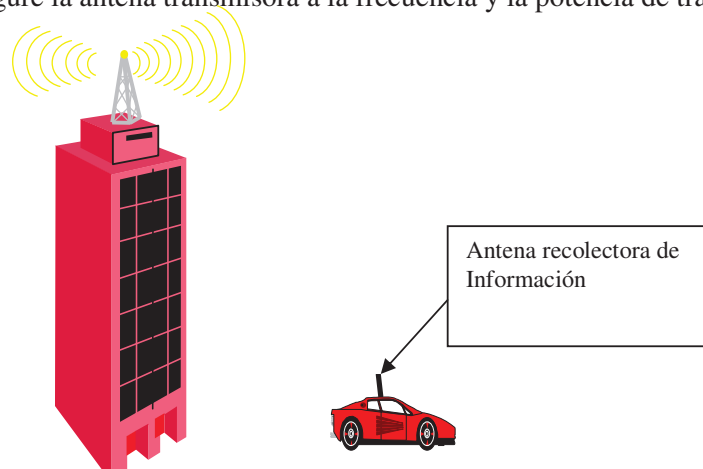


Figura 4.2 Colocación de la antena transmisora y receptora.

4.3 Recomendaciones para hacer la prueba de onda continua.

- Asegure que la antena transmisora este totalmente vertical sobre el edificio, torre o grúa donde se va a Configurar la antena transmisora a la frecuencia y la potencia de transmisión.
- Grabe los parámetros del sitio, es decir, alturas, potencia coordenadas, etc.
- Para compensar la pérdida entre el cable del transmisor y la antena, ajuste el programa PlaNet a una pérdida de -1dB.
- Cargue el archivo de prueba para el sitio de la prueba en el programa PlaNet para que despliegue los niveles señalados.
- Produzca un plano de la señal proporcionada por los datos de la prueba para cada sitio.
- Observe el posicionamiento de los datos de prueba. Si existe un error de cambio constante, entonces se corrigen las coordenadas del archivo y se empieza de nuevo el proceso de análisis. El sistema de las coordenadas usado en los mapas topográficos en México es NAD27 y considerado este hecho con la exactitud de la prueba; el equipo puede esperar algún error de posicionamiento a 50 m.

En la figura 4.3 se muestra cómo esta conectado el equipo dentro de un automóvil para la realización de cualquier tipo de pruebas de la red celular.



Figura 4.3 Equipo instalado para la todo tipo de pruebas.

4.4 Recomendaciones para el barrido de las frecuencias.

El diseñador de la red es responsable de realizar las dimensiones del espectro para las frecuencias que se van a utilizar, determinar si existe interferencia con otros equipos y proporcionar esta información a los responsables; para que ellos a su vez comiencen hacer los tramites necesarios con los involucrados y limpiar la banda correspondiente de frecuencia. Por ello es necesario hacer un barrido de las frecuencias correspondientes.

Existen varias herramientas de diseño y por consiguiente también existen varias marcas de equipos para hacer las pruebas, como es el caso del Hewlett Packard HP 74xx y del TEMS Investigation. La prueba de barrido consiste en revisar que las frecuencias que se van a utilizar en la red se encuentren libre, es decir, que no se están utilizando clandestinamente, por lo que es necesario hacer un barrido para su verificación por toda la ciudad y se diseña una ruta que define la trayectoria del recorrido que cubra todas las avenidas o caminos principales de dicha ciudad, es decir por las áreas designadas como primaras y secundarias del diseño y si es posible también hacer un recorrido por todo el alrededor de las áreas asignadas. Para hacer más claro en que consiste el diseño de una ruta, se presenta la figura 4.4 con las rutas de una ciudad determinada.

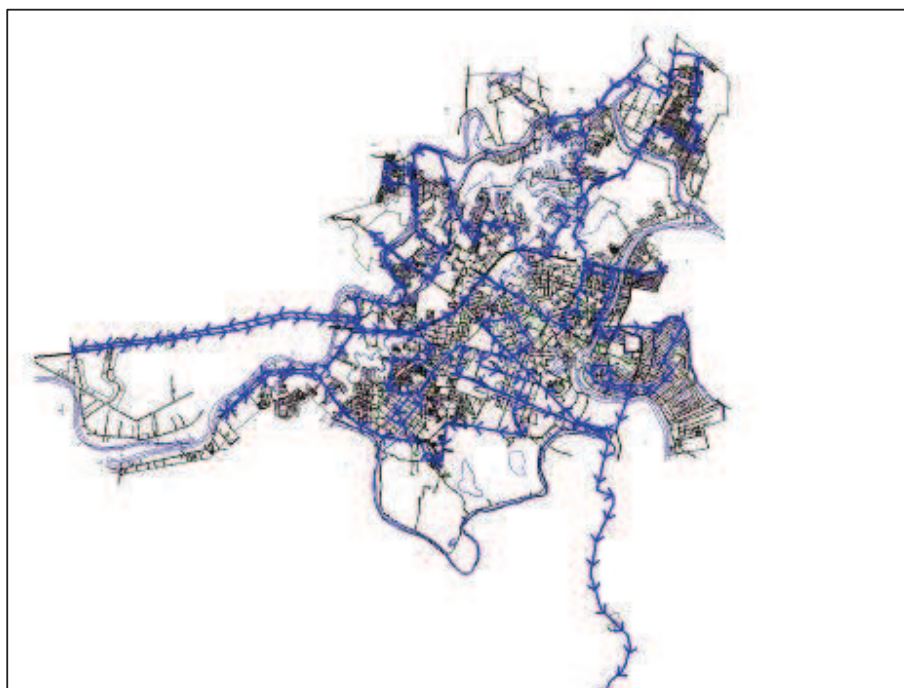


Figura 4.4 Rutas de una ciudad para barrido de frecuencias.

Cuando se esta haciendo el recorrido se observa en la pantalla de la computadora unas barras rojas con las frecuencias que no se están utilizando, mientras que las frecuencias que están en uso se marcan con colores verde y amarillo; dependiendo de la intensidad de la señal. Si esta verde la intensidad de señal es mas fuerte, y esto quiere decir que se encuentra muy cerca de la posición actual, mientras que si es amarillo la intensidad de la señal es leve y por consiguiente, la interferencia esta alejada de la zona.

En la figura 4.5 se ilustran a las frecuencias que se encuentran en uso y las frecuencias que no lo están (frecuencias limpias).

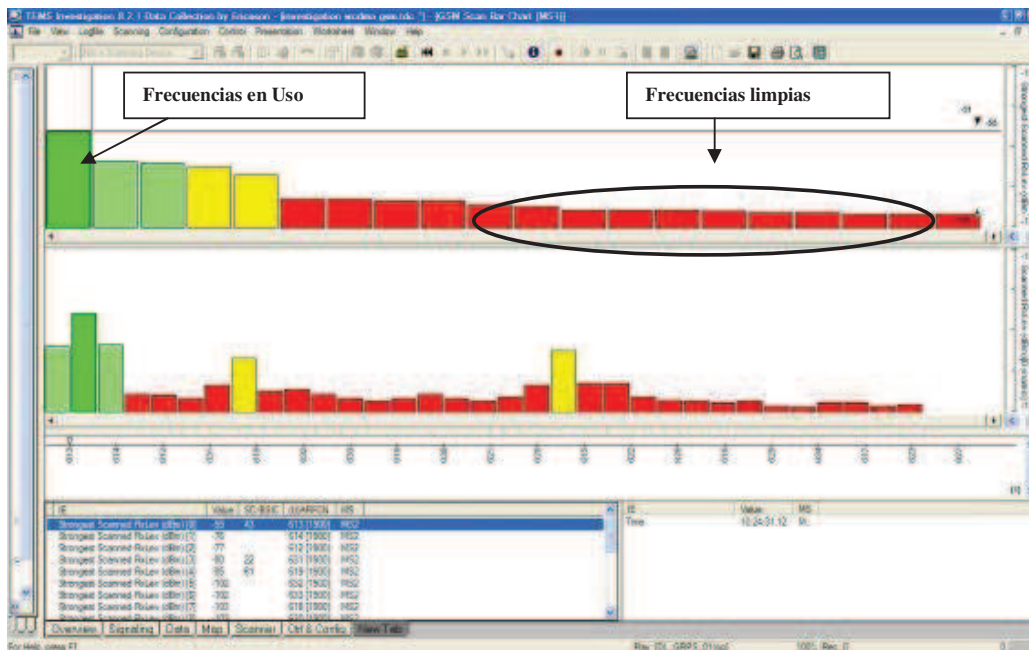


Figura 4.5 Muestra de frecuencias en uso y limpias.

En la parte inferior de la figura 4.5 aparecen canales de la compañía telefónica Movistar con los niveles del escaneo y los canales utilizados y no utilizados.

Se debe presentar un reporte de los resultados obtenidos de la prueba del escaneo con una imagen de cada frecuencia involucrada, con la finalidad de comprobar que se encontró o no algún tipo de interferencia.

En la figura 4.6 se muestra un ejemplo del plano de una ciudad y las rutas marcadas con líneas rojas muestran en donde no se encontró frecuencias utilizadas que puedan ocasionar una interferencia en la comunicación celular.

