Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Electricidad y Electrónica

"Arquitectura de un Modelo de Redes Wireless aplicando Antenas Smart."

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero Electrónico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Néstor Fierro M.

Cristian Andrés Guital Mansilla.
Eduardo Esteban Muñoz Brandau.

Valdivia 2006

MIEMBROS COMISIÓN TITULACIÓN

Néstor Fierro Morineaud

Ingeniero Electrónico

Pedro Rey Clericus.

Ingeniero Electrónico.

Franklin Castro Rojas.

Ingeniero Electrónico.

AGRADECIMIENTOS

Cristian Guital M.

En primer lugar agradecer a mis padres Gustavo y María Elena, por haberme formado como una persona llena de valores, entregándome cada día su apoyo incondicional que me ha servido en el cumplimiento de todas mis metas personales, como esta. Gracias papás por brindarme la oportunidad de llegar donde ahora me encuentro.

Agradecer también a mis hermanos Lissette y Patricio, por su apoyo y preocupación constante, inspirándome cada día a estudiar más y ser mejor en lo que hago diariamente.

A la familia Osses Torres, por haberme considerado como un integrante más, brindándome la confianza suficiente para sentirme como en mi verdadera casa, gracias de todo corazón.

Quiero agradecer también a mi polola Ariana, que en este tiempo ha confiado plenamente en mí, otorgándome su apoyo y comprensión en momentos complicados de la vida, en donde resulta indispensable contar con alguien a diario para hacer las cosas lo mejor posible, gracias por todo.

Por ultimo, agradecer a nuestro profesor patrocinante Sr. Néstor Fierro, el que nos brindó todo su conocimiento y disposición para llevar a cabo el desarrollo de esta tesis, también a mi compañero Eduardo por el apoyo y persistencia en concluir este trabajo.

A todos ellos… Mil Gracias.

Eduardo Muñoz.

Primero que nada quiero comenzar agradeciendo a mis padres, Julio y Edith por ser pilar fundamental en mi formación como persona y estudiante, siendo estos un constante ejemplo de esfuerzo y constancia.

Quiero también agradecer a mis hermanos Julio y Pamela, por su constante apoyo y desearles lo mejor en sus vidas.

A mis abuelos y tíos, sobre todo a mi Abuela Regina, por la confianza que me han demostrado en estos años de estudio, lo cual es un apoyo fundamental en la formación de todo estudiante.

También no puedo dejar de agradecer a todas esas personas que eh conocido en mi vida como estudiante, que sin su apoyo y amistad todo hubiera sido mas difícil y lo mas importante que me eh dado cuenta que la amistad no se hace con los años, sino solo con la entrega mutua de todos sin pedir nada a cambio, es por eso que este trabajo también esta dedicado a todos ustedes.

Por ultimo agradecer a mi compañero de tesis Cristian que sin él no habría sido posible llevar a cabo este trabajo, y no puedo dejar de mencionar al Prof. Néstor Fierro, el cual fue nuestro principal apoyo en este trabajo, también agradecer a cada uno de los profesores del Instituto de Electrónica por todos los conocimientos aportados, en este camino universitario.

RESUMEN.

En el siguiente trabajo de tesis se da a conocer un estudio amplio acerca de las Smart Antennas, o comúnmente llamadas Antenas Inteligentes, y su desempeño en redes Wireless, mostrando, a su vez, los diferentes tipos de configuración que se pueden adoptar según las necesidades y costos que se tengan. En cuanto a su configuración se describen las únicas tres posibilidades, las que pueden ser, desde la más básica a la más compleja, el sistema de haz conmutado, haz de seguimiento y haz adaptativo.

Por otro lado, se da una mirada a la configuración del haz la cual esta directamente relacionada a la configuración de éste tipo de antenas, luego se muestran sus aplicaciones actuales, aunque un poco reducido por el momento debido a que principalmente fueron desarrolladas para ser usadas sobre una plataforma de telefonía móvil de tercera generación. También se da una descripción de los tipos de arreglos de antenas, dando definiciones claras que permitan su mejor entendimiento.

Finalmente, se estudia el comportamiento, en cuanto a calidad de servicio, de la red actual de telefonía móvil en Chile, para lo cual se realizaron mediciones prácticas sobre dicha plataforma. Con los principales parámetros obtenidos se propondrá un modelo usando antenas inteligentes sobre la plataforma de GSM actual, con las respectivas mejoras que se conseguirían al utilizar este tipo de antenas.

ABSTRACT.

In the following thesis work one occurs to know an ample study about the Smart Antennas, or commonly calls Intelligent Antennas, and their performance in Wireless networks, showing, as well, the different types from configuration can be adopted according to the necessities and costs that are had. As far as their configuration the three possibilities, those that can be, from most basic to most complex, the system of exchanged beam, beam of pursuit are described only and you do adaptive.

On the other hand, a glance occurs to the configuration of the beam which this directly related to the configuration of this one type of antennas, soon is their present applications, although a little reduced at the moment because mainly they were developed to be used on a platform of movable telephony of third generation. Also a description of the types of adjustments of antennas, giving clear definitions occurs that they allow his better understanding.

Finally, the behavior studies, as far as quality on watch, of the present network of movable telephony in Chile, for which practical measurements were made on this platform. With the main obtained parameters a model will set out using intelligent antennas on the present platform of GSM, with the respective improvements that would obtain when using this type of antennas.

OBJETIVOS.

Objetivo General.

Proponer un modelo a través de un estudio teórico práctico de las antenas inteligentes, “Smart Antennas”, centrado en Redes Wireless.

Objetivos Específicos.

- Analizar las Redes Wireless destacando las funciones que desempeñan las Antenas Inteligentes.
- Identificar, Evaluar y Comparar tanto en forma Teórica como Práctica, los parámetros de las Antenas Inteligentes.
- Analizar los algoritmos de los diagramas de radiación en las Antenas adaptativas, entre otros parámetros claves en su desempeño.
- Cotejar a través de mediciones prácticas con valores teóricos en la elaboración de un modelo del desempeño de Antenas Inteligentes.
- Diseñar la arquitectura de un modelo para la implementación de una Red Inalámbrica usando Antenas Inteligentes.

INTRODUCCION.

Desde la aparición de los sistemas inalámbricos se ha producido una revolución a nivel mundial por el uso de la información. Desde aquél entonces, ha llamado la atención de una gran cantidad de usuarios que cada día requieren de mayores y mejores servicios prestados por quienes corresponda. Dado el caso de la telefonía celular, en un principio se tenía un número reducido de usuarios, que demandaban únicamente una comunicación de voz con su punto de destino. Con el pasar del tiempo y gracias al abaratamiento del costo de los equipos, esta tecnología inalámbrica dejo de ser un lujo para pasar a ser algo común y corriente dentro de las personas. Por este motivo, el número de usuarios comenzó a crecer en forma exponencial, hasta que los proveedores del servicio se vieron colapsados sin poder entregar buenas prestaciones a sus clientes, por lo cual, en forma obligada, se vieron en la necesidad de invertir costos muy altos para el diseño e implementación de un sistema que permitiera solventar los problemas asociados a aquél entonces en la red. Tras muchas investigaciones, nacieron así las llamadas Smart Antennas ó Antenas Inteligentes. Este sistema utiliza un arreglo de antenas, en conjunto con una unidad de procesamiento de señales digitales (DSP) para aumentar la ganancia y sensibilidad de la estación base, llevando consigo variadas ventajas entre las que se mencionan la reducción de potencia por parte del equipo terminal móvil, reducción de propagación multitrayecto, reducción de la interferencia y un aumento considerable del nivel de seguridad.

Es claro mencionar que la solución más eficaz para el desarrollo de la tercera generación de telefonía móvil es el uso de este tipo de antenas. Aunque la inversión inicial pueda resultar, dependiendo de la configuración que se desee, de alto costo, se tendrá una plena confianza que el sistema responderá eficazmente solventando los problemas actuales en lo que a telefonía móvil se refiere.

Por último, comentar que en definitiva no son las antenas las que tienen la capacidad de inteligencia, sino, es el sistema de antenas (conjunto) a las que se les puede atribuir un cierto grado de inteligencia para la respuesta de ciertas condiciones dadas en el ambiente.

METODO DE TRABAJO.

Antes que todo, se debe mencionar que esta tecnología de tercera generación en comunicaciones móviles aún no se encuentra implementada en nuestro país, por lo cual, el desarrollo de este trabajo esta enfocado a mostrar las características mas importantes de esta tecnología, considerando sus principales ventajas y desventajas, así como también sus aplicaciones en países donde ya se encuentra en uso.

Una de las metodologías de trabajo utilizadas para el desarrollo de este trabajo, fue la búsqueda de información a través de empresas relacionadas netamente con el ámbito de las telecomunicaciones, quienes aportaron valiosos documentos que fueron claves para la elaboración de este trabajo.

Por otra parte, se utilizó tanto el material bibliográfico presente en la biblioteca de nuestra universidad, como la proporcionada por la prensa internacional (Internet), la que proporcionaron información valiosa para el desarrollo de algunos capítulos presentados más adelante.

Finalmente, cabe destacar que para la realización del capítulo de mediciones prácticas y la propuesta del modelo, se trabajo como se mencionó anteriormente, en forma directa con una empresa ligada a las telecomunicaciones, cuyo aporte resulto fundamental para la finalización de este trabajo de tesis.

ÍNDICE. **PÁG.**

RESUMEN. 7

ABSTRACT. 7

OBJETIVOS. 8

INTRODUCCIÓN. 9

MÉTODO DE TRABAJO. 10

CAPÍTULO I. REDES WIRELESS. 16

1.1. INTRODUCCIÓN. 16

1.2. ANTECEDENTES. 18

1.3. CLASIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS. 20

1.3.1 Redes Inalámbricas Personales. 20
1.3.2 Redes Inalámbricas de Consumo. 20
1.3.3 Redes Inalámbricas 802.11. 21

1.4. USO DEL ESPACIO, DEL TIEMPO Y DEL ESPECTRO. EN REDES DE RADIO FRECUENCIA. 23

1.4.1 Factor de Reuso. 24
1.4.2 Factor de Distancia. 24
1.4.3 Eficiencia del Tiempo. 24

1.5. DESPLIEGUE ACTUAL DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA. 26

1.5.1. Progresos Tecnológicos en Banda Ancha Inalámbrica. 26
1.5.2. Tecnologías Fijas o Portables. 27
1.5.2.1 Redes inalámbricas de corto alcance - WPANs. 27
1.5.2.2 Redes inalámbricas de alcance medio - WLANS. 29
1.5.2.3 Redes inalámbricas de larga distancia - WMANS. 30

1.6. REDES WIMAX. 32

1.6.1 Antecedentes Generales. 32
1.6.2 Arquitectura Punto a Múltiples Puntos (PMP). 32
1.6.3 Arquitectura Malla (MESH). 33

1.7. TECNOLOGÍAS PARA WIMAX. 35

1.7.1 Antenas Inteligentes. 35

CAPÍTULO II. ANTENAS INTELIGENTES. 37

2.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE ANTENAS INTELIGENTES. 37

2.1.1 Cómo funcionan las antenas inteligentes. 37
2.1.2 Tipos de alcances. 38
2.1.3 Tipos de Antenas Inteligentes. 40
2.1.3.1 Haz Conmutado (Switched Beam). 40
2.1.3.2 Haz de Seguimiento (Scanning). 41
2.1.3.3 Haz Adaptativo. 42
2.1.4 Cuadro comparación Sistema Conmutado versus Sistema Adaptativo. 44
2.1.5 Cuadro Resumen Tipos de Antenas. 45
2.1.6 Configuración de una antena inteligente. 46
2.1.7 Propagación de la Señal. 46
2.1.7.1 Multitrayecto. 46
2.1.7.2 Problemas asociados con el Multitrayecto. 47
2.1.7.2.1 Desvanecimiento (Fading). 47
2.1.7.2.2 Cancelación de fase. 48
2.1.7.2.3 Dispersión del retardo. 48
2.1.7.3 Interferencia Co-Canal. 49

2.2 FILTRADO ESPACIAL EN LOS RECEPTORES. 50

2.2.1 Receptor de alta sensibilidad (HSR). 51
2.2.2 Rechazo de interferencias por filtrado espacial (SFIR). 51
2.2.3 Acceso múltiple por división espacial (SDMA). 51

2.3 ANTENAS ADAPTATIVAS. 52

2.4 CONFORMACIÓN DEL HAZ. 53

2.4.1 Conformación de haces adaptativos. 56
2.4.1.1 Algoritmo LMS. 58
2.4.1.2 Algoritmo RLS. 59
2.4.2 Máximo nivel de inteligencia de las Antenas. 60

2.5 BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DE ANTENAS INTELIGENTES. 64

2.5.1 Reducción de Potencia de Transmisión. 64
2.5.2 Reducción de Propagación Multitrayecto. 65
2.5.3 Reducción del Nivel de Interferencia. 65
2.5.4 Incremento del Nivel de Seguridad. 66
2.5.5 Incremento de la zona de cobertura. 67
2.5.6 Aumento de la cobertura. 67
2.5.7 Mejora de la eficiencia espectral. 67

2.6 USO DE ANTENAS INTELIGENTES EN DIFERENTES TECNOLOGÍAS. 68

2.6.1 Antenas inteligentes en UMTS. 68
2.6.2 Antenas inteligentes en WLAN. 69
2.6.2.1 Investigación de Intel sobre antenas inteligentes. 69
2.6.2.1.1 Superación de las limitaciones de ancho de banda. 69
2.6.2.1.2 Ampliación del alcance mejorando la calidad de la señal. 70
2.6.2.1.3 Las antenas inteligentes aumentan la transferencia. 71
2.6.2.1.4 El Aporte de las Antenas inteligentes. 72
2.6.3 Uso de antenas inteligentes en CDMA. 73

CAPÍTULO III. ARREGLOS DE ANTENAS EN COMUNICACIONES MÓVILES. 75

3.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ANTENAS. 75

3.1.1 ¿Qué es una antena?. 75
3.1.2 Características de una antena. 76
3.1.3 Parámetros generales de una antena. 78
3.1.4 Algunos Tipos de Antenas. 80

3.2 DEFINICIÓN DE ARREGLOS DE ANTENAS. 83

3.2.1 Definición de Términos en Arreglos de Antenas. 84

3.3 CLASIFICACIÓN. 88

3.3.1 Clasificación de los Arreglos. 88
3.3.1.1 Arreglos Lineales. 89
3.3.1.1.1 Factor de Arreglo. 90
3.3.1.2 Arreglos Planos. 92
3.3.1.3 Otros tipos de Arreglos. 95
3.3.1.3.1 Arreglo plano Circular. 95
3.3.1.3.2 Arreglo Circular uniforme. 96

3.4 ARREGLOS OMNIDIRECCIONALES Y DIRECCIONALES. 97

3.4.1 Antena Omnidireccional en Comunicaciones Móviles. 97
3.4.2 Antena Direccional en Comunicaciones Móviles. 98
3.4.3 Consideraciones Generales del Arreglo Omnidireccional y Direccional. 98
3.4.4 Ejemplo de Aplicación. 100
3.4.4.1 Arreglo de Cuatro Antenas Direccionales. 100
3.4.4.2 Arreglo de Dos Antenas Direccionales. 102

3.5 ARREGLOS DE FASE. 103

3.5.1 Características de los Arreglos de Fase. 105

3.6 ARREGLOS ADAPTATIVOS. 107

3.6.1 Principales ventajas del uso de sistemas adaptativos. 110

CAPÍTULO IV. MEDICIONES PRÁCTICAS. 112

4.1 INTRODUCCIÓN. 112

4.2 EQUIPOS Y PROGRAMAS UTILIZADOS. 112

4.2.1 Descripción. 112
4.2.2 Conexión Física. 115

4.3 DRIVE TEST. 117

4.3.1 Configuración de las Llamadas. 117
4.3.2 Condiciones para el Test. 118

4.4 REPORTES DE SALIDAS. 118

4.4.1 Estadísticas de la llamada. 118
4.4.2 Estadística de la Cobertura. 119
4.4.3 Estadísticas de Calidad. 121
4.4.4 Estadística C / I. 121

4.5 DIAGRAMAS GEOGRÁFICOS. 123

4.5.1 Diagrama del Nivel de RX. 124
4.5.2 Diagrama de Rx Qual. 125

4.5.3 Diagrama C/I. 126
4.5.4 Diagrama de Acontecimientos en banda de 1900 MHz. 127
4.5.5 Diagrama de Acontecimientos en banda de 850 MHz. 128
4.5.6 Diagrama del nivel de Rx de Acontecimientos. 129
4.5.7 Diagrama de Rx de Acontecimientos en Escala. 130
4.5.8 Diagrama del nivel de Rx de canales por Scanner. 131

CAPÍTULO V. PROPUESTA DE UN MODELO USANDO SMART ANTENNAS. 132

5.1 INTRODUCCIÓN. 132

5.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 132

5.3 OBJETIVOS. 133

5.4 SOLUCIÓN AL PROBLEMA PLANTEADO. 133

5.4.1 Ubicación Zonas de Conflicto. 134
5.4.1.1 Ubicación según gráfica Rx Level. 134
5.4.1.2 Ubicación específica. 135
5.4.1.3 Ubicación aproximada en 3D. 136

5.4.2 Consideraciones Generales para la Solución del Problema. 139
5.4.3 Consideraciones Zona 1. 140
5.4.4 Consideraciones Zona 2. 140
5.4.5 Solución del Problema. 141
5.4.5.1 Solución Zona 1. 141
5.4.5.2 Solución Zona 2. 143

CONCLUSIONES. 145

ANEXO. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES. 146

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 150

CAPITULO I. REDES WIRELESS.

1.1 Introducción.

Antes de comenzar con el tema en cuestión, resulta necesario realizar una breve descripción acerca de lo que son las redes inalámbricas comúnmente conocidas como redes Wireless, destacando aspectos relevantes para su entendimiento y dominio tales como su funcionamiento, arquitectura de redes, dispositivos, entre otros.

Desde hace relativamente poco tiempo, se está viviendo lo que puede significar un revolución en el uso de las tecnologías de la información tal y como se conoce. Esta revolución puede llegar a tener una importancia similar como la que tuvo la adopción de Internet por el gran público.

De una forma silenciosa, las redes inalámbricas o Wireless Networks (WN), se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios populares y a un conjunto de entusiastas, mayoritariamente particulares, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología.

Hoy en día es clara la alta dependencia en las actividades empresariales e institucionales de la redes de comunicación. Por ello la posibilidad de compartir información sin que sea necesario buscar una conexión física permite mayor movilidad y comodidad.
Así mismo la red puede ser más extensa sin tener que mover o instalar cables. Respecto a la red tradicional la red sin cable ofrece ventajas, como:

- **Movilidad:**
  Información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa para todo usuario de la red. El que se obtenga en tiempo real supone mayor productividad y posibilidades de servicio.

- **Facilidad de instalación:**
  Evita obras para tirar cable por muros y techos.

- **Flexibilidad:**
  Permite llegar donde el cable no puede.

- **Reducción de costos:**
  Cuando se dan cambios frecuentes o el entorno es muy dinámico el coste inicialmente más alto de la red sin cable es significativamente más bajo, además de tener mayor tiempo de vida y menor gasto de instalación.

- **Escalabilidad:**
  El cambio de topología de red es sencillo y trata igual pequeñas y grandes redes.

Por otro lado, las redes inalámbricas pueden dividirse en dos categorías, las que son:

1. **Redes inalámbricas de área local.**
2. **Redes inalámbricas para comunicación móvil.**

Resulta evidente que la categoría a la cual pertenece el desarrollo de esta tesis son las redes inalámbricas para comunicaciones móviles, que es donde se utilizan mayormente las llamadas Antenas Inteligentes.

La diferencia fundamental entre ambas radica en los modos de transmisión. Las LAN inalámbricas emplean transmisores y receptores que se encuentran en los edificios en que se usan, mientras que las comunicaciones móviles inalámbricas son usadas por las compañías de telecomunicaciones telefónicas u otros servicios públicos en la transmisión y recepción de las señales.

Las aplicaciones de las redes inalámbricas son infinitas. De momento van a crear una nueva forma de usar la información, pues ésta estará al alcance de todos a través de Internet y de servicios móviles prestados por las compañías de telefonía en cualquier lugar en el que haya cobertura.

Gracias a la invención de las Antenas Inteligentes y de las mejoras que se le han aplicado, es posible, hoy en día, llevar a cabo un control definitivo del tráfico, con el fin de evitar atascos, limitando la velocidad máxima y/o indicando rutas alternativas en tiempo real.

A su vez, nuevas técnicas de modulación que permiten utilizar de una mejor manera el ancho de banda determinado por el sistema, conllevará nuevos servicios tales como video y datos, que serán prestados por las empresas pertinentes que utilicen esta tecnología.

La implementación de nuevos servicios móviles existen actualmente, su precio es mínimo o al menos muy asequible y su existencia mañana sólo depende de las estrategias comerciales de las empresas que las poseen.

1.2 Antecedentes.

El origen de las LAN inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados en el volumen 67 de los Proceeding del IEEE, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema del Spread Spectrum (espectro extendido), siempre a nivel de laboratorio. En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, el FCC (Federal Communications Comission), la Agencia Federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400- 2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en Spread Spectrum. (IMS es una banda para uso comercial sin licencia).

La asignación de una banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria, ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN.

Hasta entonces, estas redes habían tenido una aceptación marginal en el mercado.
Las razones eran varias:

• Gran cantidad de técnicas, tecnologías y normas existentes en el ámbito de las comunicaciones móviles debido a que los diferentes fabricantes han ido desarrollando sus propias soluciones, utilizando frecuencias y tecnologías muy distintas y normalmente incompatibles. No existía una norma y menos un estándar.

• Altos precios que reflejan los costos de investigación para desarrollar soluciones tecnológicas propietarias.

• Reducidas prestaciones si las comparamos con sus homologas cableadas: las redes inalámbricas únicamente permiten el soporte de datos, mientras que por una red de cableado podemos llevar multitud de aplicaciones tanto de voz, como de datos, vídeo, etcétera, y además, velocidades de transmisión significativamente menores.

Fig.1.1. Cliente y punto de acceso.

Sin embargo, se viene produciendo estos últimos años un crecimiento explosivo en este mercado, de hasta un 100% anual. Esto, debido a distintas razones entre las que se destacan:

• El desarrollo del mercado de los Laptops y los PDA, y en general de sistemas y equipos de informática portátiles hacen posible que sus usuarios puedan estar en continuo movimiento, al mismo tiempo que están en contacto con los servidores y con los otros ordenadores de la red, es decir, la WLAN permite movilidad y acceso simultáneo a la red.

• La conclusión de la norma IEEE 802.11 para redes locales inalámbricas, que introduce varios factores positivos:

• **Interoperatividad.**

Esta norma aporta una plataforma estable para el desarrollo de nuevos productos, con la consiguiente confianza que este hecho genera en los usuarios. Esto posibilitará a su vez el que soluciones de distintos fabricantes puedan trabajar conjuntamente.

• **Costos**.

Lógicamente, se producirá también una notable reducción en los precios de este tipo de productos, en primer lugar porque una vez aprobado el estándar son más los fabricantes que desarrollen sus propias soluciones inalámbricas, y además porque esto va a suponer un empuje definitivo para el mercado masivo de componentes, con el consiguiente abaratamiento de los mismos.

Finalmente, los grandes avances que se han logrado en tecnologías inalámbricas de interconexión y los que se tienen previstos alcanzar en proyectos varios. En este aspecto cabe destacar las mejoras de prestaciones propuestas por IEEE 802.11 en cuanto a velocidad, mejoras incrementales, y por otro lado la intención de implementar la tecnología de transmisión ATM por parte de HiperLAN y otras mejoras tecnológicas.

1.3 Clasificación de Redes Inalámbricas.

Clasificar las redes inalámbricas es lo primero que se debe efectuar antes de situarse dentro del mundo inalámbrico. Para ello, se realizará una primera clasificación que permita centrarnos ante las diferentes variantes que se pueden encontrar, entre ellas tenemos:

1. Redes inalámbricas personales.

2. Redes inalámbricas de consumo.

3. Redes inalámbricas 802.11.

A continuación se describirán brevemente cada una de ellas.

1.3.1 Redes Inalámbricas Personales.

Dentro del ámbito de estas redes podemos integrar a dos principales actores:

a) En primer lugar y ya bastante conocido por los usuarios están las redes que se usan actualmente mediante el intercambio de información a través del infrarrojo. Estas redes son muy limitadas dado su corto alcance, necesidad de visión sin obstáculos entre los dispositivos que se comunican y su baja velocidad, hasta 115 kbps. Se encuentran principalmente en ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos móviles y algunas impresoras.

b) En segundo lugar el Bluetooth, estándar de comunicación entre pequeños dispositivos de uso personal, como pueden ser los PDAs, teléfonos móviles de nueva generación y algún que otro ordenador portátil. Su principal desventaja es que su puesta en marcha se ha ido retrasando desde hace años y la aparición del mismo ha ido plagada de diferencias e incompatibilidades entre los dispositivos de comunicación de los distintos fabricantes que ha imposibilitado su rápida adopción. Opera dentro de la banda de los 2,4 Ghz.

1.3.2 Redes Inalámbricas de Consumo.

a. Redes CDMA:

Estándar de telefonía móvil estadounidense y GSM, estándar de telefonía móvil europeo y asiático. Son los estándares que usa la telefonía móvil empleados alrededor de todo el mundo en sus diferentes variantes.

b. Estándar 802.16:

Son redes que pretenden complementar a las anteriores estableciendo redes inalámbricas metropolitanas (MAN) en la banda de entre los 2 y los 11 Ghz.

1.3.3 Redes Inalámbricas 802.11.

Las redes inalámbricas o WN básicamente se diferencian de las redes conocidas hasta ahora por el enfoque que toman de los niveles más bajos del modelo OSI, el nivel físico y el nivel de enlace, los cuales se definen por el 802.11 del IEEE. (Organismo de Estandarización Internacional).

Como sucede comúnmente siempre que un estándar aparece y los grandes fabricantes se interesan por él, aparecen diferentes aproximaciones al mismo lo que genera una incipiente confusión.

Nos encontramos ante tres principales variantes:

1. 802.11a:

Fue la primera aproximación a las WN y llega a alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps dentro de los estándares del IEEE y hasta 72 y 108 Mbps con tecnologías de desdoblamiento de la velocidad ofrecidas por diferentes fabricantes, pero que no están estandarizadas por el IEEE. Esta variante opera dentro del rango de los 5 Ghz. Inicialmente se soportan hasta 64 usuarios por Punto de Acceso.

Sus principales ventajas son su velocidad, la base instalada de dispositivos de este tipo, la gratuidad de la frecuencia que usa y la ausencia de interferencias en la misma.

Sus principales desventajas son su incompatibilidad con los estándares 802.11b y 802.11g, la no incorporación a la misma de QoS (Calidad de Servicio), la no disponibilidad de esta frecuencia en Europa dado que esta frecuencia está reservada a la HYPERLAN2 y la parcial disponibilidad de la misma en Japón.

El hecho de no estar disponible en Europa prácticamente la descarta de nuestras posibilidades de elección para instalaciones en este continente.

2. 802.11b:

Es la segunda aproximación de las WN. Alcanza una velocidad de 11 Mbps estandarizada por el IEEE y una velocidad de 22 Mbps por el desdoblamiento de la velocidad que ofrecen algunos fabricantes pero sin la estandarización del IEEE. Opera dentro de la frecuencia de los 2.4 Ghz. Inicialmente se soportan hasta 32 usuarios por PA.

Adolece de varios de los inconvenientes que tiene el 802.11a como son la falta de QoS, además de otros problemas como la masificación de la frecuencia en la que transmite y recibe, pues en los 2,4 Ghz funcionan teléfonos inalámbricos, teclados y ratones inalámbricos, hornos microondas, dispositivos Bluetooth, lo cual puede provocar interferencias.

En el lado positivo está su rápida adopción por parte de una gran comunidad de usuarios debido principalmente a unos muy bajos precios de sus dispositivos, la gratuidad de la banda que usa y su disponibilidad gratuita alrededor de todo el mundo. Está estandarizado por el IEEE

3. 802.11g:

Es la tercera aproximación a las WN, y se basa en la compatibilidad con los dispositivos 802.11b y en el de ofrecer unas velocidades de hasta 54 Mbps. Funciona dentro de la frecuencia de 2,4 Ghz.

Dispone de los mismos inconvenientes que el 802.11b además de los que pueden aparecer por la aún no estandarización del mismo por parte del IEEE, resultando incompatibilidades con dispositivos de diferentes fabricantes.

Las ventajas de las que dispone son las mismas que las del 802.11b además de su mayor velocidad. El estándar 802.11g es una unión de los estándares 802.11 a y b. Contiene todos y cada uno de los tipos de modulación que éstos usan, con la salvedad de que opera en la banda de los 5 Ghz, mientras que los otros dos operan en la del los 2,4 Ghz.

1.4 Uso del Espacio, del Tiempo y del Espectro en Redes de Radio Frecuencia.

El método de acceso, tal como la modulación de radio y el ancho de banda disponible, es importante para determinar la eficiencia y la capacidad de un sistema de radio. Los factores que permiten optimizar la capacidad de comunicación dentro de una área geográfica y del espectro de ancho de banda, son considerados más importantes que la forma de como son implementadas. Los diseñadores de sistemas únicamente pueden definir la utilización del espacio y del tiempo, y una aproximación de la eficiencia de la tecnología de transmisión por radio.

Los diseños de alta eficiencia han sido evitados en sistemas de radio y redes porque su utilización no es muy obvia en cuanto a rapidez y conveniencia. Uno de los aspectos más importantes de la eficiencia del tiempo es la asignación de frecuencia consolidada y el tráfico de cargas de usuarios no relacionados entre si.

Independientemente del rango, un conjunto de enlaces puede únicamente dar servicio a una fracción del área total. Para una cobertura total del área, se debe de usar canales independientes, derivados por frecuencia, código o tiempo. Mientras la distancia incrementa, se origina que la señal de radio disminuya, debido a la curvatura de la Tierra o a obstáculos físicos naturales existentes.

Este diseño es muy utilizado en interferencia limitada. Existe una trayectoria normal cuando en el nivel de transferencia, de estaciones simultáneamente activas, no prevén la transferencia actual de datos. Para este tipo de diseño, los siguientes factores son importantes:

• Es necesaria una relación señal-interferencia, para una comunicación correcta.

• Se requiere de un margen expresado en estadísticas para generar esta relación, aún en niveles de señal variables.

• La posición de las antenas que realizan la transmisión. La cual puede ser limitada por las estaciones y perfectamente controlada por puntos de acceso fijos.

• La función de la distancia para el nivel de la señal. Esta dada por el valor promedio de la señal, considerando las diferencias en la altura de la antena de las terminales y los impedimentos naturales en la trayectoria.

1.4.1 Factor de Reuso.

El número del conjunto de canales requeridos es comúnmente llamado "Factor de Reuso" o "Valor N", para el sistema de planos celulares. El sistema de planos celulares original, contempla 7 grupos de canales de comunicación y 21 grupos de canales de configuración basados en una estructura celular hexagonal. Un patrón de un hexágono con 6 hexágonos alrededor, da el valor de 7, y un segundo anillo de 14 da el valor de 21.

Estos valores fueron calculados asumiendo la Modulación de Indexamiento 2 FM, previendo un valor de captura de cerca de 12 dB y un margen de cerca de 6 dB. En los sistemas digitales el factor de Reuso es de 3 ó 4, ofreciendo menor captura y menor margen.

1.4.2 Factor de Distancia.

El promedio de inclinación de curva es reconocido por tener un exponente correspondiente a 35-40 dB/Decena para una extensión lejana y de propagación no óptica. Para distancias cortas el exponente es más cerca al espacio libre o 20 dB/Decena. El aislamiento de estaciones simultáneamente activas con antenas omnidireccionales puede requerir factores de Reuso de 49 o más en espacio libre.

La distancia de aislamiento trabaja muy bien con altos porcentajes de atenuación media. Dependiendo de lo disperso del ambiente, la distancia de aislamiento en sistemas pequeños resulta ser en algunos casos la interferencia inesperada y por lo tanto una menor cobertura.