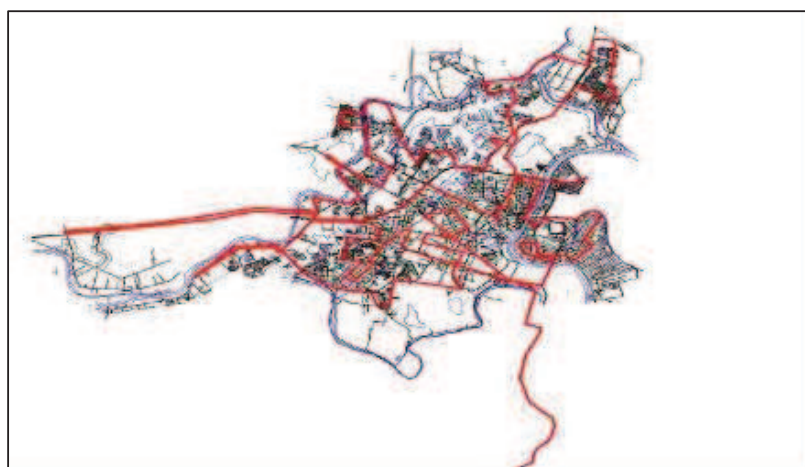


Figura 4.6 Muestra en líneas rojas las rutas con frecuencia limpia.

La figura 4.7 muestra el caso en que se presente algún tipo de interferencia durante el recorrido, el reporte presenta dos puntos de color verde donde hay alguien que esta usando la frecuencia. Recordemos que no debe de haber alguien que este ocupando alguna frecuencia designada para evitar interferencias.

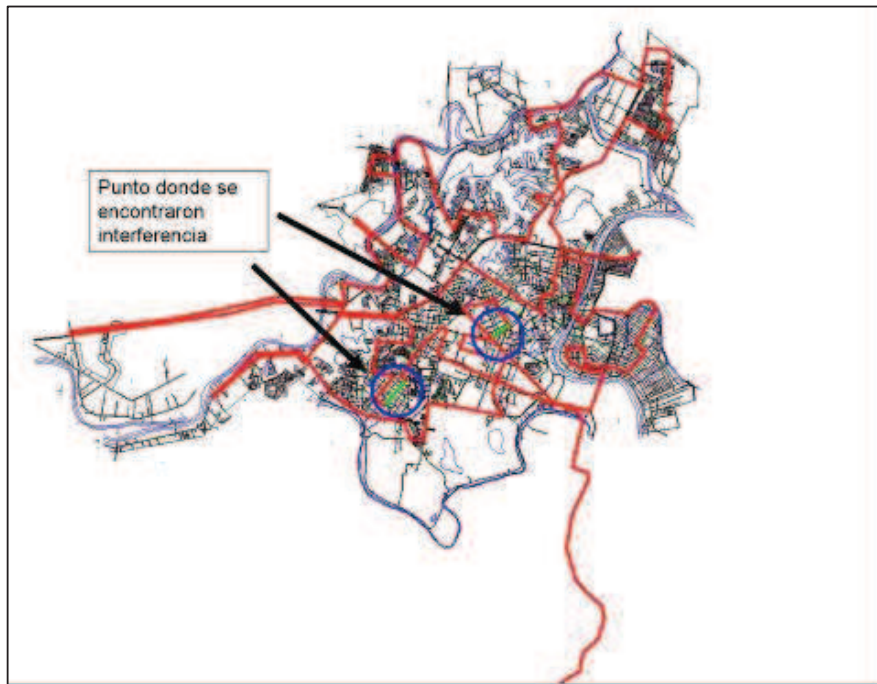


Figura 4.7 Dos puntos verdes con interferencia.

En la figura 4.8 se presenta solamente el primer punto verde amplificado para su mayor comprensión, en donde en la figura **a**, se presenta la zona de interés con las calles que la forman y en la figura **b** aparece sin calles para que se vea mejor la zona.



Figura 4.8 Primer punto verde de interferencia. a) Zona de interferencia con calles. b) Zona de interferencia sin calles para que se aprecie mejor la zona.

En la figura 4.9 se presenta al segundo punto verde de interferencia de manera ampliada. La imagen de la figura **a**, presenta la zonas de interferencia completa con las calles que la forman, pero como no es muy visible se presentan la figura **b**, sin calles y que se conoce como traza o mapa de zona con interferencia.



(a)

(b)

Figura 4.9 Segundo punto verde de interferencia. a) Zona con calles. b) Zona sin calles.

Al presentarse una interferencia es recomendable anotar el valor que tienen las frecuencias (estos aparecen en la pantalla de la computadora que se muestra en la figura 4.5), ubicar a la zona de interferencia (esta aparece en la figura 4.8 y 4.9) y buscar el equipo de radio frecuencia que esta originando la interferencia. Se puede utilizar un analizador de espectro convencional para que proporcione alguna muestra de la posible fuente de interferencia, indicando la banda y el canal de la interferencia.

Después de realizar el barrido de las frecuencias, se recomienda hacer un resumen de las dimensiones del espectro, un informe que incluya la posible fuente (si es que se encontró) que origina las interferencias.

4.5 Recomendación del modelo de propagación

El modelo que se recomienda emplear para determinar a la propagación de la señal que se va a transmitir es el que planteo el señor Okumura en una ecuación matemática, la cual considera a los modelos de la morfología de la zona (denso urbano, urbano, etc.), difracción, desplazamiento, etc. que pueden ocasionar pérdidas en el camino.

Dicha ecuación esta planteada de la manera siguiente:

$$PRx = PTx * -K1 - K2 \log(d) + K3 \log(H_{eff}) + K5 \log(h_{eff}) \log(d) - K4 * \text{Difracción} + K6 * h_{eff} + \text{clutter}$$

Donde los valores que vienen programados por el fabricante son los siguientes:

K1 = -58.6 (cerca), 0.5 (lejos)	El modificador para el desplazamiento PTx.
K2 = -17 (cerca), -34(lejos)	El modificador para el Log (d).

K3 = 14	El modificador para el Log (Heff).
K4 = 0.5	El modificador para la difracción.
K5 = -1.9	El Modificador para el Log (heft)Log(d).
K6 = 0.0	El modificador para Hmeff+clutter.

La Figura 4.10 muestra una gráfica para ver de una manera mas clara como se va desvaneciendo (disminuyendo el valor de la potencia que tiene la señal recibida) la señal recibida, conforme se va incrementando los Km de distancia del lugar (site) de la transmisión.

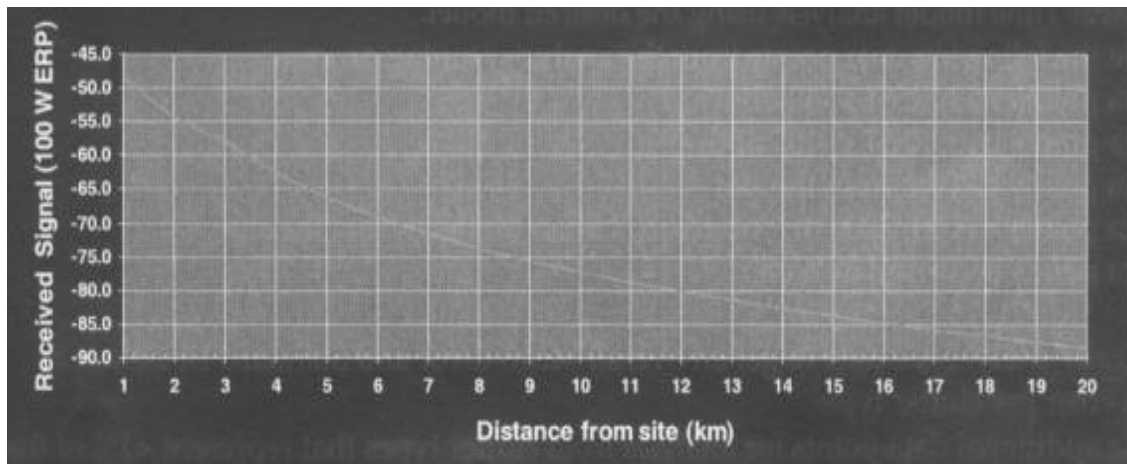


Figura 4.10. Grafica de desvanecimiento de la señal.

La tabla 4.1 muestra algunos valores que se pueden obtener para los factores de atenuación en diferentes tipos de zonas.

Denso Urbano	-31 dB
Urbano	-29 dB
Comercial	-28 dB
Residencial con los árboles	-26 dB
Residencial algunos árbol	-24 dB
Urbano abierta	-22 dB
Áreas abiertas	-20 dB
Bosque	-29 dB
Industrial	-28 dB
Bloqueo de edificios	-30 dB

Tabla 4.1 Tabla de atenuación en diferentes zonas.

4.6 Recomendación para la potencia emitida radiada.

Se recomienda comprobar el valor que se tiene para la potencia emitida radiada (ERP) y resulta muy sencillo recalcularlo porque ya existen programas que realizan este cálculo. En dichos programas solo basta colocar a los valores de los parámetros que intervienen en la potencia de la señal, como es el caso de: los metros de longitud de la línea de transmisión que conecta a la antena con el equipo transmisor, los metros de longitud del cable pequeño (jumper) que se emplea para interconectar al equipo transmisor con el equipo conmutador de las llamadas, el grosor que tiene la línea de transmisión en pulgadas y el valor de la ganancia que tiene la antena en dBm.

Una vez que se anotan en el esquema de programación los valores que tienen los parámetros de operación para la potencia emitida, se presenta en la parte superior derecha el valor de los niveles de potencia que resulta del cálculo en dBm y en Watts.