1.4.3 Eficiencia del Tiempo.

El tiempo es importante para poder maximizar el servicio, al momento de diseñar la frecuencia en el espacio. El uso del tiempo está determinado por los protocolos y por los métodos de acceso que regularmente usen los canales de transmisión de la estación. Las características del método de acceso para que se considere que tiene un tiempo eficiente, pueden estar limitadas por los métodos que sean utilizados. Algunas de estas características son:

1. Después de completar una transmisión/recepción, la comunicación debe de estar disponible para su siguiente uso.

• No debe de haber tiempos fijos entre la transmisión-recepción.
• Rellenar la longitud de un mensaje para complementar el espacio, es desperdiciarlo.

2. La densidad de distribución geográfica y tiempo irregular de la demanda del tráfico deben ser conocidas.

• Un factor de Reuso, es más eficiente por un uso secuencial del tiempo que por una división geográfica del área.
• Para la comunicación en un área, se debe de considerar la posibilidad de que en áreas cercanas existan otras comunicaciones.

• La dirección del tráfico desde y hacia la estación no es igual, el uso de un canal simple de transmisión y recepción da una ventaja en el uso del tiempo.

3. Para tráfico abundante, se debe de tener una "lista de espera" en la que se manejen por prioridades: "El primero en llegar, es el primero en salir", además de poder modificar las prioridades.

4. Establecer funciones para usar todo el ancho de banda del canal de comunicación, para que el tiempo que exista entre el comienzo de la transmisión y la disponibilidad de la comunicación, sea lo más corto posible.

5. El uso de un "saludo inicial" minimiza tiempos perdidos, en el caso de que los paquetes transferidos no lleguen correctamente; cuando los paquetes traen consigo una descripción del servicio que requieren, hacen posible que se mejore su organización.

6. La conexión para mensajes debe ser más eficiente que la selección, particularmente al primer intento, sin embargo la selección puede ser eficiente en un segundo intento cuando la lista de las estaciones a seleccionar sea corta.

Para transacciones de tipo asíncrona, es deseable completar la transacción inicial antes de comenzar la siguiente. Deben completarse en el menor tiempo posible. El tiempo requerido para una transacción de gran tamaño es un parámetro importante para el sistema, que afecta la capacidad del administrador de control para encontrar tiempos reservados con retardos, como hay un tiempo fijo permitido para la propagación, el siguiente paso debe comenzar cuando termina el actual. El control del tráfico de datos en ambas direcciones, se realiza en el administrador de control.

1.5 Despliegue Actual de Banda Ancha Inalámbrica.

1.5.1 Progresos Tecnológicos en Banda Ancha Inalámbrica.

Hay una amplia variedad de tecnologías usadas en la disposición de servicios de banda ancha inalámbricos Los realces a las tecnologías actuales así como los progresos de nuevas clases de tecnologías, están aumentando continuamente el número de opciones disponibles. Mientras que, históricamente, las tecnologías de banda ancha inalámbrica han tendido a ser caracterizadas fijas o de plataformas movibles, la introducción de nuevos estándares y tecnologías que proporcionan estos tipos de servicios están nublando estas distinciones. Por ejemplo, los avances recientes en tecnologías celulares han aumentado los índices de transmisión de datos asociados para estas tecnologías; aunque las tecnologías celulares pueden utilizar plataformas puramente móviles desde un punto de vista técnico, se están convirtiendo en cada vez mas un substituto para ciertos servicios de banda ancha inalámbricos.

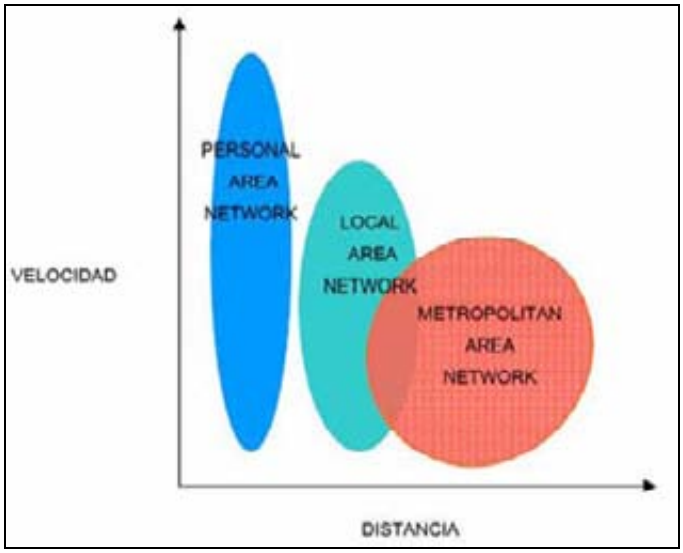

Fig.1.2. Tecnologías de banda ancha inalámbricas.

1.5.2 Tecnologías Fijas o Portables.

Las tecnologías de acceso de banda ancha inalámbricas fijas o portables caen dentro de tres categorías principales de redes, definidas principalmente por el corto, medio, o largo alcance de las capacidades de cobertura para las cuales están optimizadas Como materia general, hay tres tipos básicos de tales redes inalámbricas:

1. Redes de Área Personal Inalámbricas (WPANs), con enlaces de redes típicamente más cortos que 10 metros

2. Redes de Área Local Inalámbricas (WLANs), con enlaces individuales de red que pueden atravesar hasta 4.5 kilómetros.

3. Redes de Área Metropolitana Inalámbrica (WMANs), con enlaces individuales de red que pueden atravesar distancias de hasta 50 kilómetros

Tal como las distinciones entre las tecnologías inalámbricas fijas y móviles están comenzando a llegar a ser menos bien definidas, son también las diferencias entre las tecnologías usadas para WPANs, WLANs, y WMANs. Por ejemplo, mientras WiMAX – una tecnología desarrollando redes inalámbricas – es generalmente sostenida hacia fuera para ser conveniente para larga distancia, al establecimiento de una red al exterior, algunos observadores de la industria notan que, a largo plazo, sus propiedades técnicas pueden hacer ésta ideal para un rango más corto WLAN o aún las redes WPAN No obstante, para entender las características y las aplicaciones generales de diferentes tecnologías del establecimiento de una red inalámbrica fija y portable, es útil discutirlas brevemente para la formación de una idea acerca del funcionamiento de éstos sistemas de comunicación.

1.5.2.1 Redes Inalámbricas de Corto Alcance - Wireless Personal Area Networks (WPANs).

Las redes de banda ancha inalámbricas y las tecnologías asociadas que funcionan en rangos cortos están comúnmente referidas como Wireless Personal Area Networks (WPANs). Estas redes atraviesan a menudo solamente algunos metros, y usualmente no se extienden más allá de 10 metros, estas han sido caracterizadas como redes que "crean una burbuja virtual alrededor del usuario".
Generalmente, las tecnologías WPAN proporcionan interconectividad entre los dispositivos móviles (incluyendo computadoras portátiles, PDAs, televisores, y teléfonos móviles) y los dispositivos de escritorio, sirviendo como reemplazo para los alambres y los cables que conectan diversos dispositivos electrónicos entre si.

A continuación se describirán algunas tecnologías que se encuentran dentro de éste contexto.

1. Bluetooth:

Actualmente la tecnología más común WPAN, es un producto del Bluetooth Special Interest Group (SIG), que fue fundado por Ericsson, IBM, Intel, Nokia, y Toshiba en 1998. Los estándares relevantes del IEEE para Bluetooth son el 802 15 1 y 802.15.2. Los índices de datos para Bluetooth son actualmente hasta 720 Kbps. El equipamiento de Bluetooth opera en una banda básica de 2.4 GHz no licenciada En noviembre del 2004, el Bluetooth SIG anunció un timeline para los realces técnicos a la tecnología que incrementaría los índices de datos entre 1 y 3 Mbps, extendiendo las distancias de transmisión, mejorando la interoperabilidad, la calidad de servicio, y seguridad. El Bluetooth SIG cree que estos realces permitirán a Bluetooth WPANs ser utilizados como parte de los sistemas de sensor (ejemplo, sistemas de seguridad del hogar), para aplicaciones de audio streaming, juego multi-player, etc.

2. Ultra-Wideband:

Es otra tecnología de banda ancha inalámbrica de corto alcance. La tecnología Ultra-Wideband utiliza poca potencia, la modulación de ráfagas de energía extremadamente angostas, o cortas son moduladas sobre un ancho de banda que es bastante grande, excediendo a menudo un gigahertz. Con redes atravesando menos de 10 metros e índices de datos de hasta 100 Mbps, ultra-wideband ofrece una posible alternativa WPAN a Bluetooth De hecho, porque sus índices de datos son mucho más altos que aquellos posibles con Bluetooth, ultra-wideband puede tener aplicaciones más diversas. Por ejemplo, mientras que las comunicaciones ultra-wideband pueden ser usadas para la computadora del hogar y el establecimiento de una red periférica, los potenciales índices de datos también hacen está útil para la distribución de audio y transmisiones de video y, consecuentemente, ésta puede ser utilizada para enlazar las cajas del cable y el televisor o la transferencia de imágenes desde una cámara fotográfica digital a una computadora portátil o a un televisor. Las operaciones de comunicaciones Ultra-Wideband se permiten dentro y en una base no licenciada desde 3 GHz a 10 GHz. En agosto del 2004, la Comisión autorizó el primer Chipset ultra-wideband. El comité IEEE 802.15 está en el proceso de desarrollar un estándar para los dispositivos del establecimiento de una red Ultra-Wideband.

Actualmente, hay dos diferentes acercamientos tecnológicos propuestos, uno que utiliza modulación de espectro expandido de secuencia directa y el otro que utiliza modulación multi-banda Orthogonal Frequency Division Multiplexing.(OFDM)

3. ZigBee:

Es otro tipo de tecnología WPAN. Las redes ZigBee operan en las bandas de 902-928 MHz y 2.4 GHz, y tienen un radio de acción de hasta 70-100 metros con índices de datos de 250 kbps. La tecnología ZigBee es más probable de ser desplegada en redes sensoriales de mallas e incluida en productos comerciales y del hogar, tales como termóstatos, detectores de humo, dispositivos médicos, iluminación, y entradas sin la llave tradicional. Como un observador industrial posicionado, la aplicación principal de ZigBee es reemplazar la tecnología infrarroja de línea de vista usada para control remoto. Actualmente, hasta 255 dispositivos diferentes pueden ser enlazados por red ZigBee. Aunque su funcionalidad se traslapa con Bluetooth en muchos los índices de datos relativamente más bajos de ZigBee pueden limitar sus aplicaciones. Por ejemplo, puede ser usado para proporcionar enlaces de información entre vanos objetos como parte de la administración y control de las redes sensoriales más que como tecnología de comunicaciones de datos; o, uno podría utilizar ZigBee con un computador de red de área local como una medida de controlar toda la iluminación dentro de un hogar.

En diciembre de 2004, la alianza ZigBee, un consorcio de más de 100 compañías apoyando el desarrollo de productos ZigBee, concluyó el estándar Zigbee 1 0. Este estándar asegurará interoperabilidad entre diferentes productos Zigbee.

El estándar relevante IEEE es el 802.15.4, aunque el ZigBee 1.0 no es totalmente co-extensible con el IEEE 802.15.4. Ahora que se ha concluido el ZigBee 1.0, los analistas han proyectado que entre 5 a 100 millones de chips ZigBee podrían ser enviados dentro de los próximos años.

1.5.2.2 Redes Inalámbricas de Alcance Medio – Wireless Local Area Network (WLANS)

Las redes de área local inalámbricas (WLANS) son utilizadas a menudo para transmisiones punto a múltiples puntos para distancias de menos de 300 pies o su equivalente a metros; 90 mts. Las tecnologías WLAN, sin embargo, también pueden ser usadas para la conectividad de Internet para largas distancias, usando una red de configuración punto a punto; de hecho, muchos WISPs actualmente utilizan estas tecnologías para redes que atraviesan largas distancias. Generalmente, las WLANs tienen enlaces individuales que atraviesen menos de tres millas ó 4.8 kilómetros.
La tecnología WLAN más prevente es el equipo fabricado de acuerdo con la familia de estándares IEEE 802.1 1, conocida comúnmente como "Wi-Fi", abreviación para Fidelidad Inalámbrica. Hay tres tipos primarios de Wi-Fi. El primero en el mercado, y por lo tanto el más conocido, es el IEEE 802.11b, que opera en una base no licenciada en la banda de 2.4 GHz con índices de datos de hasta 11 Mbps. IEEE 802.11g, el sucesor tecnológico al IEEE 802.11b, utiliza la modulación OFDM y tiene índices de datos de hasta 54 Mbps. También es compatible con el IEEE 802.11b, tal que las WLANs puedan ser configuradas usando el equipo fabricado según cualquier estándar (aunque usar ambos tipos de equipo juntos puede reducir los índices de datos previstos).

Finalmente, el estándar IEEE 802.11a es utilizado para equipo WWLAN operando en una base no licenciada usando modulación OFDM en la banda de 5 GHz.

El equipo fabricado según los diferentes estándares Wi-Fi tiene varias ventajas y desventajas. Por ejemplo, el equipo que emplea el estándar IEEE 802.11b/g, que funcionan en la banda de 2.4 GHz, es más bajo en costo e incluye generalmente una selección más amplia que equipamiento bajo otros estándares. También, en comparación con equipamiento funcionando en la banda de 5 GHz, las señales se propagan más lejos usando la misma potencia de transmisión. Sin embargo, debido a que este equipamiento es desplegado en la banda de 2.4 GHz, este comparte efectivamente esta banda con muchos otros tipos de dispositivos inalámbricos no licenciados, y esta debe hacerlo con una cantidad más pequeña de ancho de banda que es disponible en la banda de 5 GHz.
Finalmente, el espectro en las bandas de 70, 80 y 90GHz "onda milímetra superior" es también usado para aplicaciones WLAN.

1.5.2.3 Redes Inalámbricas de Larga Distancia – Wireless Metropolitan Area Network (WMANS)

Las redes inalámbricas de Área Metropolitana (WMANs) son redes punto a punto o punto a múltiples puntos con enlaces individuales que pueden atravesar no solamente distancias de hasta 50 Km., que es importante para aplicaciones de backhaul, pero también pueden proporcionar conectividad de última milla en ambientes metropolitanos.

Las WMANs puede emplear el equipamiento propietario del vendedor-específico y las tecnologías asociadas o ellas pueden ser manufacturadas según los estándares del IEEE

Cuando estaba adoptado inicialmente, el estándar WMAN IEEE 802.16 trataba solamente redes licenciadas en el rango de 11 - 66 GHz usando equipamiento estandarizado, incluyendo el Local Multipoint Distribution Service (LMDS) en 24 GHz y 39 GHz. Los índices de datos para estos sistemas son altos, con hasta 155 Mbps dentro de un rango de 2 millas (3,2 Km), pero la transmisión requiere línea de vista entre los puntos de acceso a la red. Esta tecnología está bien adaptada para los "'distritos de negocio donde está permisible el montaje en el tejado de las antenas del suscriptor". Este estándar, sin embargo, no es conveniente para frecuencias bajas debido a su línea de vista y requerimientos grandes de ancho de banda.

Aunque el estándar IEEE 802.16 no fue concluido hasta el 2001, los sistemas de banda ancha inalámbrica funcionaban ya en el rango de frecuencias de 11 - 66 GHz. Antes de que el estándar fuera desarrollado, las tecnologías usadas en estas frecuencias fueron técnicamente similares a las especificadas en el estándar IEEE 802.16 y, de hecho, una de las metas del estándar l EEE 802.16 fue estandardizar el equipamiento para estas bandas, de tal modo permitiendo una mejor interoperabilidad y reduciendo los costos de equipo.

Promover el desarrollo y despliegue continuados de los productos que son basados en la familia de estándares IEEE 802.16, muchos fabricantes de equipos inalámbricos y proveedores de servicio se unieron para crear el foro WiMAX. En febrero del 2005, había

más de 200 miembros en el foro WiMAX, incluyendo, entre otros, Intel, Cisco, Nortel, Alvarion, Airspan , Fujitsu, Nokia, AT&T, Sprint, y Vodafone. El equipamiento de banda ancha inalámbrico fijo WiMAX- certified probablemente no estarán disponibles en los Estados Unidos hasta el final del primer trimestre del 2005, con equipamiento móvil y portable no disponible hasta el final del tercer cuarto del 2005, Muchos predicen que WiMAX se convertirá en un éxito comercial significativo. Incluso antes de que el primer equipo WiMAX certificado en los Estados Unidos fuera enviado, una firma de estudios de mercado estimaba que las ventas del equipo de WiMAX alcanzarán $2.2 billones para el 2009.

Las bandas principales del espectro que son las más probable para los despliegues iniciales del IEEE 802.16 y el equipamiento WiMAX-compliant (equipos que cumplan los requerimientos WiMAX) están en el Broadband Radio Service (BRS)/Educational Broadband Services (EBS) en la banda de 2.5 GHz, y en la banda de 3.5 GHz, que están actualmente disponible para el uso en Europa y otros países (y cuyo uso en los estados Unidos está actualmente como tema pendiente). Mientras que el desarrollo del producto se centra principalmente en aplicaciones de banda ancha inalámbrica exterior, varios proponentes de WiMAX abogan su uso para el establecimiento de redes interiores y aplicaciones de multimedia también.

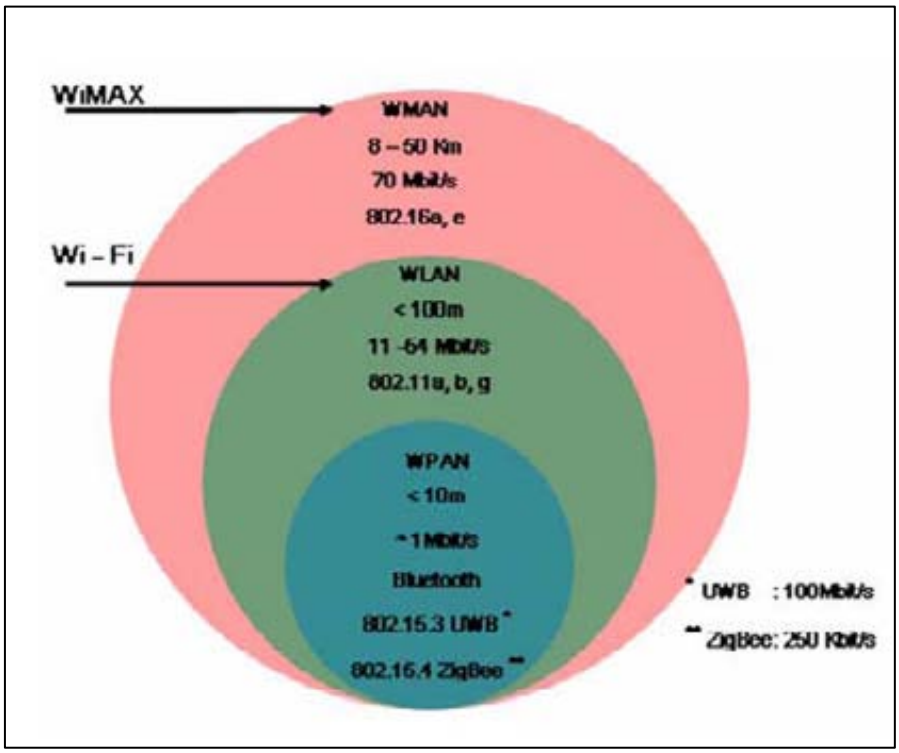

Fig.1.3. Tecnologías de redes inalámbricas.

1.6 Redes WiMAX.

1.6.1 Antecedentes Generales.

La arquitectura de redes WiMAX definirá las diferentes formas de comunicación entre los emisores y receptores de señales (estaciones bases y estaciones de subscriptores). El estándar IEEE 802.16 proporcionará servicio de banda ancha inalámbrica a los usuarios mediante dos tipos de arquitectura de redes, cada una con características especiales y particulares. Estas formas de enlaces son Punto a Múltiples Puntos (PMP) y Malla (Mesh).

1.6.2 Arquitectura Punto a Múltiples Puntos (PMP).

El downlink, desde la BS al usuario, opera en una base PMP. El IEEE 802.16 opera con una BS central y una antena sectorizada que es capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente. Dentro de una canal de frecuencia dado y un sector de antena, todas las estaciones reciben la misma transmisión, o parte de ella. La BS es el transmisor solamente operando en ésta dirección, para que ésta transmita sin tener que coordinar con otras estaciones, excepto para la duplexación por división de tiempo (TDD) en total que puede dividir el tiempo en periodos de transmisión uplink y downlink. El downlink es generalmente broadcast. En casos donde el DL-MAP no indica explícitamente que una porción de la subtrama downlink es para una SS específica, todas las SSs capaces de sintonizar a esta porción de la subtrama downlink sintonizarán. Las SSs chequean las CIDs de la PDU recibida y retienen solamente aquellas PDUs direccionadas a éstas.

Las estaciones de suscriptores comparten el uplink a la BS en una base de demanda. Dependiendo de la clase de servicio utilizado, derechos continuos de transmisión pueden ser entregados ala SS, o el derecho a transmitir puede ser entregado por la BS después de recibo de una petición desde el usuario.
Dentro de cada sector, los usuarios siguen un protocolo de transmisión que controla la competición entre usuarios y permite que el servicio sea ajustado a los requerimientos de retardo y banda ancha de cada aplicación de usuario.

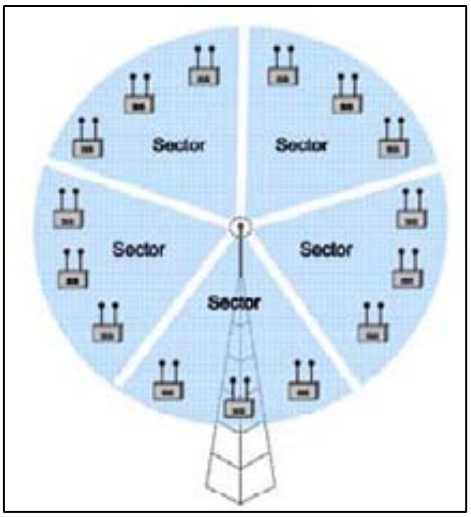

Fig.1.4. Ejemplo de un enlace PMP.

Las conexiones, una vez establecidas, pueden requerir mantenimiento activo. Los requerimientos del mantenimiento varían dependiendo del tipo de servicio conectado. Por ejemplo, los servicios T1 no canalizados requieren virtualmente no mantenimiento de la conexión ya que ellos tienen un ancho de banda constante asignado en cada trama. Los servicios T1 canalizados requieren algo de mantenimiento debido a los dinámicos (pero relativamente lentamente cambiando) requerimientos de ancho de banda si estén comprimidos, unidos con el requerimiento que el ancho de banda total sea disponible en demanda. Los servicios IP pueden requerir una cantidad substancial de mantenimiento continuo debido a su naturaleza de ráfaga y debido a la alta posibilidad de fragmentación. Como con el establecimiento de la conexión, las conexiones modificables pueden requerir mantenimiento debido al estímulo desde el lado de la SS o de la red de la conexión.
Finalmente, las conexiones pueden ser terminadas. Esto generalmente ocurre cuando el contrato de servicio de un cliente cambia. La terminación de una conexión es estimulada por la BS o la SS.
Estas tres funciones de la administración de la conexión son soportadas a través del uso de configuración estática y la adición dinámica, modificación, y eliminación de las conexiones.

1.6.3 Arquitectura Malla (MESH).

La principal diferencia entre los modos PMP y la opcional Mesh es que en el modo PMP, el tráfico solo ocurre entre la BS y las SSs, mientras en el modo Mesh el tráfico puede ser ruteado a través de otras SSs y puede ocurrir directamente entre SSs. Dependiendo en el algoritmo de protocolo de transmisión usado, eso puede ser hecho en la base de igualdad usando programación distribuida, o en la base de la superioridad de la BS Mesh, lo cual efectivamente resulta en la programación centralizada, o en una combinación de ambas.
Dentro de una red Mesh, un sistema que tiene una conexión directa a servicios "backhaul" fuera de la red Mesh, es llamada una BS Mesh. Todos los otros sistemas de redes Mesh son llamados SS Mesh. En general, los sistemas de una red Mesh son llamados nodos.
Dentro de un contexto Mesh, el 'uplink" y "downlink' son definidos como tráfico en la dirección de la BS Mesh y desde la BS Mesh, respectivamente.

Los otros tres términos importantes de los sistemas Mesh son neighbor (vecino), neighborhood (vecindario) y extended neighborhood (vecindario extendido). Las estaciones con las cuales un nodo tiene enlaces directos son llamadas neighbors. Los neighbors de un nodo son considerados a ser “one hop” (un salto) desde el nodo. Un extended neighborhood contiene, adicionalmente, todos los neighbors de un neighborhood.

En un sistema Mesh ni siquiera la BS Mesh puede transmitir sin tener que coordinar con otros nodos. Usando la programación distribuida, todos los nodos incluyendo la BS Mesh coordinarán sus transmisiones en su “two-hop” (dos saltos) neighborhood y enviarán sus programas (recursos disponibles, peticiones y respuestas) a todos sus neighbors.

Opcionalmente el programa puede también ser establecido por peticiones dirigidas no coordinadas y respuestas entre dos nodos. Los nodos asegurarán que las transmisiones resultantes no causan colisiones con tráfico de datos y control programado por cualquier

otro nodo en el “two-hop neigbhorhood”. No hay diferencia en el mecanismo usado en la determinación del programa para el downlink y el uplink.

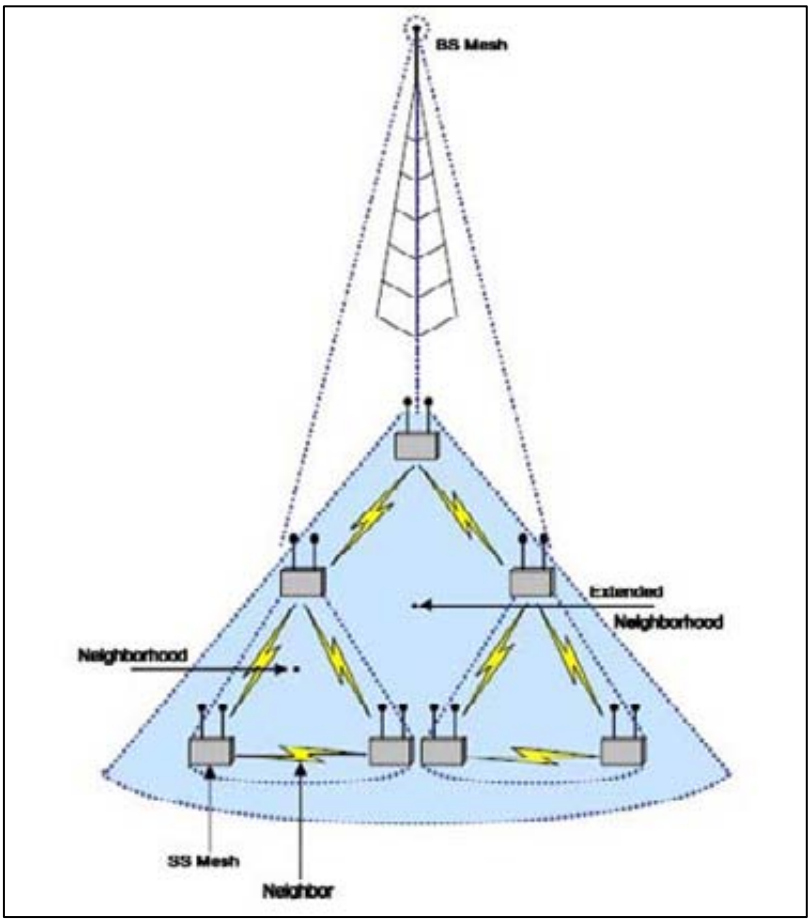

Fig.1.5. Ejemplo de un enlace Mesh.

Los sistemas Mesh típicamente usan antenas omnidireccionales o manejables a 360°, pero pueden también ser localizado usando antenas de sectores. En el borde del área de cobertura de la red Mesh, donde solamente una conexión a un punto singular es necesitada, aún antenas altamente direccionales pueden ser utilizadas.

1.7 Tecnologías para WiMAX.

1.7.1 Antenas Inteligentes.

En este ítem del trabajo solo se dará a conocer en forma general el funcionamiento de las antenas inteligentes, puesto que se abarcará con mayor profundidad en los próximos capítulos.

Las primeras antenas utilizadas eran omnidireccionales, es decir, irradiaban y recibían señales hacia y desde todas las direcciones. No poseían la capacidad de adaptar sus recursos a las condiciones de radio, y su estrategia estaba limitada a solo evitar los desafíos ambientales en función de la potencia de la señal irradiada. Así, los usuarios que eran cubiertos por estas antenas sufrían de continuos efectos perjudiciales a raíz de la interferencia natural producida.
La estrategia omnidireccional impactaba directamente y adversamente en la eficiencia espectral, limitando la reutilización de frecuencia.

Una mejora a esta estrategia consistió en desarrollar un sistema sectorizado de antenas usando antenas direccionales. Un sistema sectorizado de antenas toma un área celular tradicional y la subdivide en sectores que son cubiertos por antenas direccionales localizadas en la misma estación base. Normalmente una celda con un lóbulo de radiación de 360° es dividida en tres lóbulos de 120°. Se ha llegado a utilizar hasta seis sectores por celda en servicios prácticos. Operacionalmente, cada sector es tratado como una celda diferente, cuyo rango es más amplio que en el caso de una antena omnidireccional. Un sector de antenas incrementa la reutilización de frecuencia reduciendo la interferencia potencial de una celda original, por lo que son ampliamente usados para este propósito.

Así, las antenas de sector proveen una mejor ganancia sobre un rango restringido de azimut comparado con las antenas omnidireccionales. Esto es conocido como ganancia de elemento de antena, y no debe ser confundido con la ganancia de procesamiento asociada con las antenas inteligentes. Mientras que las antenas sectorizadas multiplican el uso de los canales, ellas no superan las mayores desventajas de la interferencia co-canal propia de las antenas omnidireccionales.

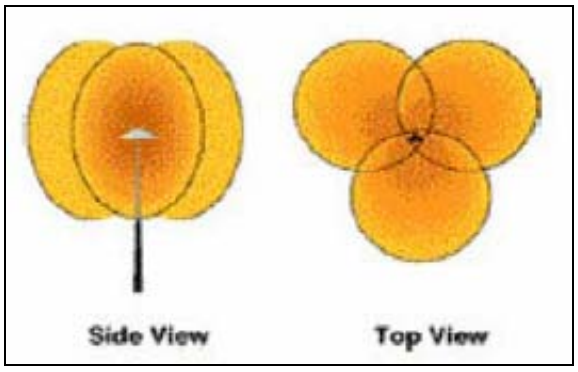

Fig.1.6. Antena sectorizada y patrones de cobertura.

Un sistema de antenas inteligentes, o como llamaremos también Smart Antennas, combina múltiples elementos de antenas que poseen la capacidad de procesamiento de señal para optimizar sus patrones de radiación y/o recepción automáticamente en respuesta a un ambiente de radio cambiante o dinámico.

El uso de este tipo de antenas resulta en un uso más eficiente de la potencia y del espectro de frecuencia, incrementando la potencia útil recibida así como la reducción de interferencia, al mismo tiempo que aumenta la capacidad de la red a través de una nueva técnica de acceso múltiple, denominada Acceso Múltiple por División Espacial, SDMA.
Los beneficios del uso de estas antenas con posibles ya que dirigen la señal al usuario en forma de lóbulo muy estrecho, por eso razón son llamadas también Antenas Adaptativas.

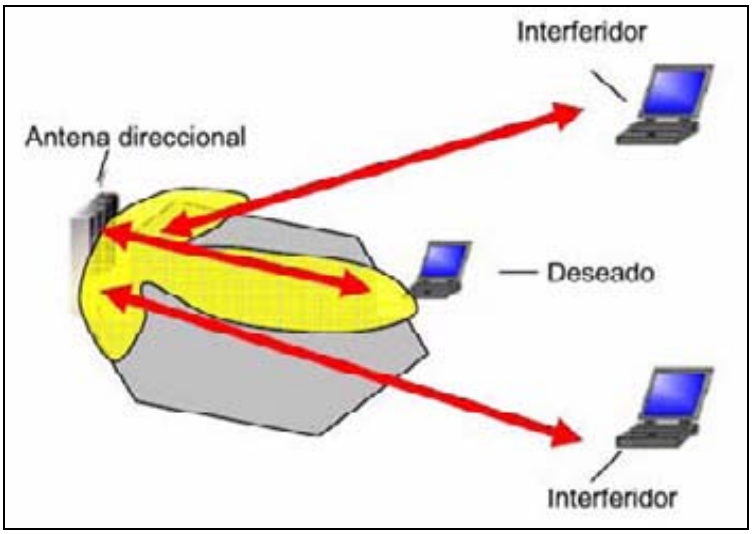

Fig.1.7. Principio de una antena adaptativa.