Por lo regular, el sitio o radio base se calcula para que pueda transmitir a su máxima potencia.

En la figura 4.11 se muestra la manera para calcular el valor de la potencia emitida, en donde solo basta poner los valores correspondientes de cada una de las casillas indicadas en color azul e iniciando de abajo hacia arriba. En primer lugar se anota el valor de la longitud del cable (Jumper) en metros (m) y que puede ser por ejemplo de 2.00. En segundo lugar el valor de la longitud de la línea de transmisión en metros (m) y que puede ser por ejemplo de 45.00. El tercer dato es el tipo de grosor que tiene la línea de transmisión (a cada tipo le corresponde un dígito, por ejemplo el dígito 7 es para el tipo de grosor LDF de 7/8 de pulgada). Por último, se anota el valor de la ganancia que tiene la antena que se instaló, este dato viene en la etiqueta de la antena y que puede ser por ejemplo de 16.50 dBm y 36.1 Watts.

El transmisor que genera la energía de la señal para entregarla a la antena generalmente está ubicado dentro de una cabina y el enlace entre ambos se hace a través de la línea de transmisión. Por esta razón dicha línea tiene un papel muy importante en la red celular, que es mantener la integridad de la señal en una comunicación.

1900 BTS PILOT POWER CALCULATIONS

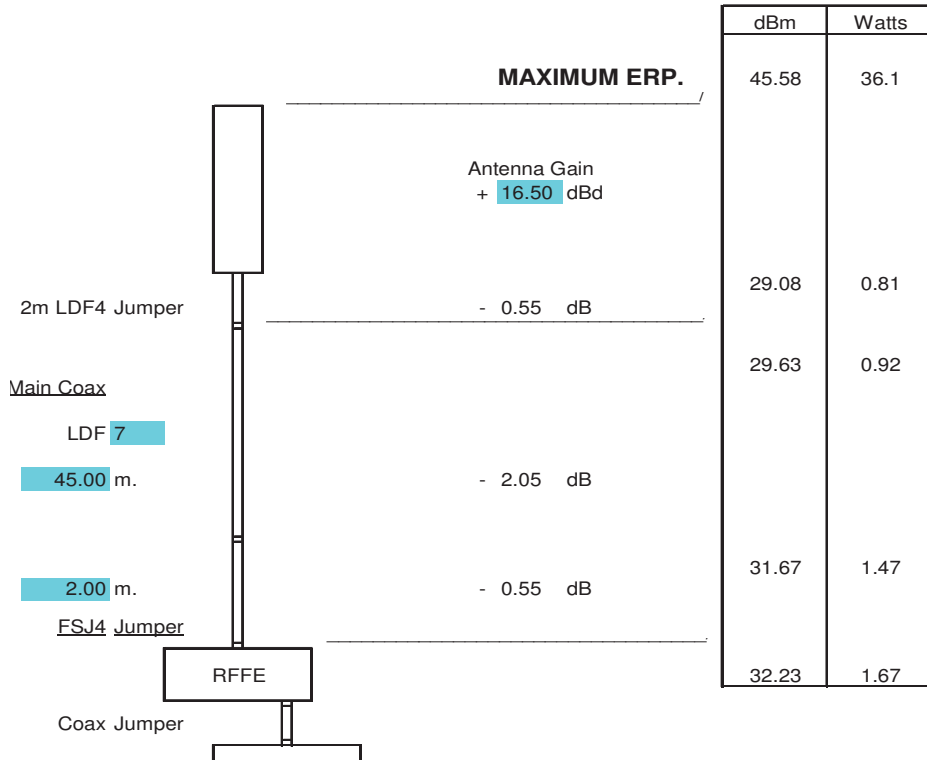


Figura 4.11 Manera de calcular el valor de la potencia.

Básicamente una línea de transmisión es un cable coaxial que tiene un conductor central recubierto por un material denominado dieléctrico, o simplemente aislante. El dieléctrico se recubre con una pantalla conductora envolvente a menudo en forma de malla. Este material evita una conexión eléctrica entre el conductor central y la pantalla. Todo el cable coaxial está protegido por un recubrimiento de PVC para que el conductor y la pantalla que transportan a la señal eviten que sea radiada a la atmósfera; así como impedir que posibles señales externas interfieran. Otro hecho interesante es que las señales eléctricas de alta frecuencia siempre viajan a lo largo de la capa exterior del conductor central, cuando mas grande el conductor central, mejor va a ser el flujo de la señal.

La figura 4.12 muestra a los dos tipos de grosores que existen para una línea de transmisión, los cuales son el DLF7 y DLF5.

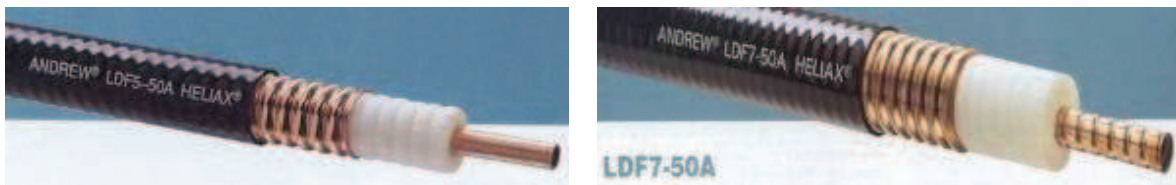
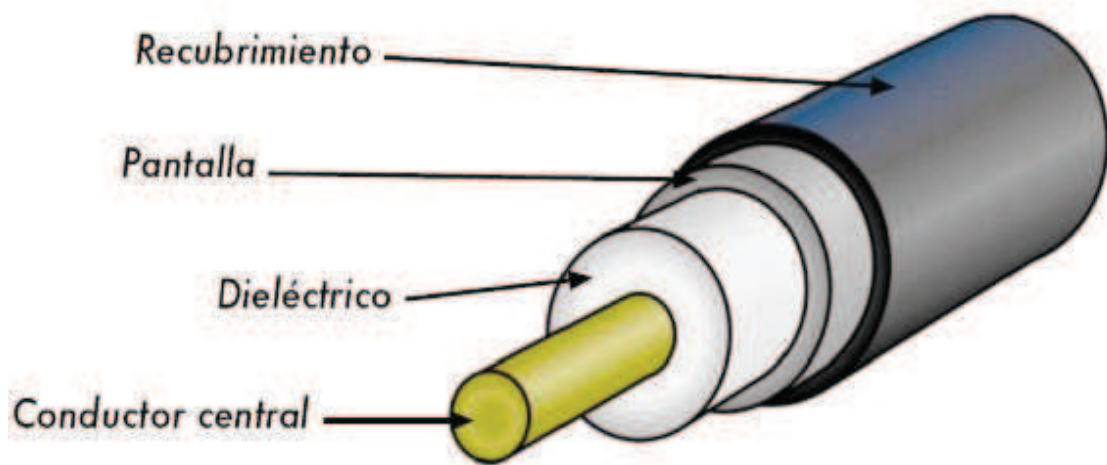


Figura 4.12 Líneas de transmisión de LDF7 (7/8") y LDF5 (1 1/4").

A pesar de que la construcción del cable coaxial es muy buena para contener la señal en el cable, presenta algo de resistencia al flujo eléctrico: a medida que la señal viaja a través del cable disminuye su intensidad. Este debilitamiento es conocido como atenuación y para las líneas de transmisión se mide en decibels por metro (dBm/m). El coeficiente de atenuación es una función de la frecuencia y la construcción física del cable. Si se incrementa la frecuencia de la señal, también lo hace su atenuación y obviamente se necesita minimizar la atenuación del cable cuando más nos sea posible; lo que puede hacerse mediante la utilización de cables muy cortos y de buena calidad.

El otro cable coaxial que se emplea es el de interfaz denominado Jumper, es cual es más pequeño y con un grosor de media pulgada. Van dos por cada línea de transmisión, uno del lado de la antena y otro al lado del equipo; dichos cables deben ir bien unidos por conectores especiales para que no existan atenuaciones.

En la figura 4.13 se muestra al cable jumper, su unión y a dos tipos de conectores especiales.



Figura 4.13 Cable jumper con sus conectores.

En la actualidad, para sitios de tercera generación se está sustituyendo el cable coaxial de la línea de transmisión por cable de fibra óptica y cada fabricante de la línea de transmisión tiene que proporcionar los niveles de atenuación que tiene la línea por cada cantidad de longitud, para obtener el valor de pérdida en el coaxial.

4.7 Recomendaciones para las antenas.

Antes de realizar pruebas de cobertura general y de los servicios de la radio base es recomendable que en el sitio de la radio base se realice en las antenas las revisiones siguientes:

1. Inclinación mecánica de las antenas hacia abajo y hacia arriba. Esta revisión se lleva a cabo por una persona que se sube por la torre y por medio de un equipo llamado inclinómetro digital o analógico; se puede medir la inclinación de cada una de las antenas. El valor que aparece en el inclinómetro, se compara con el que se indica en el diseño para ver si lo cumple. En caso de que no sea así, se debe de hacer la corrección.



Figura 4.14 Medición de la inclinación mecánica.

El ajuste para la inclinación mecánica de una antena se realiza por medio de dos abrazaderas (bracket) que cada antena tiene, una en su parte superior y otra en su parte inferior. El ajuste se hace abriendo o cerrando a la abrazadera para darle la inclinación que se requiere. En la figura 4.15 se muestra a la abrazadera superior de la antena, la cual permite un ajuste mecánico de su inclinación



Figura 4.15 Abrazadera superior de la antena para su inclinación.