En términos específicos, una antena inteligente está constituida por un número de elementos radiantes, una red de combinación/división y una unidad de control. La unidad de control puede ser llamada la inteligencia de la antena inteligente, normalmente realizada usando un procesador digital de señales, DSP.
El DSP controla los parámetros alimentadores de la antena, basados sobre varias entradas, en orden a optimizar el enlace de comunicación. El sistema funciona de tal forma que cuando el usuario se desplaza, se modifica la dirección del lóbulo para que se mueva con él. En el caso común en que una estación base atienda a varios usuarios simultáneamente, las antenas adaptativas, permiten transmitir el haz desglosado en varios lóbulos y muy directivos, de forma que se reduce la interferencia en la red considerablemente y se incrementa la capacidad en ambos sentidos.
Estrictamente hablando, las antenas no son inteligentes, sino que lo son los sistemas de antenas.

CAPITULO II. ANTENAS INTELIGENTES.

2.1 Introducción a la Tecnología de Antenas Inteligentes.

La demanda del incremento de la capacidad de las redes inalámbricas ha motivado la reciente búsqueda hacia el desarrollo de algoritmos y estándares que exploten el espacio de manera selectiva. Como consecuencia de esta demanda se está investigando sobre el diseño de antenas inteligentes.

Los sistemas de antenas inteligentes proporcionan oportunidades para incrementar la capacidad del sistema, proporcionando calidad de servicio, control de potencia y alargar la duración de las baterías de las unidades portátiles

Una antena inteligente es la combinación de un arreglo de antenas (arrays) con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno. Es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento.

Figura 2.1. Esquema de una antena inteligente.

2.1.1 Cómo Funcionan las Antenas Inteligentes.

El principio básico de las antenas inteligentes es que cada antena recibe una señal separada y definida. Dependiendo como está configurado el sistema inalámbrico, el receptor puede usar una señal para mejorar la calidad de otra señal, o podría combinar los datos de señales múltiples para ampliar el ancho de banda.
La señal que reciben las antenas es una señal de radiofrecuencia (RF) sin procesar. Esta RF se encamina inicialmente a circuitos que la manejan como una señal analógica, tal como un radio. Algunos dispositivos con antenas inteligentes aplican sus conceptos inteligentes en esta etapa analógica. Después del procesamiento inicial, la RF se convierte en una señal digital, misma que se envía al dispositivo host como una cadena de datos. La mayoría de los dispositivos que usan antenas inteligentes aplican sus conceptos inteligentes en este conjunto de circuitos digitales.

El despliegue de antenas inteligentes en los sistemas de comunicaciones móviles no ha sido una realidad. En parte, este hecho se deriva de que no se ha podido cuantificar ni

valorar el impacto de la antena inteligente sobre la red. La instalación de la antena inteligente en la estación base supone una modificación en las etapas de planificación y dimensionado de la red celular, un cambio en la gestión de los recursos radio (control de potencia, traspasos entre celdas) y, finalmente, un cambio en la tecnología necesaria en el receptor (por ejemplo, el criterio y algoritmo de conformación empleados impondrá unos determinados requisitos de procesado digital).
En cuanto a los cambios en la etapa de planificación, la introducción de la antena inteligente supondrá una reducción en el número de estaciones base necesarias para dar cobertura a una zona de servicio y un aumento en el número de usuarios que puede atenderse. Por otro lado, es necesario definir y cuantificar un conjunto de parámetros que caractericen las prestaciones de la antena inteligente en diferentes entornos, para poder seleccionar el esquema de conformación más apropiado en cada caso.

Las antenas inteligentes, a diferencia de las antenas convencionales, pueden trabajar de dos modos distintos:

1. Modo omnidireccional. La antena en este modo funciona exactamente igual que las antenas convencionales es decir, emite señal con la misma intensidad hacia todas direcciones.

2. Modo direccional. En este modo, la antena emite señal en una sola dirección y con un cierto ángulo de apertura. La consecuencia de transmitir en este modo se traduce en un mayor alcance hacia la dirección donde emite la antena debido a que ésta concentra todo su espectro de potencia en un rango de cobertura mucho menor.

2.1.2 Tipos de Alcances.

Según en el modo en que trabaje la antena, su alcance será uno u otro. Si la antena trabaja en modo direccional su alcance será mucho mayor que si lo hace en modo omnidireccional ya que, en este caso, concentra toda su potencia en un rango menor. Definimos zona, como la región donde se encuentran todos los usuarios. Esta zona se divide en dos subzonas.

1. Subzona Broadcast.

Esta zona corresponde al rango de alcance de la antena en modo omnidireccional.

2. Subzona Beamforming.

Esta zona esta dividida en n beams. Un beam se define como el rango de alcance de la antena en modo direccional para un cierto ángulo de apertura. Según el ángulo de apertura que se utilice habrá más o menos beams.

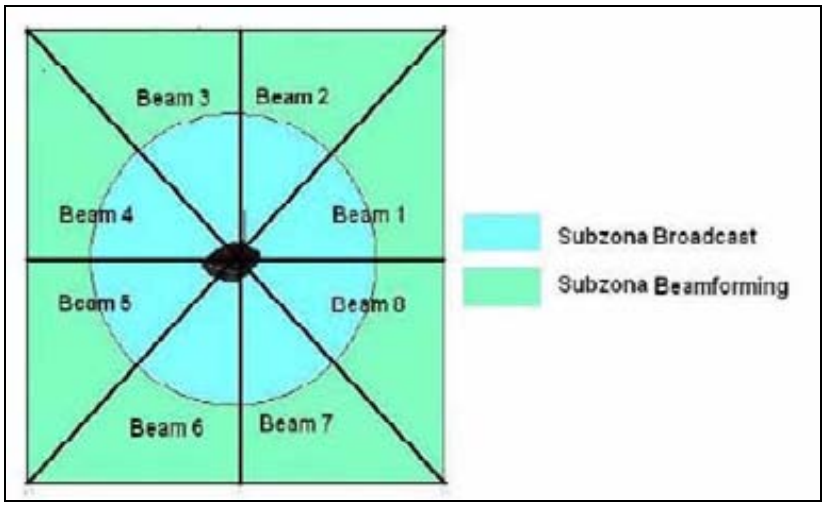

Figura 2.2. Tipos de Alcance de las Antenas.

Cabe comentar que pese a que en el dibujo la cobertura direccional (beams) es de forma triangular, en realidad la cobertura es un lóbulo redondeado donde existe una distancia máxima.

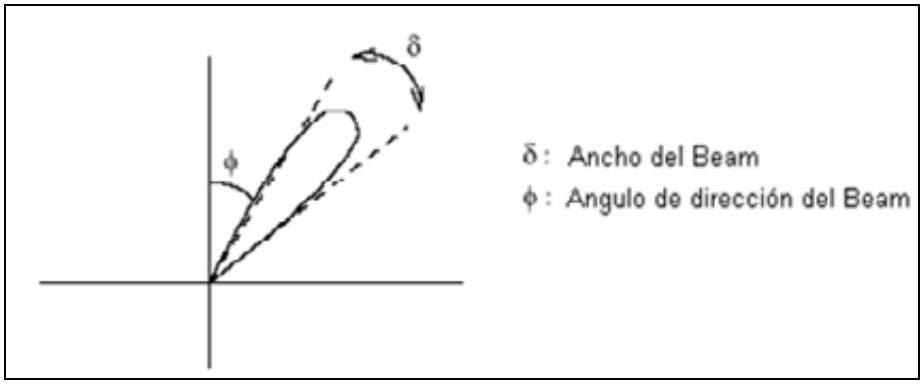

Figura 2.3. Vista de un Lóbulo.

La característica principal de este tipo de antenas es que pueden orientar la señal que emiten hacia una cierta dirección donde se encuentra el usuario con el que se realiza la comunicación. Para esto, cada usuario debe tener, además de su propio identificador, una firma espacial que indique las coordenadas de la posición dentro de la zona. El AP utiliza la firma espacial de cada usuario para saber hacia donde debe enfocar la antena en cada caso.

Obviamente, existe una fase previa a la transmisión de datos entre el AP y los usuarios. En esta fase, el AP debe descubrir cuáles son los usuarios que se encuentran dentro de la zona y obtener sus firmas espaciales.

Una vez el AP tiene conocimiento de la firma espacial de todos y cada uno de los usuarios se encuentra en condiciones de iniciar una transferencia de información.

2.1.3 Tipos de Antenas Inteligentes

Los sistemas de Antenas inteligentes de clasifican en tres tipos:

1. Haz Conmutado.
2. Haz de Seguimiento.
3. Haz Adaptativo

2.1.3.1 Haz Conmutado (Switched Beam).

Es la configuración más simple de Antenas Inteligentes. El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultando un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas.
En cada posición discreta del haz se activa el sistema de recepción para detectar la posible existencia de señales. En caso de recibir señal, el sistema guarda información correspondiente a la posición del haz, es decir, el ángulo más la identificación de usuario, y se establece la comunicación con el usuario en un intervalo de tiempo. Después de este intervalo se conmuta al siguiente haz para detectar la existencia de otros posibles usuarios hasta llegar al límite angular de la zona de cobertura. Este proceso se repite permanentemente en el tiempo.

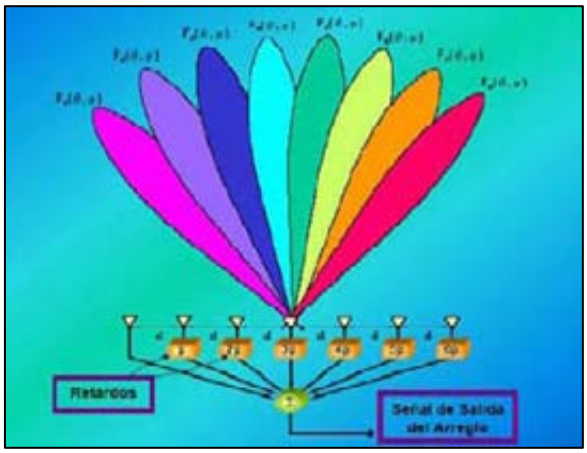

Figura 2.4. Antena de Haz Conmutado.

Una de las principales ventajas que presenta sobre el sistema de haz adaptativo es que resulta menos complejo de implementar e instalar.

Por otra parte, la mayor desventaja es que el haz presenta una baja resolución, como se muestra en la siguiente figura.

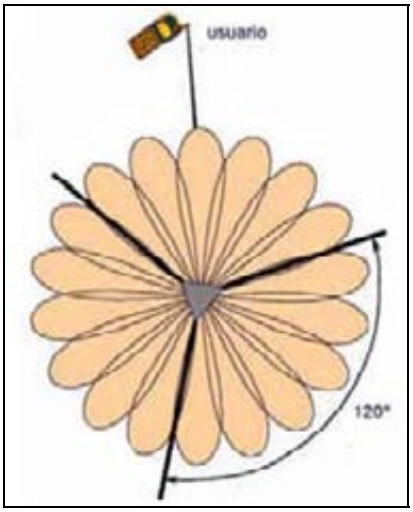

Figura 2.5. Resolución del Haz.

Elementos del Sistema de Haz Conmutado:

- Matriz de Butler.
- Matriz de Blass.
- Acopladores Direccionales.
- Híbridos 3dB-90º.
- Líneas de Transmisión.
- Switches de Microondas (Diodos PIN).
- Sistema de Control de Fase.

2.1.3.2 Haz de Seguimiento (Scanning).

Este sistema es un poco más complejo que el anterior. Esta conformado por un arreglo de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a los elementos del arreglo para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer comunicación con el usuario respectivo.
A diferencia del sistema de haz conmutado, el sistema haz de seguimiento ejecuta algoritmos DoA (Direction of Arrival) para identificar la dirección de arribo de las señales de los usuarios.

Otra diferencia es que los cambios de fase para en el sistema conmutado se realizan a ángulos fijos, es decir corresponden a ángulos prefijado en el sistema y en el sistema de Haz de seguimiento el posicionamiento del haz tiene mayor resolución angular.

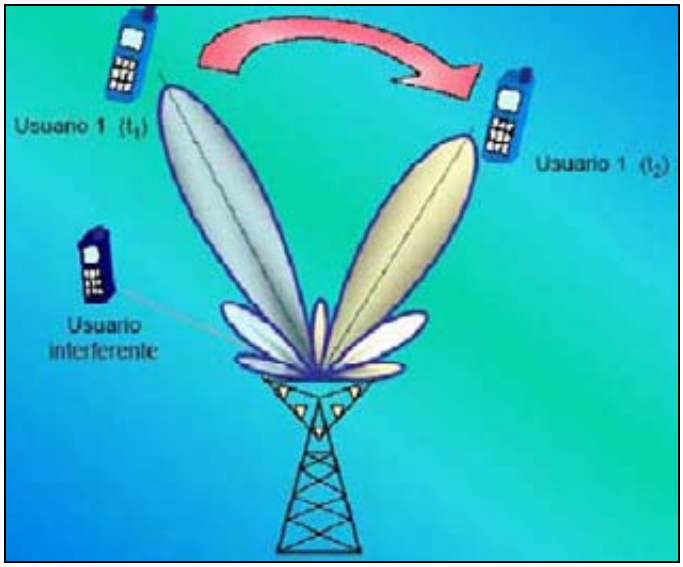

Figura 2.6. Antena de Haz de Seguimiento.

Elementos del Sistema de Haz de Seguimiento:

- Desfasadotes.
- Compensadores.
- Líneas de Transmisión.
- Sistema de Detección de Dirección de Arribo (DoA).
- Sistema de Control de fase.

2.1.3.3 Haz Adaptativo.

La técnica de haz adaptativo constituye el máximo nivel de inteligencia que se podría dar a un sistema de antenas. En este sistema, las salidas de cada elemento del arreglo de antenas se ponderan con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la posición del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes de multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

Esta técnica requiere el uso de algoritmos (DoA) tanto para la detección de las señales de arribo e interferentes como para la optimización de los pesos que conforman el haz.

Figura 2.7. Antena de Haz Adaptativo.

La idea de usar arreglos de antenas y procesamiento de señales para mejorar la calidad de la señal recibida ha existido por muchos años. De hecho, muchos diseños de sistemas de antenas inteligentes han sido implementados en sistemas de defensa, pero no estuvieron comercialmente disponibles por los altos costos.

Esto debido principalmente a:

- El estado del arte de los procesadores digitales de señales (DSP).
- Los procesadores de propósito general (y los ASICs–Application Specific Integrated Circuits).
- Las técnicas de procesamiento de señales basadas en software (algoritmos).

Los sistemas de antenas inteligentes se han vuelto prácticos para los sistemas de comunicaciones celulares (móviles) que es donde mas se usan.

Elementos del Sistema de Haz Adaptativo:

- Mezcladores.
- Oscilador Local.
- Filtros Pasa-Banda.
- Convertidor Analógico/Digital.
- Down-Converter.
- Sistema de Detección de Dirección de Arribo (DoA).
- Sistema de Conformación de Haz.

2.1.4 Cuadro Comparación Sistema Conmutado Versus Sistema Adaptativo.

En la siguiente figura se muestran dos sistemas, el de haz conmutado (el más simple) y el de haz adaptativo (mas complejo).
Es posible darse cuenta que el Adaptativo es capaz, como se mencionó anteriormente, de identificar claramente, mediante los algoritmos necesarios, las señales interferentes, dando lugar a un nulo de radiación. Por esta razón, resulta mas eficaz la implementación de este sistema, pero también, mas costoso.

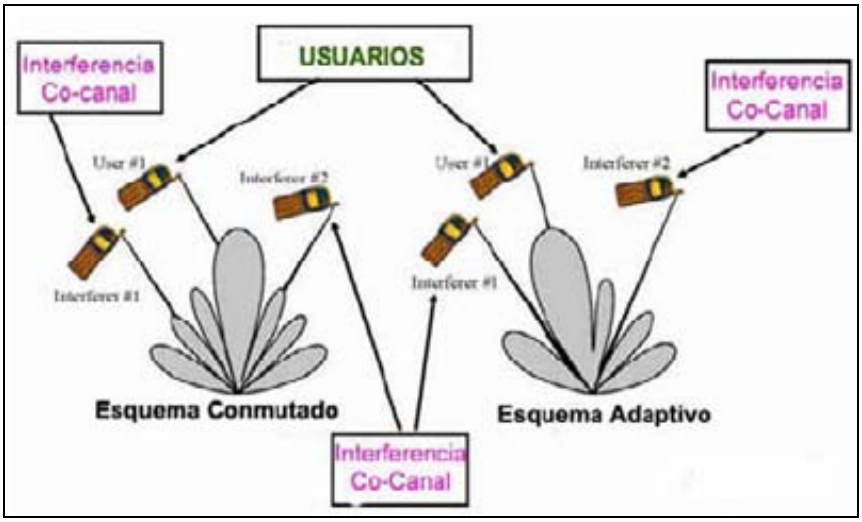

Figura 2.8. Comparación entre Haz Conmutado y Haz de Seguimiento.

2.1.5 Cuadro Resumen Tipos de Antenas.

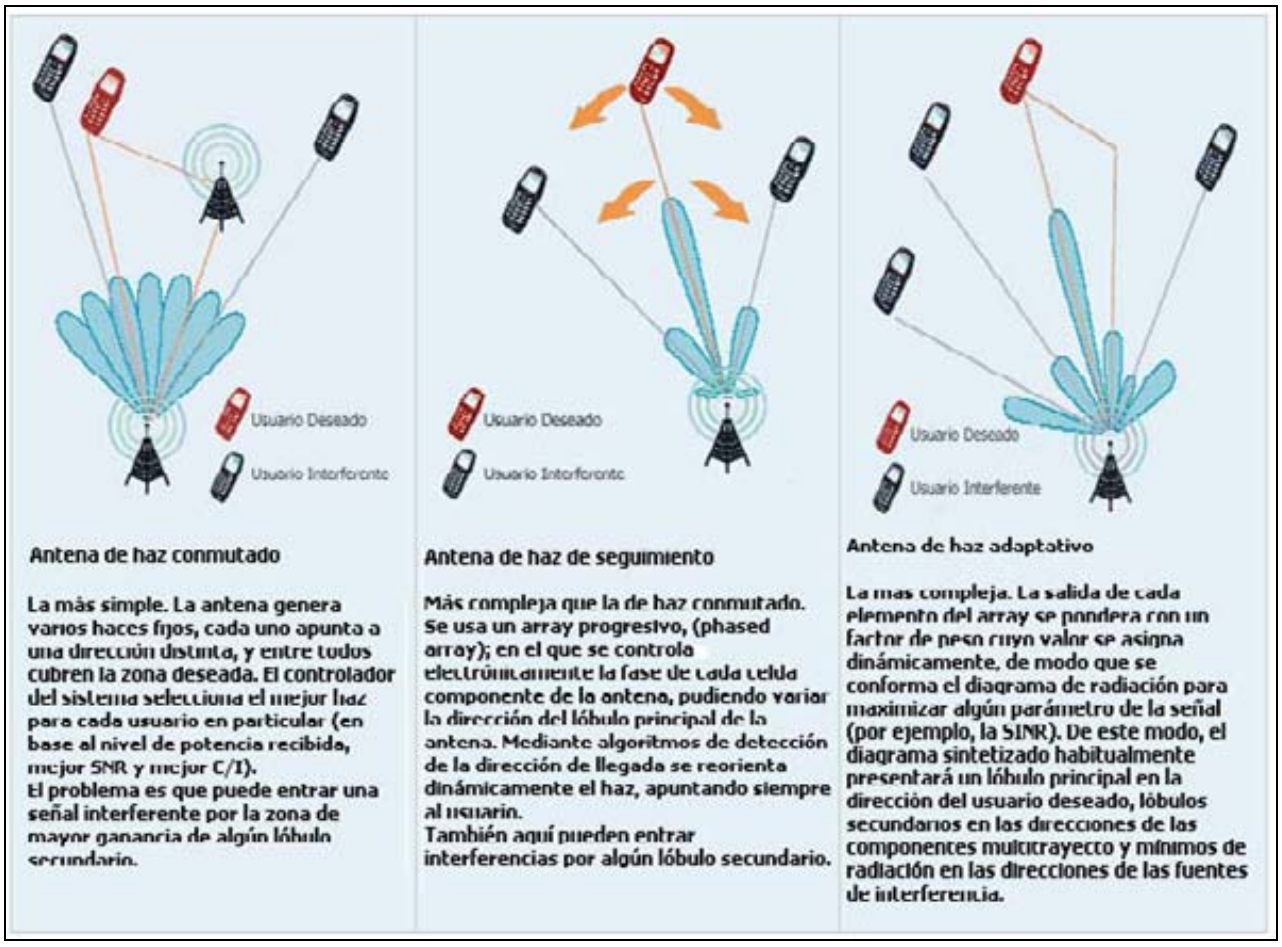

Figura 2.9. Cuadro Resumen de tipos de Antenas.

2.1.6 Configuración de una Antena Inteligente.

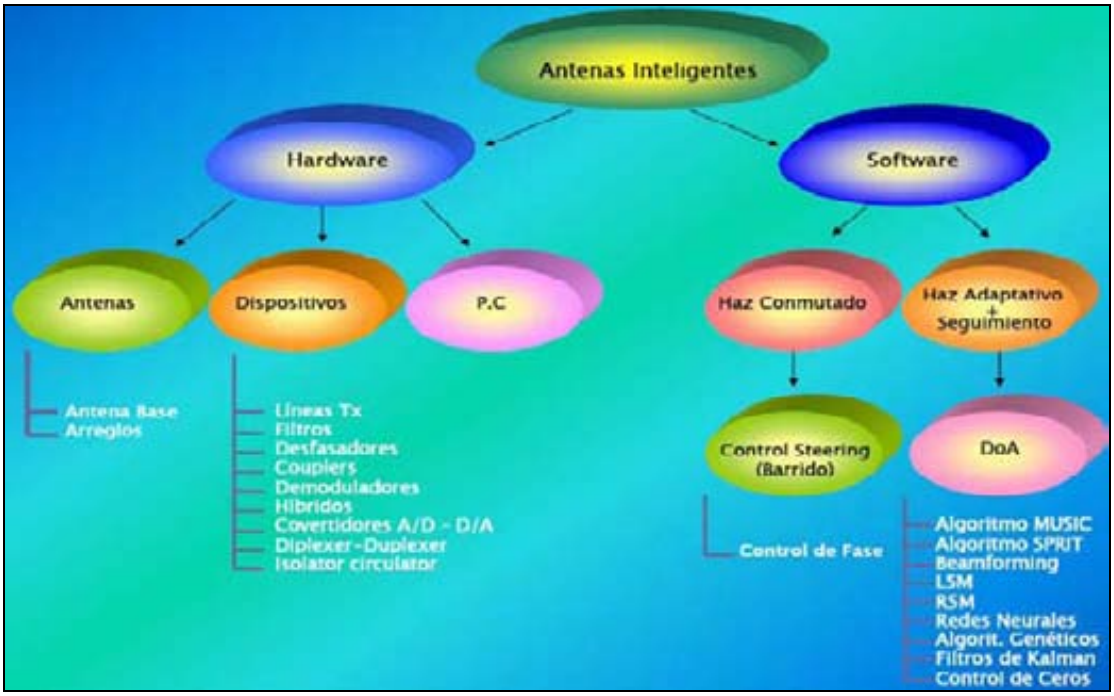

Figura 2.10. Configuración de una Antena Inteligente.

2.1.7 Propagación de la Señal.

2.1.7.1 Multitrayecto.

La señal generada por el usuario del dispositivo móvil es de naturaleza omnidireccional, causando que la señal sea reflejada por estructuras tales como edificios y resulte en el arribo en la estación base de muchas copias retardadas de la señal.

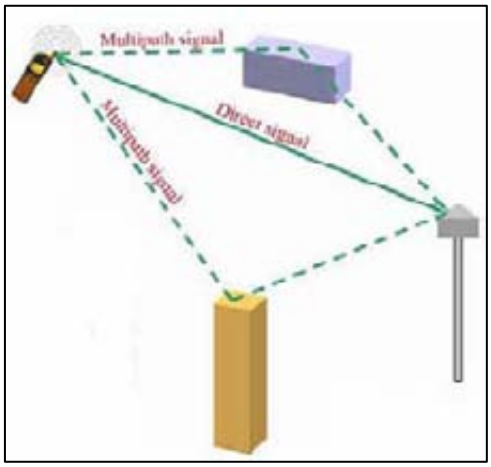

Figura 2.11. Propagación de la Señal Multitrayecto

2.1.7.2 Problemas Asociados con el Multitrayecto.

En general, estas múltiples copias retardadas de la señal no están en fase (por ejemplo, fuera de fase) en la estación base y presentarán problemas posteriores tales como desvanecimiento (fading), cancelación de fase y retardo dispersivo.
En la siguiente figura se puede apreciar dos señales multitrayecto desfasadas en una cierta cantidad de tiempo.

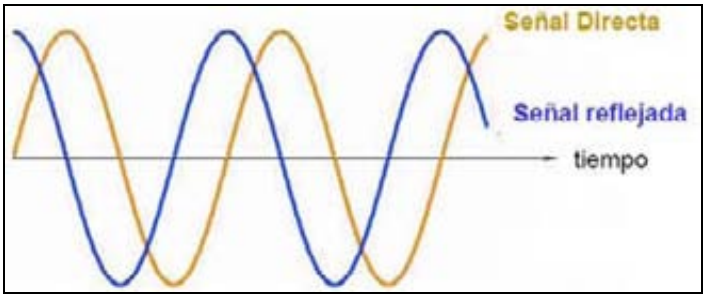

Figura 2.12. Problemas en Señales de Multitrayecto

2.1.7.2.1 Desvanecimiento (Fading).

Tanto como las señales sean retardadas, las fases de los componentes de las señales de multi-trayectos pueden combinarse destructivamente sobre un ancho de banda estrecho, resultando en un desvanecimiento del nivel de señal recibida.
Esto resulta en una reducción de la intensidad de la señal, conocido como desvanecimiento tipo Rayleigh o rápido.

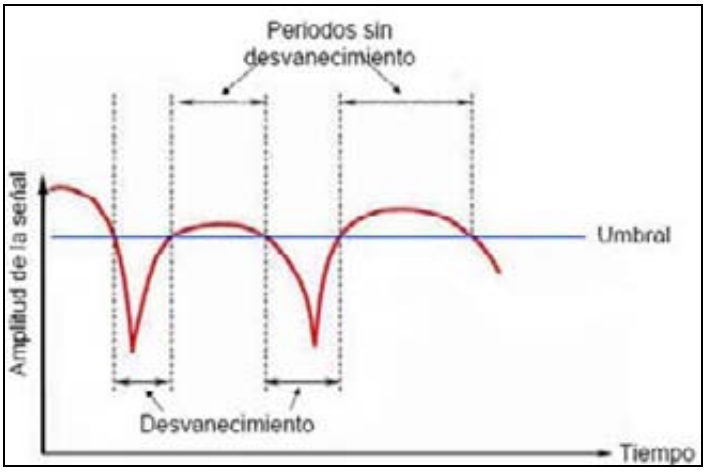

Figura 2.13. Desvanecimiento.

El desvanecimiento está cambiando constantemente y es un fenómeno en 3-D creando zonas de desvanecimiento.

Estas zonas son usualmente pequeñas y tienden a atenuar periódicamente la señal recibida, por ejemplo degradarla en calidad, en tanto los usuarios pasen a través de ellos.

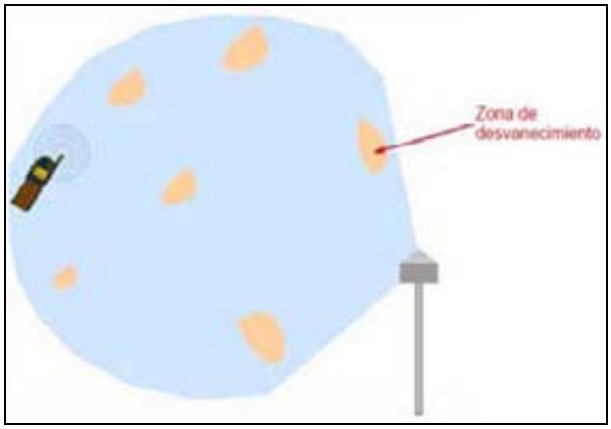

Figura 2.14. Atenuación de la Señal recibida debido al desvanecimiento.

2.1.7.2.2 Cancelación de Fase.

Ocasionalmente, las señales del multitrayecto están rotadas 180º fuera de fase. El problema del multitrayecto es llamado cancelación de fase. Cuando esto ocurre, la llamada no se puede mantener por un periodo largo de tiempo y se interrumpe.

La siguiente figura hace mención a lo dicho anteriormente. Se muestran dos ondas multitrayecto desfasadas 180°, logrando una cancelación completa de la señal.

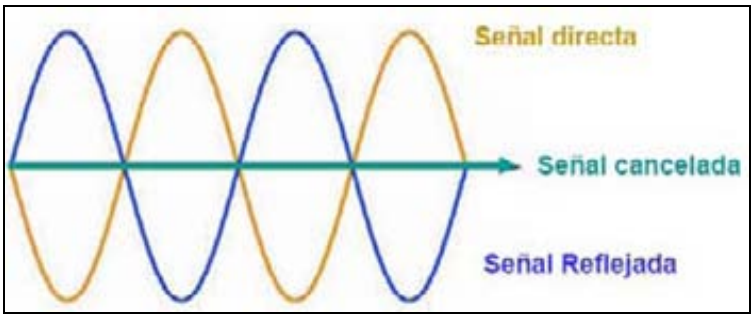

Figura 2.15. Cancelación Completa de la Señal

2.1.7.2.3 Dispersión del Retardo.

Con señales digitales, el efecto del multitrayecto causa una condición llamada dispersión del retardo (*delay spread*), los símbolos que representan los bits colisionan unos a otros causando Interferencia InterSímbolos (ISI). Cuando esto ocurre el BER (BitError Rate) se incrementa y se observa una degradación apreciable en la calidad.

Graficando lo mencionado, se muestra la siguiente figura en donde es posible percatarse de la colisión de bit en una transmisión digital

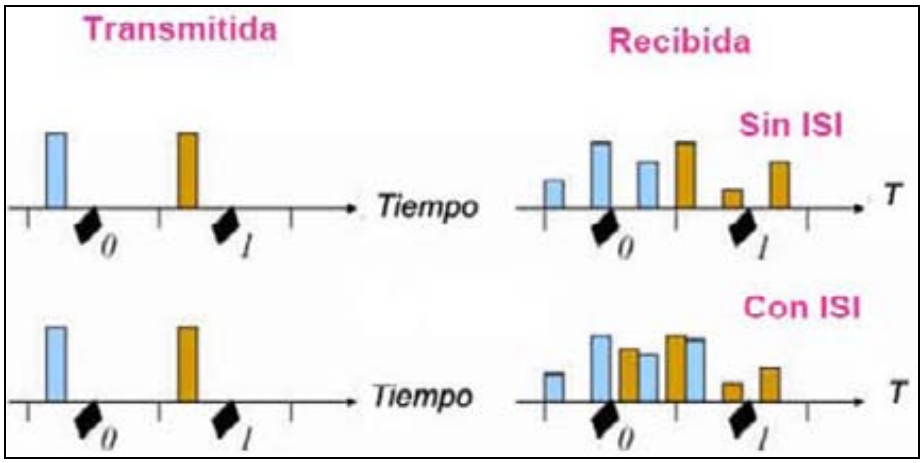

Figura 2.16. Colisión de bit en una Transmisión Digital.

2.1.7.3 Interferencia Co-Canal.

Ocurre cuando una señal de un usuario interfiere con otra celda que tiene el mismo grupo de frecuencias. Es el factor principal limitante en la maximización de la capacidad del sistema inalámbrico. Las celdas omnidireccionales sufren más que las celdas sectorizadas.