2. Se debe de verificar la inclinación correcta de las antenas. Las antenas llegan sin inclinación de fabrica, por lo que al ser instaladas se prueba que dicha inclinación es la correcta y de no ser así existe una perilla para poder variar la inclinación. En la figura 4.16 aparece un tipo de perilla.



Figura 4.16 Tipo de perilla para dar inclinación a una antena.

Como existen varios fabricantes de antenas, cada una de ellas presenta una forma eléctrica o mecánica de variar la inclinación para su orientación. En la figura 4.17 se muestra a otro tipo de perilla que se emplea para la inclinación correcta de la antena.



Figura 4.17 Otro tipo de perilla para dar inclinación a una antena.

3. Se debe de leer la etiqueta de la antena para verificar la marca, número de serie, tipo, valor de la frecuencia y potencia de la antena; antes de instalarla porque un tipo diferente de antena al requerido en el diseño, puede afectar la cobertura. En la figura 4.18 y 4.19 aparecen dos tipos de etiquetas con los datos del fabricante para las antenas.



Figura 4.18 Etiqueta de la compañía Antel.



Figura 4.19 Etiqueta del fabricante Kathrein.

4. Cuando las antenas están a más de 50 metros de altura, se deben de conectar con una línea de transmisión más gruesa, para que existan menos pérdidas. La línea que se recomienda es la ANDREW LDF7-50 y se muestra en la figura 4.20.



Figura 4.20 Tipo ANDREW LDF7-50A de una línea de transmisión.

5. La altura de las antenas puede estar en la parte superior o intermedia de la torre, según el diseño de la red. En la figura 4.21 y 4.22 se muestran dichas alturas.



Figura 4.21 Antenas instaladas en lo más alto de la torre.



Figura 4.22. Instalación de las antenas en la parte media de la torre.

6. Las antenas no deben de estar sesgadas ni inclinadas y deben de estar en forma paralela una con otra. El azimut de las antenas, es decir las orientaciones deben de estar con respecto al norte y se mide con una brújula. En la figura 4.23 aparece la instalación paralela de las antenas y en la figura 4.24 se muestra la orientación de la antena para el sector 1 (22°), para el sector 2 (174°) y para el sector 3 (247°) con respecto al norte.



Figura 4.23 Antenas instaladas paralelamente.

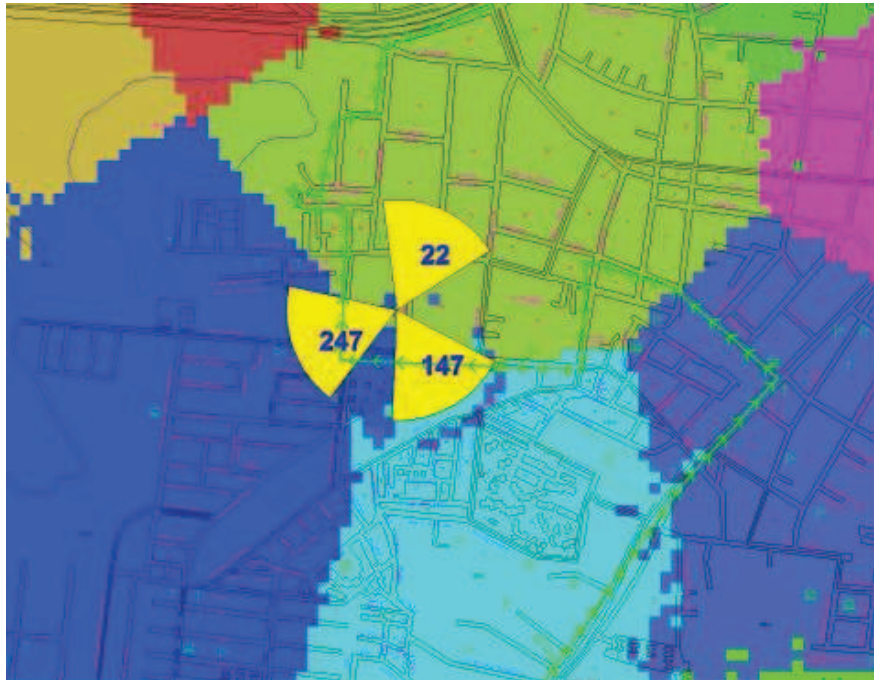


Figura 4.24 Orientación de las antenas.

7. La abrazadera que sirve para fijar a la antena con la torre, esta instalada en la parte superior e inferior de la antena, además dicha abrazadera se puede mover para darle inclinación mecánica a la antena y ajustarla en su posición correcta. En la figura 4.25 y 4.26 se muestra a dicha abrazadera sujetando a una antena en la torre.



Figura 4.25 Abrazadera superior de la antena.



Figura 4.26 Abrazadera inferior de la antena.

Se recomienda hacer un informe resaltando los faltantes de la instalación y hacer un recorrido alrededor del sitio para verificar que los servicios instalados (llamadas, datos, video y llamada para 3G) no presenten problemas, por existir sectores cruzados, es decir que cada sector transmita en la dirección correcta, ya que algunas veces al momento de instalar la antena, esta se recorre de su posición original. En la figura 4.27 se muestran a los sectores PN167 y PN169 cruzados. En la figura 4.28 no aparecen sectores con cruzados.



Figuras 4.27 Esta cruzado el sector PN 167 con el PN 169.

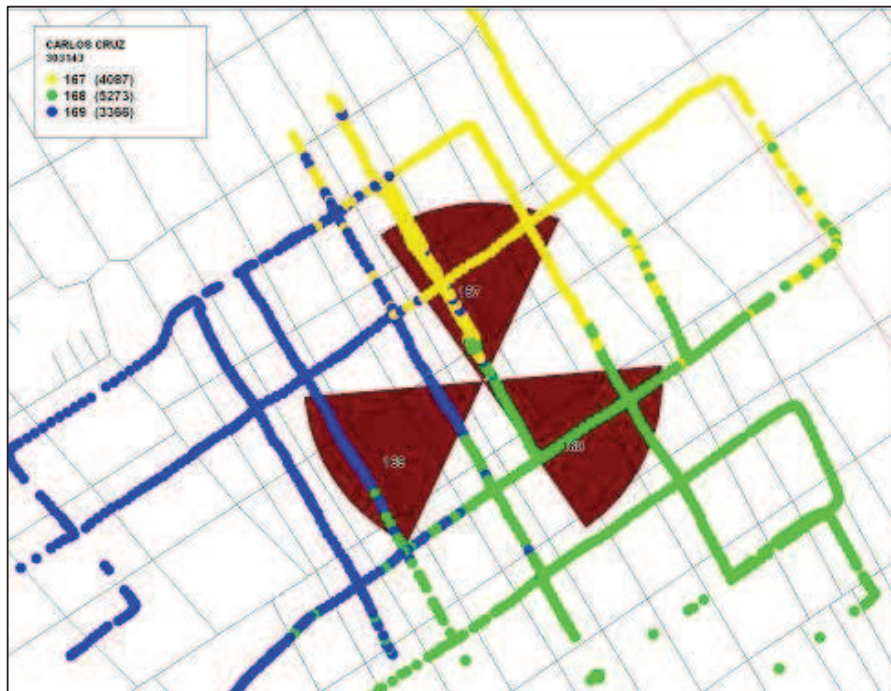


Figura 4.28 No existe cruzamiento de los sectores.

Después de la revisión de los sitios, en donde se verificó y corrigió los posibles errores en la instalación de las antenas y con la seguridad que todos los parámetros de operación están de acuerdo al diseño de la red; se procede a la realización de las pruebas de los servicios (drive tests). En cada ciudad se hace una división de zonas y en cada zona se trazan rutas de recorrido para la recolección de la información; en la figura 4.29 se muestran 3 zonas y en la figura 3.30 aparecen las rutas de la zona 1.



Figura 4.29 División de la ciudad en 3 zonas para la prueba.

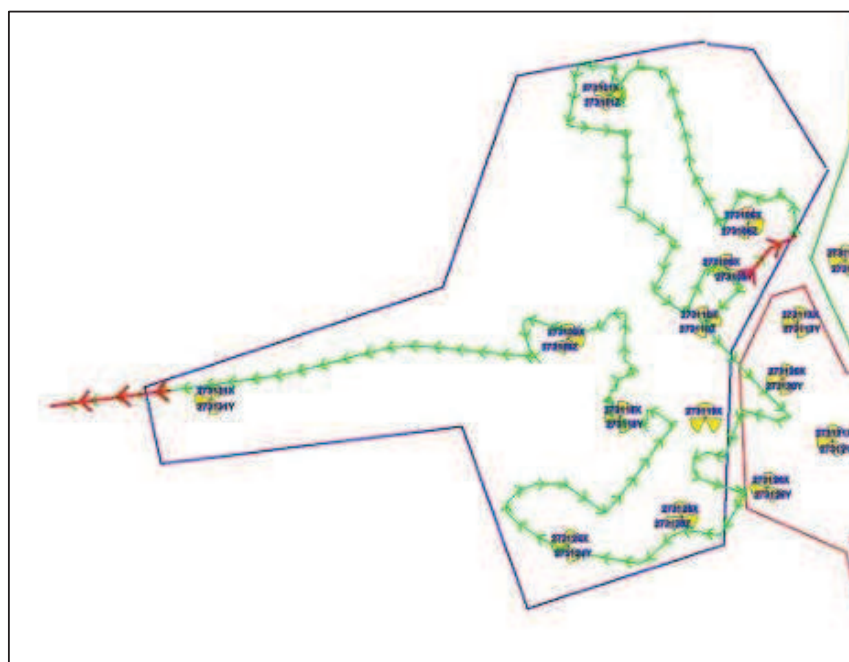


Figura 4.30 Ruta de la zona 1 para la prueba.