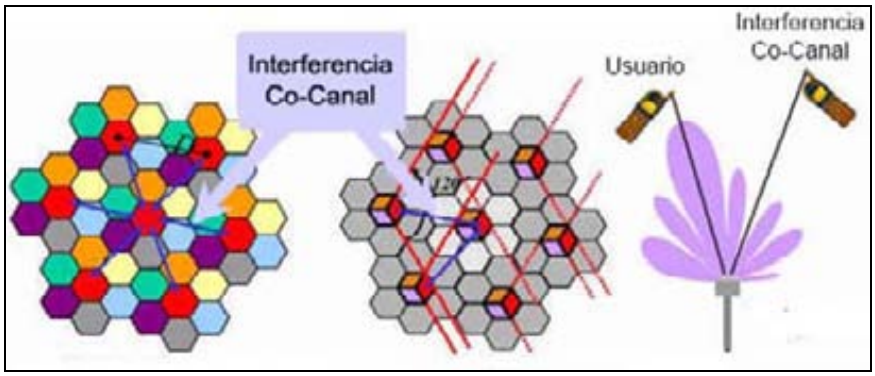

Figura 2.17. Interferencia Co-Canal

Los sistemas de antenas inteligentes combaten los efectos de la interferencia co-canal de manera más eficiente porque enfocan el patrón de radiación sobre determinados usuarios y direccionan nulos hacia los usuarios no deseados.

2.2 Filtrado Espacial en los Receptores.

El proceso de Filtrado Espacial de frecuencias se lleva a cabo en un array de antenas o sistema de antenas, que reciben señales las que están acompañadas con otras señales o interferencias y ciertas componentes de ruido.
Cada señal se caracteriza por un ángulo de llegada y por una banda de frecuencias. Es decir, se tiene algo así como una caja negra con N entradas y M salidas. El objetivo que tendrá el sistema es obtener en cada salida una y sólo una de las señales deseadas, atenuando las interferencias, ruido y resto de las señales deseadas.

Comencemos por suponer que tenemos un arreglo lineal de sensores receptores o antenas ubicadas espacialmente sobre un sistema de ejes coordenados y numerados positivamente; las señales (deseadas y ruido) inciden sobre cada sensor con un ángulo y frecuencia específico. Es decir, cierta señal tiene un contenido frecuencial diferente a las otras señales. ¿Pero cómo la separamos de las otras señales?, filtrándola temporalmente y así extraerla del resto de las señales recibidas. Pero, qué sucederá si dos o más señales vienen con un contenido frecuencial igual o muy similar? La respuesta, aunque un poco prematura, nos los da el sistema conformador de haz o beamformer; este será capaz de discriminarlas en función del ángulo de incidencia o sea en función de una variable espacial; así el sistema estará filtrando cada señal espacialmente.

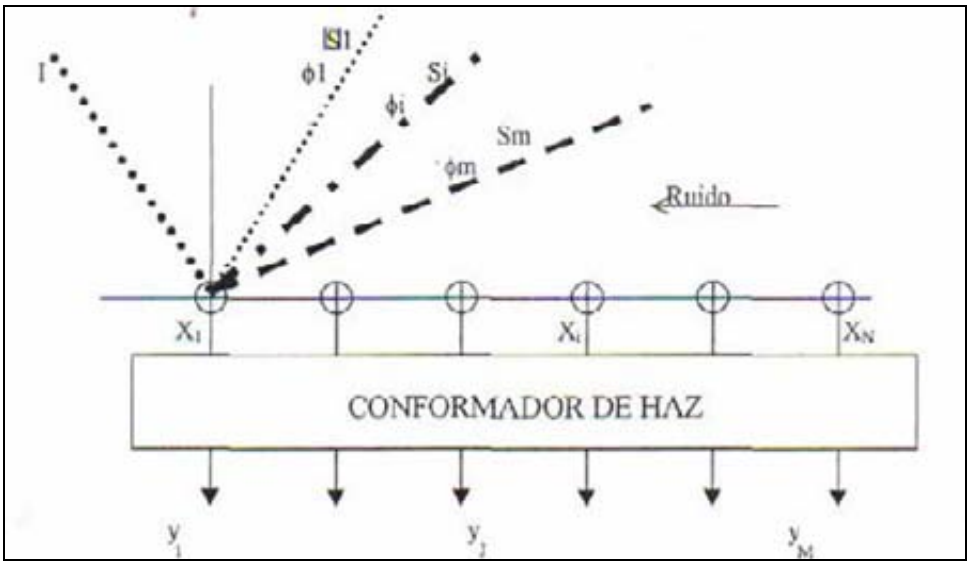

Figura 2.18. Conformación del Haz.

El beamformer o conformador procesa las señales recibidas en cada sensor y obtiene a partir de ellas una señal resultante. Como resultado se obtiene una antena con un diagrama de radiación que presenta un haz hacia la dirección de interés.

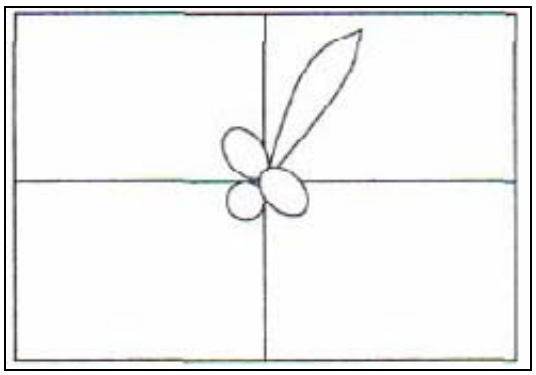

Figura 2.19. Diagrama de Radiación.

2.2.1 Receptor de Alta Sensibilidad (HSR).

Esta configuración consiste en utilizar antenas inteligentes sólo en el enlace ascendente. De este modo, gracias a la mayor directividad de la antena, se consigue mejorar la sensibilidad global de la cadena de recepción de la estación base. Esto supone varias ventajas: En primer lugar, al mejorar la sensibilidad en el enlace ascendente, aumentará la extensión de la zona de cobertura. Esta mejora podría llegar a ser tan grande como para que fuera el enlace descendente el más restrictivo a la hora de calcular la cobertura de una estación base. En segundo lugar, la mayor ganancia de la antena significa también que los móviles más cercanos podrían emitir con menor potencia manteniendo la calidad del enlace, con el consiguiente ahorro de baterías.
Por último, se lograría una mejora de la relación C/I, lo que implicaría menores tasas de error una mejor calidad. No podría emplearse la mejora en la C/I para incrementar la capacidad de un sistema CDMA, ya que dicha mejora sólo está presente en el enlace de subida y no en el de bajada.

2.2.2 Rechazo de Interferencias por Filtrado Espacial (SFIR).

En esta configuración se emplean antenas inteligentes tanto en el enlace ascendente como en el descendente, con lo cual se consigue aprovechar la mejora por selectividad espacial en ambas direcciones.
En este caso, la mejora que se experimenta en la C/I, además de reducir la BER del sistema, puede explotarse directamente para aumentar la capacidad de un sistema CDMA. Esto también podría lograrse indirectamente en GSM, si se hace un plan de frecuencias más ajustado: al ser menor la distancia de reutilización, puede aumentar el número de portadoras por estación base.

2.2.3 Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA).

Esta sería la configuración más compleja, pues consiste en aprovechar al máximo las propiedades de selectividad espacial de las antenas de ambos enlaces para ubicar simultáneamente a varios usuarios en el mismo canal. Es decir, que podría haber varios usuarios utilizando al mismo tiempo la misma frecuencia y el mismo código de *scrambling*

(o el mismo *timeslot* en GSM), estando discriminados únicamente por su posición angular respecto de la estación base.

En este caso, el aumento en la capacidad se produce de forma directa, debido a que se ha añadido una nueva dimensión para la gestión del espectro. La introducción de SDMA supondría la necesidad de contar también con complicados sistemas de gestión de usuarios, de asignación de canales, etc.

2.3 Antenas Adaptativas.

Las antenas adaptativas son un paso más en las tecnologías de antenas inteligentes. El control del diagrama de radiación se hace por medio de un algoritmo adaptativo que pretende minimizar una señal de error generada a partir de una referencia en el receptor de la estación base. Para ello, es necesario definir un modelo de canal que tenga en cuenta todas las características del canal. El modelo de señal utilizado es el presentado en la figura, donde se consideran dispersión temporal y angular. El vector de señales recibidas en cada elemento del array procedente de *N* usuarios con *Ntaps* multitrayectos puede expresarse como:

$$\underline{Y}(t) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{l=1}^{Ntaps} c(\phi_i + \Delta\phi_{il})\alpha_{il} \exp(j2\pi\nu_i t) u_i(t-\tau_{il}) + \underline{N}(t) \quad (1)$$

Donde $\boldsymbol{\alpha_{il}}$, $\boldsymbol{\tau_{il}}$ y $\boldsymbol{\nu_{il}}$ son la amplitud, retardo y frecuencia Doppler del trayecto *l*-ésimo, $u_i(t)$ es la señal de datos en banda base del usuario *i*-ésimo, y *N(t)* es el ruido térmico; Φ_i es el ángulo incidente en azimut del trayecto principal del usuario *i*-ésimo y $\Delta\Phi_{il}$ es la dispersión acimutal respecto de Φi ; la respuesta del array viene dada por el steering vector de cada uno de los *M* elementos

$$c(\phi) = [1 \quad \ldots \quad \exp(-j(M-1)\pi \sin\phi)]^T .$$

La señal de referencia en el receptor se genera a partir de los códigos CDMA usados por los diferentes usuarios. Con esta señal obtendremos los pesos apropiados del array para reducir la interferencia recibida de usuarios no deseados y seguir a la señal deseada. Por tanto, se trata de un esquema de referencia temporal. Se supondrá que cada usuario utiliza códigos OSVF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Gracias a la ortogonalidad entre los códigos de los diferentes usuarios, puede generarse una señal de error *e(t)* cuya potencia se minimizará con el procesado adaptativo. Esta señal estará compuesta de la interferencia de otros usuarios y por ruido. Para cada usuario, se correrá la señal recibida con el código correspondiente, se filtra para eliminar la interferencia del resto de usuarios, y se vuelve a correlar la señal filtrada con el mismo código. Esta es la señal de referencia que luego se utilizará para obtener *e(t)*. El algoritmo genera un vector de pesos **w**, que minimizará la potencia del error *e(t)* en un número de iteraciones dado, con lo que el haz se conformará adecuadamente para maximizar la relación señal frente a interferencias (SIR).

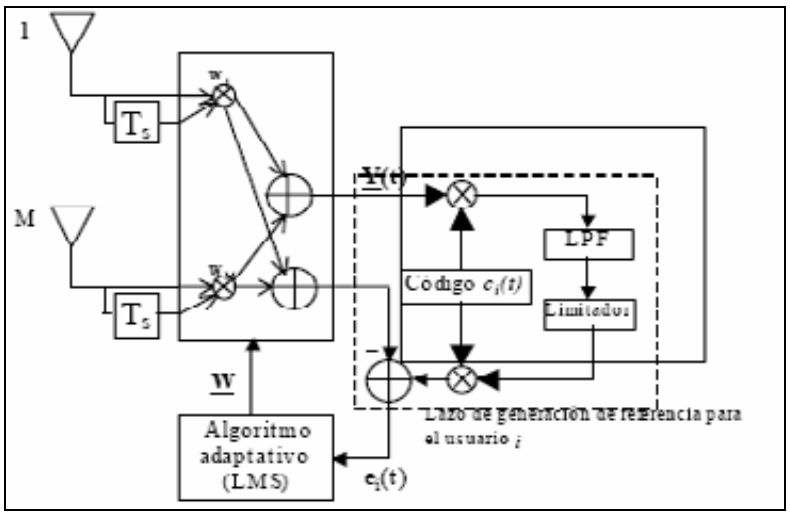

Figura 2.20. Configuración de las Antenas Adaptativas.

2.4 Conformación del Haz.

A continuación se describen brevemente los algoritmos que deben implementarse a la hora de diseñar un sistema de antenas inteligentes basado en haces adaptativos, que son los más complejos y, a la vez, los más interesantes.

En primer lugar, supongamos que existen **K** usuarios, cada uno de los cuales transmite una señal $s_k(t)$. La señal del usuario k-ésimo sufre varias reflexiones y llega a la estación base a través de L_k trayectos distintos, cada uno de los cuales tiene una amplitud y una fase distintas ($a_{ki} \cdot e^{j\varphi_{ki}} \equiv \alpha^{ki}$), y llega con un retardo (τ_{ki}) y una dirección φ_{ki} diferentes. En la estación base tenemos un *array* de N antenas, que, para simplificar, supondremos que están alineadas y equiespaciadas.
En estas condiciones, la señal recibida en el elemento n-ésimo del *array* es:

$$u_n(t) = \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{L_k} a_n(\phi_{ki}) \cdot \alpha_{ki} \cdot s_k(t - \tau_{ki}) + n_n(t)$$

Donde:

$a_n(\Phi_{ki}) = \exp(jknd \cdot \cos(\Phi_{ki}))$ es la fase con la que llega la señal al elemento n-ésimo.

$\mathbf{k=2\pi\lambda}$ es el número de onda para la frecuencia de trabajo, cuya longitud de onda es λ .

d es la distancia entre los elementos del *array*. $n_n(t)$ es el ruido captado por el elemento n-ésimo del *array.*

Para sintetizar un diagrama de radiación con una cierta distribución de lóbulos, es necesario multiplicar la salida de cada uno de los elementos por un peso complejo $w_n(t)$ y luego sumarlas todas. Utilizando una notación vectorial, la señal a la salida del *array* será:

$$y(t) = \vec{\mathbf{w}}(t)^H \cdot \vec{\mathbf{u}}(t) = \vec{\mathbf{w}}(t)^H \cdot \left(\sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{L_k} \vec{\mathbf{a}} \cdot \alpha_{ki} \cdot s_k(t - \tau_{ki}) + \vec{\mathbf{n}}(t) \right)$$

Donde los vectores **w a y n,** son vectores columna, con los elementos **wn**, **an** y **nn** correspondientes (**1** ≤ **n** ≤ **N**), y el operador **H** significa "hermítico" (transpuesto y conjugado).
El problema consiste entonces en encontrar un vector de pesos capaz de sintetizar un diagrama de radiación que nos sea útil para apuntar a un usuario. Si nuestro sistema dispone de $\mathbf{N_R}$ cadenas receptoras (es decir, es capaz de establecer hasta N_R comunicaciones simultáneas con otros tantos usuarios), habrá que calcular a la vez N_R vectores de pesos, aplicarlos a las salidas de los elementos del *array* y obtener así las $\mathbf{N_R}$ salidas (una para cada receptor).

El cálculo del vector que mejor se adapte a nuestras necesidades (según queramos maximizar la SNR, aprovechar la diversidad de trayectos, etc.) puede realizarse mediante algoritmos muy diversos.

Existen, básicamente, tres tipos de algoritmos para el cálculo del vector de pesos, los cuales se diferencian en el modo en que seleccionan al usuario deseado:

1. *Técnicas con referencia temporal.*

En este caso, el receptor genera localmente una estimación de la señal del usuario que desea captar (obtenida usualmente a partir de una secuencia de entrenamiento o de un código de *scrambling*). Entonces, el algoritmo encontrará el valor de que minimiza el error entre la señal de salida del *array*, **y(t)**, y la estimación, **d(t)**. La solución óptima es:

$$\vec{\mathbf{w}}_{opt} = \mathbf{R}^{-1} \cdot \vec{\mathbf{p}}$$

Donde $\mathbf{R} = E[u^r u^{r\,H}]$ es la matriz de autocorrelación de la señal de entrada y $p^r = E[u^r d(t)]$ la correlación cruzada entre la señal a la entrada y la señal deseada.
No siempre es sencillo o viable obtener estas matrices de correlación, por lo que existen varias técnicas que tratan de aproximar este valor óptimo.

2. *Técnicas con referencia espacial.*

Estas técnicas no requieren el uso de secuencias de entrenamiento, pero, en cambio, necesitan estimar la DoA del usuario deseado y de los interferentes (lo que supone el uso de otros complejos algoritmos para hacer dicha estimación). La ventaja de éstas frente a las

anteriores es que no necesitan conocer los estadísticos de la señal y convergen más deprisa, al no tener que invertir grandes matrices. En cambio, son muy sensibles a los posibles errores de apuntamiento (debidos a una mala calibración de los elementos del *array* o a desviaciones en los algoritmos de cálculo de DoA), ya que si la dirección en la que se dirige el haz no coincide con la de la señal que se busca, ésta puede ser eliminada como una interferencia más.