4.8 Recomendaciones para la prueba de los servicios

Para realizar las pruebas de los servicios se emplea un auto para el recorrido y la computadora donde esta instalado el programa para hacer la recolecta de información; las recomendaciones son las siguientes:

1. Verifique que los datos tienen sólo un indicador de intensidad de señal del canal recibido, se valoraran los datos en cada par de coordenadas de latitud y longitud para el caso en que el vehículo esta detenido y cuando esta en movimiento. Si los datos tienen variaciones mayores del 10 %, se debe de hacer un promedio usando Excel.
2. Asegure que los datos para todos los sitios están cargados en el programa y que los sitios de la prueba contengan los tipos de la morfología de la zona. Los parámetros del plan de frecuencias preliminar se requieren para el banco de datos para la ciudad específica.

En la tabla 4.2 se muestran a los valores que tienen los parámetros del equipo de la radio base y que son proporcionados por el fabricante.

Parámetro	Valor por de faul o Valor Recomendado
Canal o frecuencia en la BTS	XX
Identificación de la BTS	XXX Y dónde XXX es el número del sitio y Y es el número del sector
Pilot PN	PN por el sector, según el plan de RF
Incremento de Pilot PN	Puede se de uno en uno, de 2 en 2, según el plan de RF
Tipo de célula	Célula Normal (otras opciones son las células frontera , célula-célula)
Objetivo fronterizo de la Lista de Identificación Base	N/A (sólo si el tipo célula = Célula Frontera)
Objetivo del Mercado del fronterizo de identificación (SID)	N/A (sólo si el tipo célula = Célula Frontera)
Número de Interruptor de Blanco fronterizo Border Target Switch Number	N/A (sólo si el tipo celular = Frontera celular)
Lista de Vecinos	XXX_Y estructuran, según el plan de RF
Min piloto para la relación de potencia total	-202
Bloqueo de Handoff	0
Bloqueo de llamadas en Umbral	22000
Ganancia del piloto	148
Ganancia de la sincronización	60
Ganancia de Paging	124

Tabla 4.2 Valores de parámetros.

3. Se deben de excluir a los datos siguientes del proceso del análisis:

- Los datos con RSSI > -40dBm
- Los datos con RSSI < -105 dBm
- Los datos < 200m del sitio
- Los datos >6000/3000m (modelo urbano y suburbano) del sitio
- Los datos ocurridos en lluvia
- Los datos de los tipos de zonas que representan < 1% del número total de puntos de los datos.

Todo lo anterior se puede expresar de forma grafica por medio de un plano de los datos recolectados y los niveles de señal que se obtuvieron durante la prueba. Dicho plano aparece en la figura 4.31.

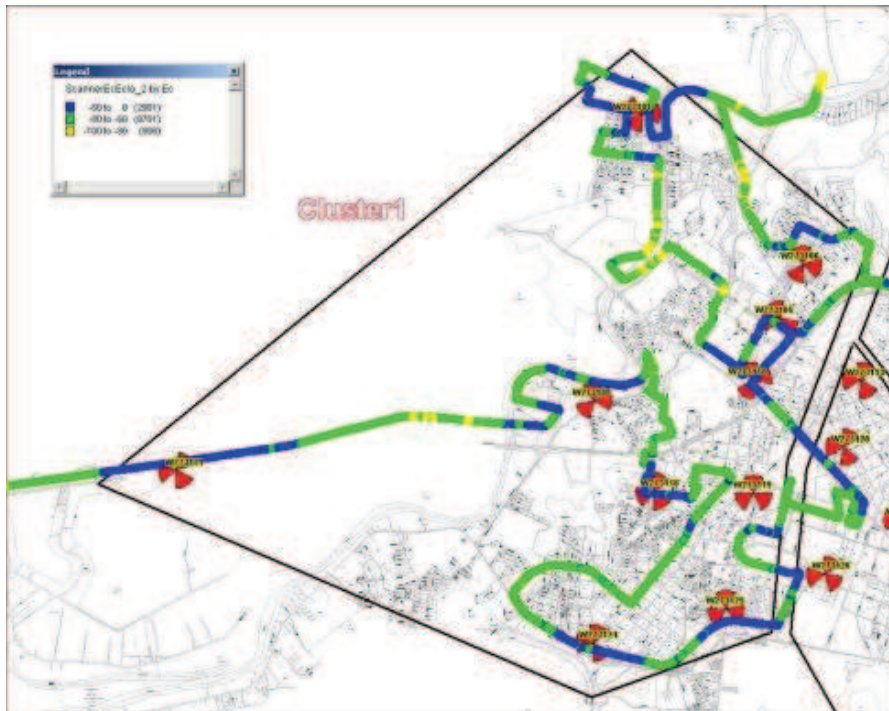


Figura 4.31 Plano con niveles de cobertura.

4. Se hace una ruta de prueba como la que aparece en la figura 4.32. Primero se hace el recorrido por una zona y mientras se hace el procesamiento o filtro de los datos recopilados, se hace un análisis de la misma información. Después se hace el recorrido por otra zona repitiendo la secuencia.

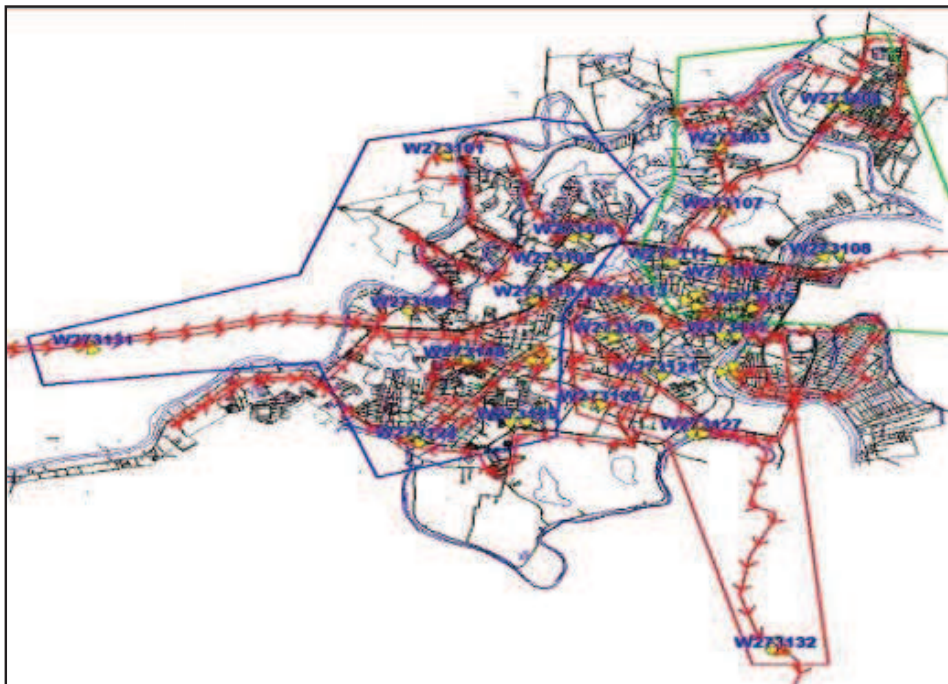


Figura 4.32 Ruta de la prueba.

5. Una vez que se han realizado los recorridos en todas las zonas es necesario hacer un recorrido por toda la ciudad, para anotar a los niveles de cobertura que se encontraron y para lo cual también es necesario crear rutas de prueba para la ciudad. En la figura 4.33 se muestra a las rutas de una ciudad.

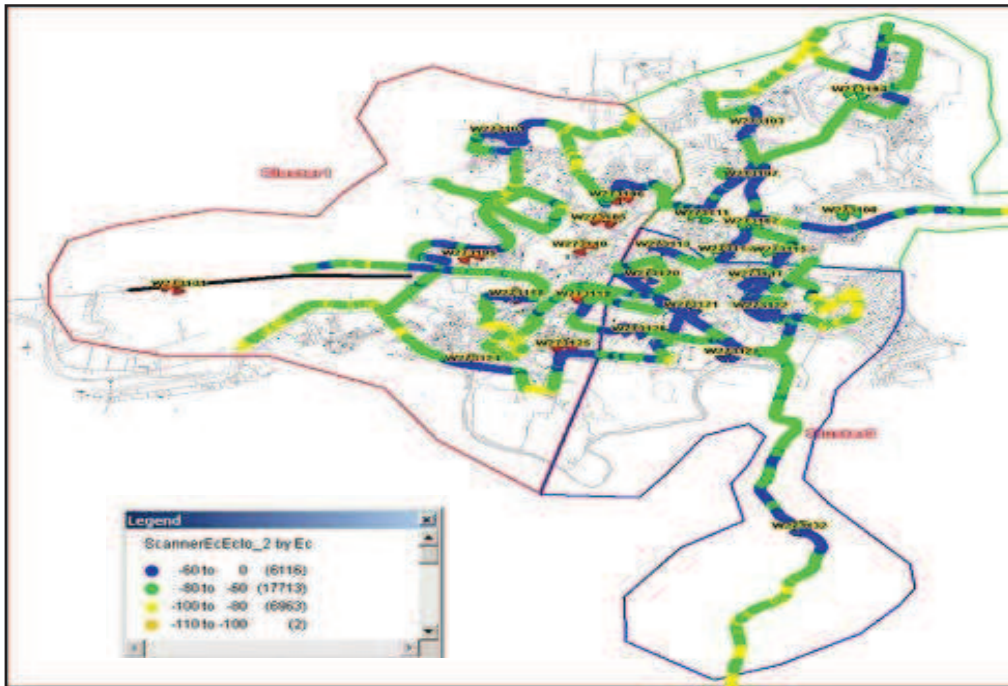


Figura 4.33 Rutas de la ciudad con los niveles de cobertura.

4.9 Recomendaciones para el cambio de parámetros

En la mayoría de las veces, cuando se realizan las pruebas en cada una de las zonas y también al momento de la ejecución del recorrido de toda la ciudad en cuestión; se presentan problemas de cobertura, servicios y de llamadas caídas.

Es decir hay problemas en la red de diferentes índoles, por lo cual hay que corregir a dichos problemas, por medio de cambiar el valor de los parámetros que originan a dichos problemas en el programa llamado PlaNet o haciendo cambios físicos en las componentes de la red.

En la figura 4.34 se muestra un plano con las rutas que tienen algún tipo de problema.

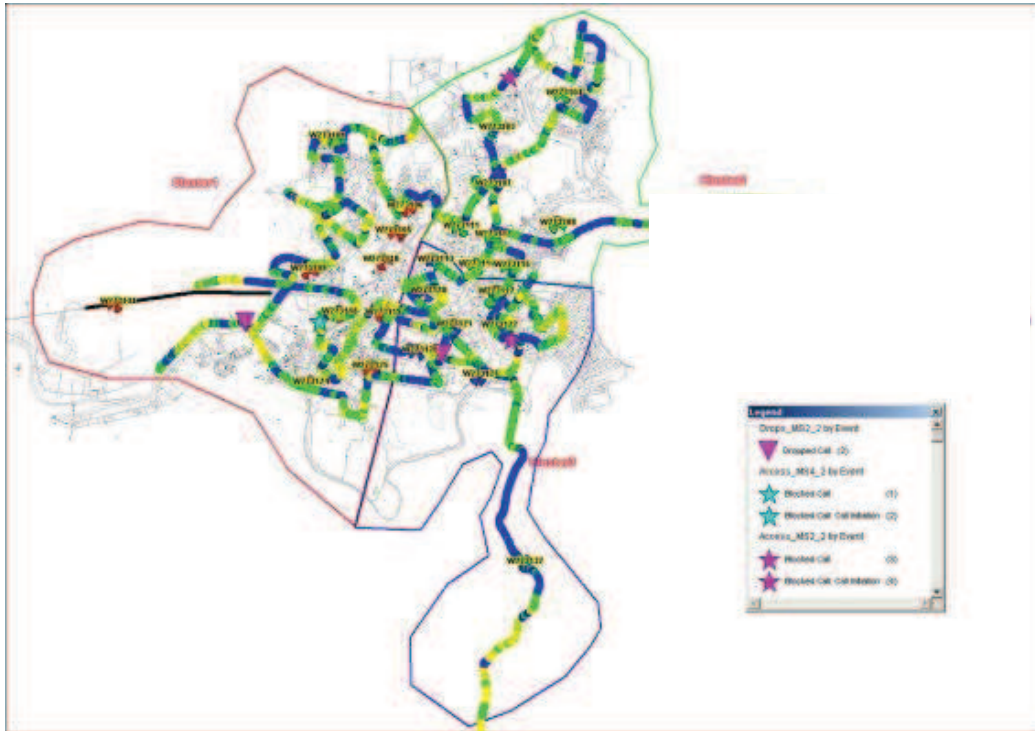


Figura 3.34 Rutas con algún tipo de problema.

Los cambios físicos más comunes son:

- Mover inclinaciones mecánicas y eléctricas de las antenas.
- Mover orientaciones de las antenas.
- Cambios del tipo de antena.
- Cambio de altura de las antenas.

Los cambios a nivel de software más comunes son:

- Cambio del valor de una frecuencia.
- Cambio de los datos para los usuarios.
- Cambio de los dato en la radio base.

Los primeros parámetros que se recomiendan cambiar para corregir algún problema que se presenta en la red, son los parámetros físicos y estos pueden ser los siguientes:

1. Mover la inclinación de la antena, es decir, aumentar o quitar uno o más grados moviendo la perilla de la antena para acrecentar o disminuir su inclinación.

En la figura 4.35 se muestra la recomendación para colocar la regla que permite ver la variación de los grados de inclinación de una antena



Figura 4.35 Regla para ver la variación de inclinación.

2. Mover la inclinación de la antena abriendo o cerrando las abrazaderas que sujetan a la antena.

En la figura 3.36 se muestra la recomendación para mover a la abrazadera superior de la antena, la cual permite variar a la inclinación mecánica que tiene la antena.



Figura 4.36 Abrazadera superior para la inclinación de la antena.

3. Por lo regular, con los cambios anteriores se corrige el problema y si por alguna razón no se esta cubriendo bien la zona se debe de hacer un cambio de la de antena; por

una que tenga un ángulo de apertura más grande o mas pequeño, ya que para cubrir un área en específico, como puede ser una carretera solo se requiere una cobertura en una cierta dirección o mas pequeña. En la figura 4.37 y 4.378 se muestran a otros 2 tipos de antenas diferentes que se pueden usar para el reemplazo.

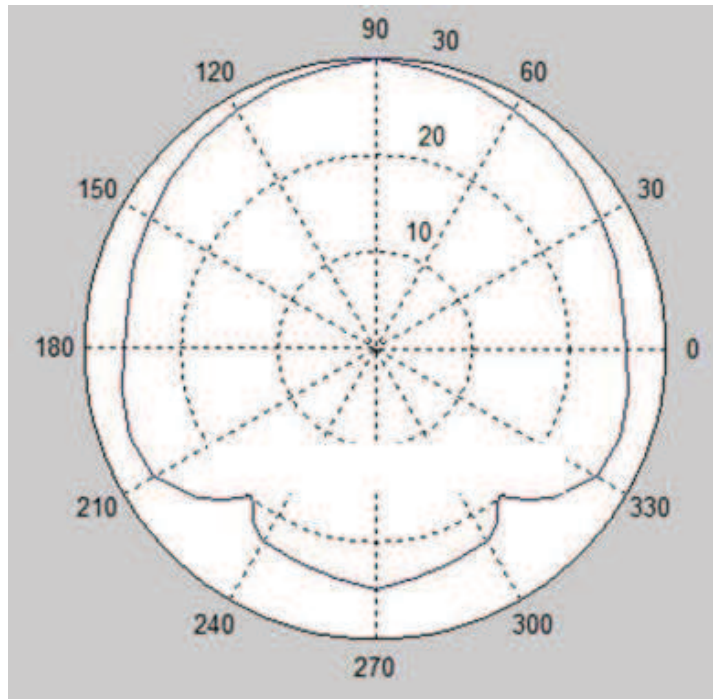


Figura 4.37 Antena con un ángulo de 180 grados de apertura.

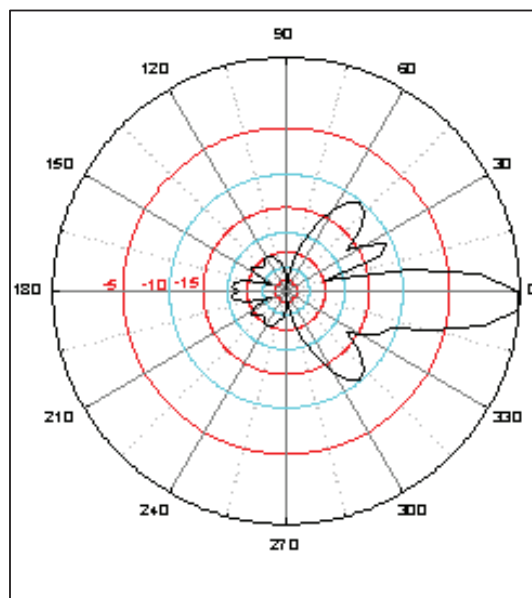


Figura 4.38 Antena con lóbulo de menor cobertura.

Si la cobertura en la línea de vista esta afectada por una obstrucción, lo más recomendable es la reubicación de la antena para que libere el obstáculo. En la figura 4.39 aparece una antena que ha sido desplazada hacia la parte derecha para librar a un obstáculo.



Figura 4.39 Reubicación de una antena.

4. Las vecindades o vecinos son muy importante dentro de la red celular, ya que la declaración o definición de estas dentro de los sitios de la red, determina el correcto funcionamiento de una llamada de un sitio a otro y si no esta bien definida puede ocasionar que la llamada se caiga. También si se colocan vecindades de más causa problemas en la red y estos problemas solo son detectados por medio de las pruebas de los servicios.

En la figura 3.40 se muestra a una serie de sitios con su respectivo nombre para hacer un análisis de la vecindad entre sitios y la declaración de vecinos para que una llamada se mantenga por todo el recorrido de la zona de cobertura. El sitio que se considera para el ejemplo es el llamado W27313-142 que se encuentra señalado con un círculo.

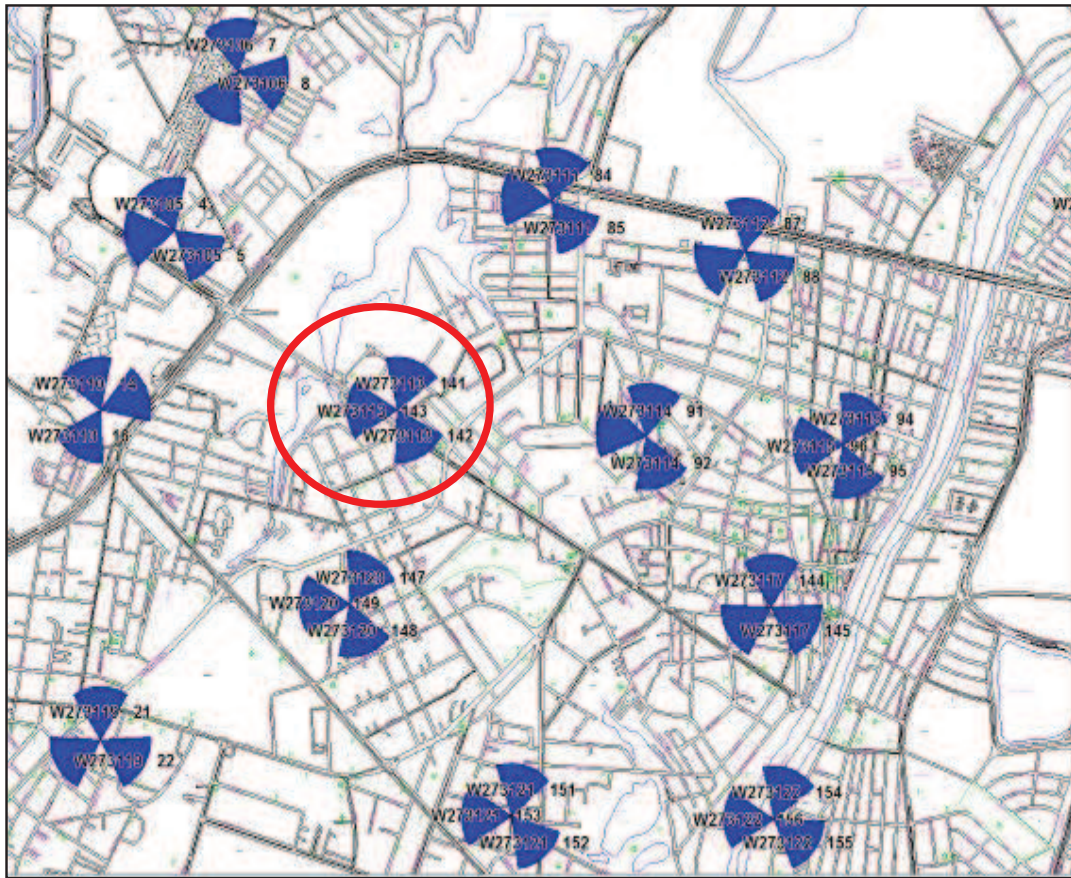


Figura 4.40 Sitios de una red W27313-142.

El sitio que tiene el sector W273113 con el piloto 142, aparentemente solo se tendría que declarar con sus vecindades de los sitios: W273120 piloto 147, W27314 piloto 93 y W27314 piloto 92; dejando fuera u omitir a los sectores W273121- 151 y al W273117-146.

En la figura 4.41 se muestra el sitio W273113- 142 en color verde y sus vecinos en color azul

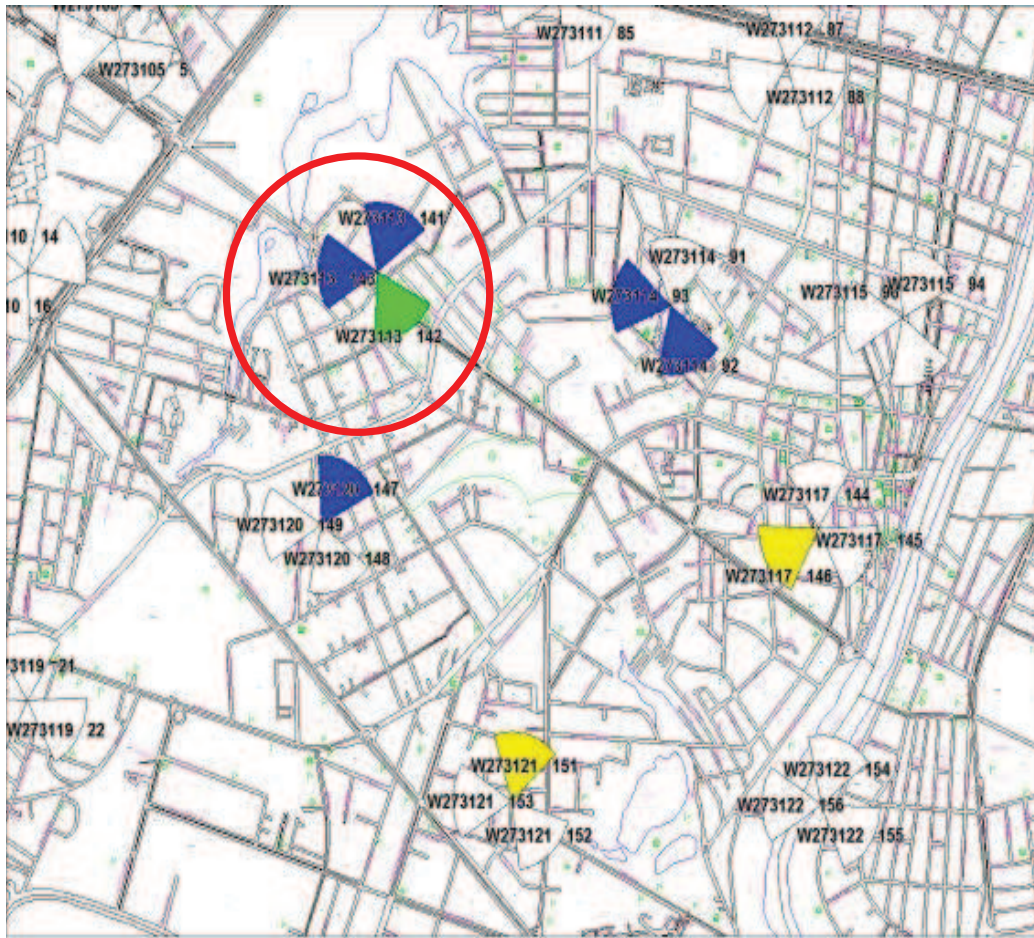


Figura 4.41 Vecinos del sitio W273113-142.

La recomendación para hacer la prueba es hacer una llamada y cuando el teléfono móvil se esta aproximando a otro sitio, el teléfono tiene que cambiar a este sitio que tiene mejor nivel de recepción de señal y si no hace el cambio es porque no existe la declaración del sitio vecino. Se debe de hacer la revisión de la cobertura de los sitios involucrados para verificar si es necesario hacer la declaración de mas vecino o en su defecto retirarlos porque existen muchos sitios que están llegando al mismo lugar con la misma intensidad de señal y esto ocasiona que el teléfono tire la llamada al no saber a que señal hacerle caso.

En la figura 4.42 se muestran las coberturas probable de cada uno de los diferentes sitios, en donde si hay cobertura del sitio W273113-142 cerca de los sitios W27312-151 y el W273117-146; por tal motivo es necesario hacer la declaración de las vecindades de estos sitios.

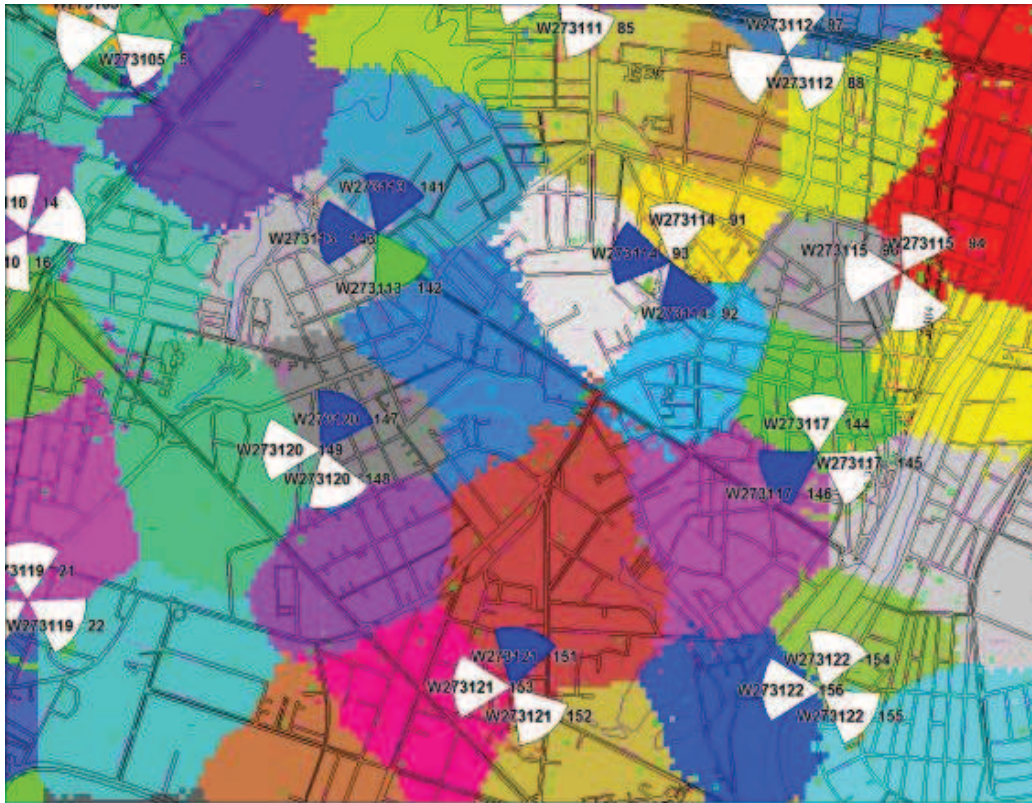


Figura 4.42 Cobertura probable de los diferentes sitios.

Quedando el sitio W273113-142 dado de alta con las vecindades de los sitios W27312-151, W273117-146, W273114-93, W273114-92 y el W273120-147.

En la figura 4.43 se ilustra la forma en que quedan programadas las vecindades de W273113-142 con el sitio W273113-141 y el sitio W273113-143.

En la figura 4.44 se muestra como queda la cobertura en toda la ciudad, con los colores mas oscuros (rojo) con los niveles mas alto y el color mas claro (verde) con menos niveles.

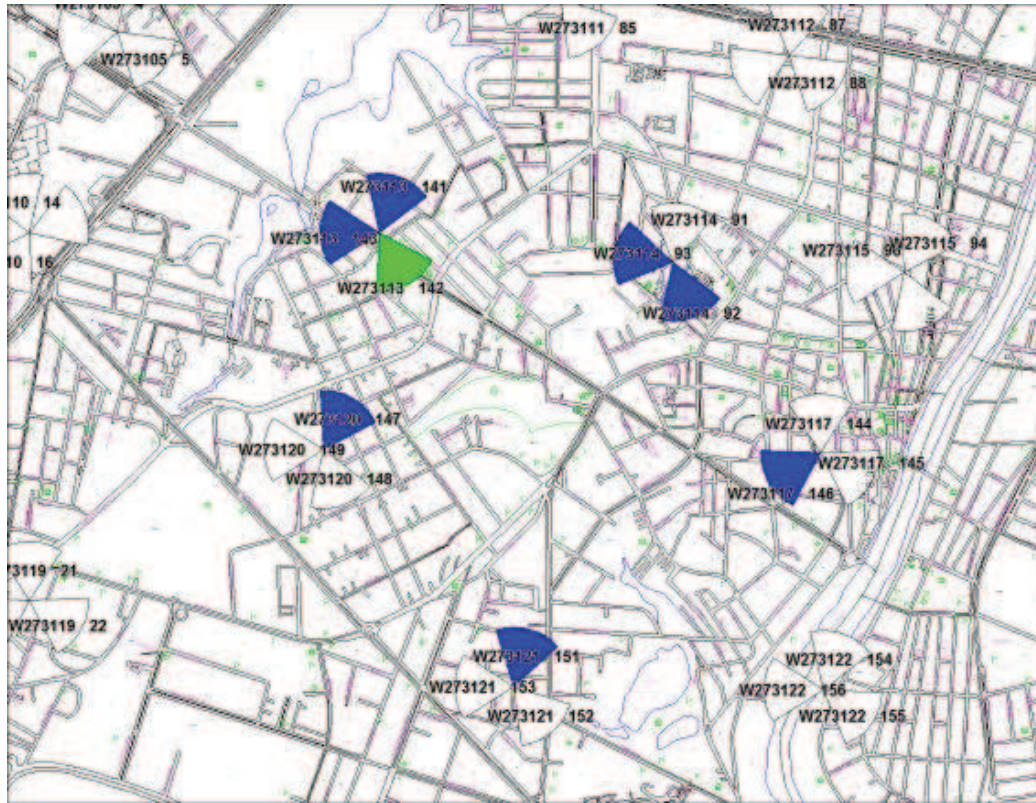


Figura 4.43 Vecindades del sitio W273113-142.

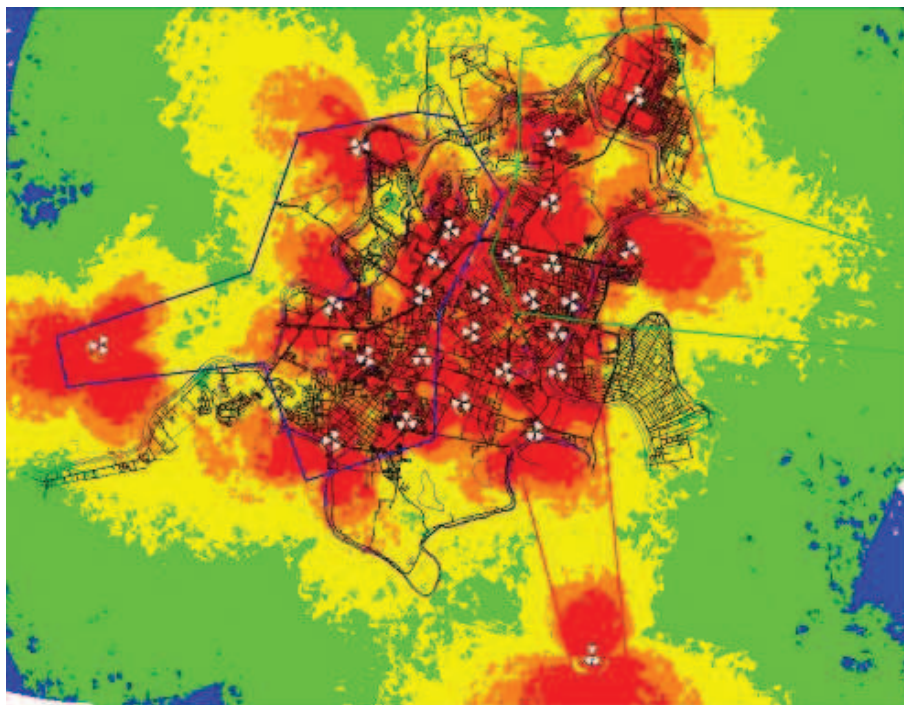


Figura 4.44 de la cobertura de la ciudad.

CONCLUSIONES

Al terminar de leer este trabajo de tesis, el lector se puede dar cuenta de todos los conceptos, términos y parámetros que se manejan en un sistema de comunicación celular. También de los avances tecnológicos que han tenido los teléfonos celulares, debido a la fabricación de nuevos componentes electrónicos.

A manera de conclusiones, se puede escribir lo siguiente:

- Con el diseño de nuevos programas computacionales es posible realizar trabajos de diseño, supervisión, localización, cálculos, pruebas, etcétera, en un sistema celular, en un menor tiempo y con mínimos errores. Tal es el caso del programa llamado PlaNet, Plot, etcétera.
- Existen varias herramientas de diseño y por consiguiente también existen varias marcas de equipos para hacer las pruebas, como es el caso del Hewlett Packard HP 74xx y del TEMS Investigation.
- Gracias a la repartición del espectro electromagnético en intervalos de frecuencias es posible utilizar valores de frecuencia fijos para determinadas aplicaciones, y una de ellas es la telefonía celular.
- Aunque los servicios en un sistema de comunicación se incrementan, sus tres módulos básicos siguen siendo los mismos y estos son: el transmisor, el canal de comunicación y el receptor.
- Si al diseñar a una red celular en una determinada ciudad no se han identificado completamente a sus diferentes topologías, es posible que se presentes interferencias en la comunicación.
- Debido a los diferentes tipos de modulación que existen, es posible acceder a diferentes usuarios en un mismo sistema de comunicación, como es el caso de la modulación llamada TDMA.

La aportación de este trabajo es dar a conocer al lector algunas de las recomendaciones que se deben de seguir durante las pruebas de una red celular y los ajustes necesarios antes de poner en marcha la operación de dicha red.

BIBLIOGRAFIA

Edited by K. Fujimoto, J.R. James
Mobile Antenna Systems Handbook
Artech House Publishers

Siwiak
Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications
Artech House Publishers

Garg, Vijay K., Wilkes, Joseph E.
Wireless and Personal Communications Systems.
Prentice Hall, 1996.

Gibson, Stephen W.
Cellular Mobile Radiotelephones System
Prentice Hall, 1987

J. Dunlop y D. G. Smith
Ingeniería de las Telecomunicaciones
Editorial Gustavo Gili

Armando García Domínguez
Calculo de antenas
Marcombo Boixareu Editores

Shingo Ohmori
“The Future Generations of Mobile Communications
Based on Broadband Access Technologies”,
Communications Research Laboratory.

Reyes Sáenz Daniel, Guillermo Salinas González.
Tesis: “Diseño de radiofrecuencia de una red de servicios de comunicación personal”
México, Mayo del 2000 de la UNAM.

Evelio Martínez
Evolución de la tecnología celular.
Revista NET, Julio de 2001

Isabel Román Martínez
Arquitectura de Redes Sistemas y Servicios
2º Ing. Telecomunicación. Curso 2004/05

Eugenio Rey
“Comunicaciones móviles”
Marcombo, 1998.