2. *Técnicas con referencia ciega.*

En este tipo de técnicas, más complejas, lo que se explota es alguna característica conocida de la señal deseada, como alguna modulación, algún tipo de cicloestacionariedad, etc. Por ejemplo, podemos citar la técnica CMA, en la que se fuerza una solución de envolvente. Habitualmente, el algoritmo que se diseña para una aplicación no se encuadra exactamente en uno de estos tipos, sino que puede utilizar algún esquema híbrido para mejorar sus prestaciones. Algunos algoritmos interesantes en este sentido pueden ser:

Procesado haz-espacio. Consta de dos etapas, la primera genera una serie de salidas asociadas a distintos haces fijos, las cuales, en la segunda etapa, se procesan según algún criterio establecido.

Conformador de banda ancha. Emplea una serie de líneas de retardo y de filtros FIR con los que sintetiza la respuesta en frecuencia de cada haz

Conformador en el dominio de la frecuencia. Realiza una FFT a la salida de cada antena, de modo que se calcula el vector de pesos óptimo para cada componente espectral. Después se realiza una IFFT para recuperar la señal de banda ancha.

Conformador digital. Se toman muestras a la salida de cada elemento del *array,* que luego se procesan (mediante pesos y retardos) para generar los haces deseados. Si se desea conseguir precisión en el apuntamiento del haz, es necesario muestrear mucho más allá del criterio de Nyquist.

Método de la autoestructura. Separa los subespacios de señal deseada y ruido utilizando los autovectores de la matriz de auto correlación de la señal recibida.

A la hora de utilizar alguno de estos algoritmos, ha de tenerse en cuenta que no es muy eficiente calcular la solución completa del problema cada vez que se desee actualizar el valor de w. En lugar de eso, es más razonable limitarse a calcular únicamente la diferencia entre el valor que tenía en el instante anterior y el valor que se supone que debería tener en el actual (algoritmos adaptativos)
Un algoritmo así permitiría, además, capturar a nuevos usuarios y seguir a aquellos que se desplazan.
Entre los más interesantes destacan el método del gradiente conjugado, la regla III de Madaline (basado en redes neuronales), el RLS (que necesita secuencia de entrenamiento) y el LS-CMA (una extensión no lineal del LS que aprovecha las características del algoritmo CMA).

Existen algunos algoritmos diseñados explícitamente para sistemas CDMA. Estos algoritmos deben ser adaptativos y multiusuario; es decir, deben extraer la señal de todos los usuarios simultáneamente (por lo tanto, calcularán uno distinto para cada usuario). Unos son con referencia ciega, pero los más sofisticados utilizan como referencia temporal los propios códigos de *scrambling* de cada usuario, para distinguirlos.
La aplicación de un algoritmo u otro en el diseño de una antena inteligente depende del compromiso al que se desee llegar entre la funcionalidad del método (robustez, flexibilidad, etc.) y su eficiencia computacional (sobre todo, teniendo en cuenta que se desea conseguir que funcione en tiempo real). Esto es cierto cuando hablamos del enlace ascendente, sin embargo, en el caso del enlace descendente, existen, además, ciertas consideraciones que hay que tener en cuenta. En efecto, en el enlace descendente es la estación base la que transmite y, por tanto, debe conocer de algún modo la dirección en la que se encuentran los usuarios para poder iluminarlos con los haces. Puesto que en el enlace ascendente ya se han calculado los pesos que apuntan los haces hacia los usuarios, podría parecer razonable utilizar esos mismos pesos para conformar el diagrama de radiación en el enlace de bajada. Sin embargo, en general esto no será así, dado que las bandas de frecuencias para *uplink* y *downlink* están lo bastante separadas como para que la respuesta del canal sea distinta en cada caso y, por tanto, cambie la distribución espacial, temporal y espectror de los multitrayectos y de las interferencias.

En estos casos es más razonable utilizar algún algoritmo para calcular la DoA del usuario deseado y de los interferentes en el enlace ascendente, de modo que luego pueda sintetizarse un diagrama de radiación atendiendo a las posiciones calculadas de los usuarios. Esta síntesis puede hacerse entonces utilizando las técnicas clásicas de síntesis de diagramas de radiación.

2.4.1 Conformación de Haces Adaptativos.

Como se había mencionado anteriormente, el conformador de haces adaptativos es una técnica que permite una máxima radiación hacia el usuario deseado y nulos en la dirección de señales interferentes. Para ilustrar diferentes aspectos del conformador de haces, se considera la configuración mostrada en la Figura 2.21.

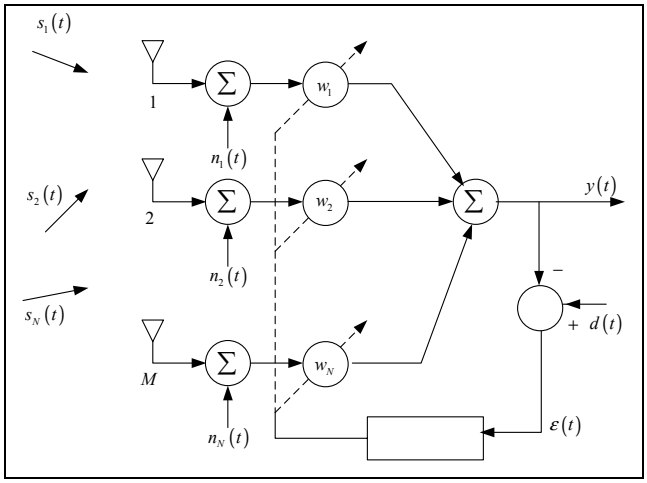

Figura 2.21. Sistema de arreglo adaptativo

Las $s_N(t)$ representan las señales incidentes en los elementos de antenas. A estas señales se suma el ruido $n_N(t)$, para después ser ambos ponderados por el procesador de señales digitales controlado por un algoritmo adaptativo. De esta manera se obtiene en la salida, la suma de las ponderaciones variables de cada elemento de antena, designada como $y(t)$. Los pesos w_m son calculados iterativamente basándose en la salida del arreglo $y(t)$, la señal de referencia $d(t)$, que es una aproximación de la señal deseada, y las ponderaciones pasadas. La señal de referencia se aproxima a la señal deseada usando secuencias entrenadas o códigos de propagación, los cuales deben ser conocidos por el receptor. El formato de la señal de referencia varia y depende del sistema donde se implementa el conformador de haces adaptativos. La señal de referencia usualmente tiene una alta correlación con la señal deseada, el grado de correlación influye en la exactitud de la convergencia del algoritmo.

La salida del arreglo esta dada por:

$$\boxed{y(t) = w^H x(t)}$$

Fórmula [1]

Donde w^H es la transpuesta conjugada compleja del vector de ponderación w. El vector respuesta a los datos muestreados, en la salida del arreglo, esta dado por:

$$\boxed{x(t) = s(t)a(\theta_0) + \sum_{i=1}^{N_u} u_i(t)a(\theta_i) + n(t)}$$

Fórmula [2]

En la cual, $s(t)$ representa la señal deseada incidente al arreglo con un ángulo θ_0; $u_i(t)$ denota a las N_u señales interferentes no deseadas que llegan al arreglo con un ángulo θ_i; $a(\theta_i)$ es el vector de propagación del arreglo de las i-ésimas señales de interferencia y $a(\theta_0)$ es el vector de propagación del arreglo de la señal deseada.

El error cuadrático medio entre la salida del conformador de haz y la señal de referencia puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\boxed{\varepsilon^2(t) = \left[d^*(t) - w^H x(t) \right]^2}$$

Fórmula [3]

2.4.1.1 Algoritmo LMS.

El algoritmo LMS fue creado por Widrow y Hoff en 1959, este utiliza la aproximación estocástica para el cálculo de la gradiente de la función de costo MMSE (Minimum Mean Square Error). El método de minimización de la función de costo se conoce como "descenso por gradiente" (steepest descent), lo que significa que el error cuadrático medio mínimo siempre sigue la dirección tangente a la superficie, ya que de esta manera desciende más rápidamente. LMS es un algoritmo iterativo que hace correcciones sucesivas de los pesos, los cuales dirigen a menores errores cuadráticos medios. El método de descenso por gradiente presenta una expresión iterativa para la actualización del vector de pesos, dado por:

$$w(k+1) = w(k) - \frac{1}{2}\mu\nabla\left(E\left\{e^2(k)\right\}\right)$$

Fórmula [4]

Donde μ representa el tamaño del paso, el cual controla la covarianza característica del algoritmo, o sea, cuan rápido esta técnica estima el vector de ponderación óptimo. El parámetro μ es una constante fija.

A partir de un desarrollo matemático se obtiene que la gradiente de la función de costo es igual a:

$$\nabla\left(E\left\{e^2(k)\right\}\right) = -2x(k)e^*(k)$$

Fórmula [5]

Reemplazando **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se obtiene la forma generalizada del algoritmo LMS:

$$w(k+1) = w(k) + \mu_{LMS}x(k)e^*(k)$$

Fórmula [6]

μ_{LMS} es un parámetro constante.

2.4.1.2 Algoritmo RLS.

Cuando el medio es altamente dinámico se requiere de algoritmos que se adapten rápidamente a los cambios. Para estos casos el algoritmo LMS no nos brinda un buen desempeño, con esos propósitos se crearon algoritmos de rápida respuesta, tal como el algoritmo RLS. Una manera de aumentar la velocidad de convergencia del algoritmo adaptativo es calcular directamente el vector de pesos a través de la ecuación de Wiener. El algoritmo RLS [1], [3] y [6] realiza una búsqueda iterativa por el vector de coeficientes óptimos, directamente a través de la siguiente ecuación:

$$w_{opt} = R_{xx}^{-1} r_{dx}$$

Fórmula [7]

Las aproximaciones estocásticas de las matrices R_{xx} y r_{dx}, son actualizadas recursivamente en cada iteración, de la siguiente manera.

$$R_{xx}(k) = \varphi R_{xx}(k-1) + x(k)x^{H}(k)$$

Fórmula [8]

$$r_{dx}(k) = \varphi r_{dx}(k-1) + d^{*}(k)x(k)$$

Fórmula [9]

Para obtener la ecuación de Wiener, se necesita calcular la inversa de $R_{xx}(k)$. Para esto se utiliza la matriz de inversión de Lemma.

$$R_{xx}^{-1}(k) = \varphi^{-1}\left[R_{xx}^{-1}(k-1) - \frac{R_{xx}^{-1}(k-1)x(k)x^{H}(k)R_{xx}^{-1}(k-1)}{\varphi + x^{H}(k)R_{xx}^{-1}(k-1)x(k)} \right]$$

Fórmula [10]

Para la obtención del vector de ponderaciones óptimas se reemplaza las formulas [9] y [10] en [11] , con lo que se obtiene la forma genérica del algoritmo RLS.

$$w(k) = w(k-1) - \frac{\varphi^{-1} R_{xx}^{-1}(k-1)}{1+\varphi^{-1} x^{H}(k) R_{xx}^{-1}(k-1) x(k)} x(k) e^{*}(k)$$

Fórmula [11]

Haciendo $$\varphi_{RLS} = \frac{\varphi^{-1} R_{xx}^{-1}(k-1)}{1+\varphi^{-1} x^{H}(k) R_{xx}^{-1}(k-1) x(k)}$$

Se obtiene una forma más resumida de la ecuación
¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., esta se presenta a continuación

$$w(k) = w(k-1) - \varphi_{RLS} x(k) e^{*}(k)$$

Fórmula [12]

A diferencia del algoritmo anterior, φ_{RLS} es variable, este se va adaptando frente a los cambios en el medio. De esta forma se obtiene un algoritmo RLS de rápida convergencia pero con mayor complejidad, por la mayor carga de procesamiento de datos.

2.4.2 Máximo Nivel de Inteligencia de las Antenas.

Este sería el máximo nivel de inteligencia con que se podría dotar al sistema. En este caso, la salida de cada elemento del *array* se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal (por ejemplo, la SINR). De este modo, el diagrama sintetizado habitualmente presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto (si se quieren procesar con un receptor Rake) y mínimos (e incluso nulos) de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

No siempre será posible eliminar toda la interferencia, ya que el número de fuentes interferentes que se pueden suprimir está directamente relacionado con el número de elementos de la antena. Esta técnica requiere el uso de complicados algoritmos, tanto para la detección de las señales deseada e interferente como para la optimización de los pesos que conforman el haz. Estos algoritmos suelen conllevar una gran carga computacional, mientras que deben procesarse en tiempo real, por lo que suponen una seria limitación.

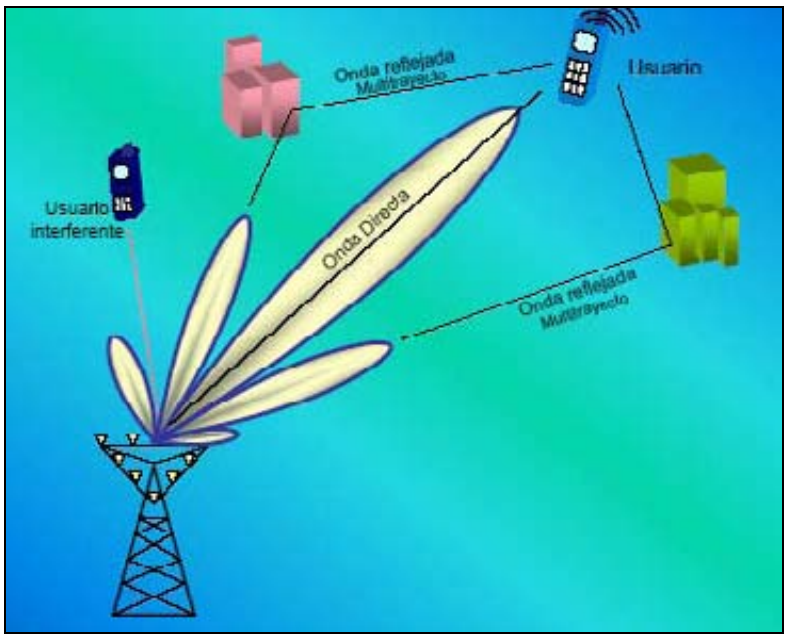

Figura 2.22. Antena Adaptativa.

La técnica de haz adaptativo constituye el máximo nivel de inteligencia que se podría dar a un sistema de antenas. En este sistema, las salidas de cada elemento del arreglo de antenas se ponderan con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la posición del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes de multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.
Esta técnica requiere el uso de algoritmos (DoA) tanto para la detección de las señales de arribo e interferentes como para la optimización de los pesos que conforman el haz.

Programa de Control del Sistema de HAZ ADAPTATIVO

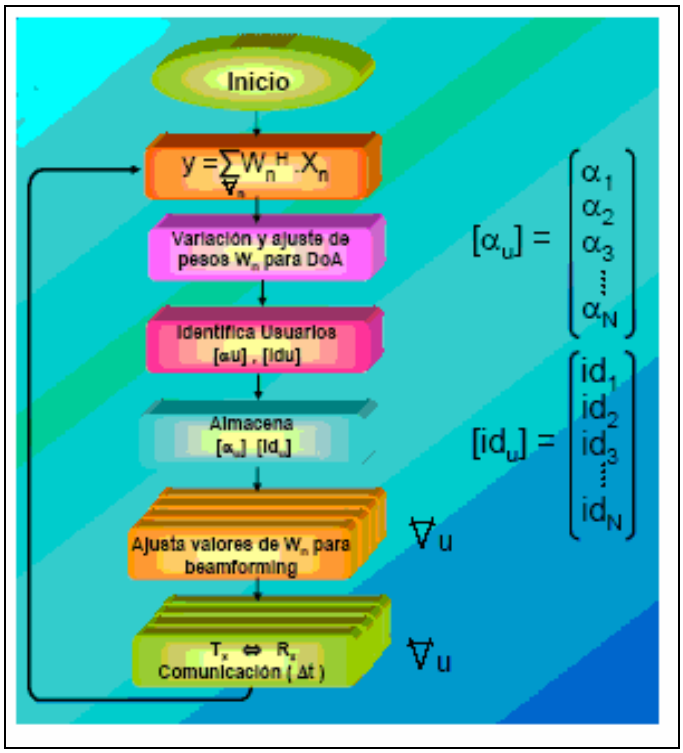

Figura 2.23. Esquema de control de Haz Adaptativo.

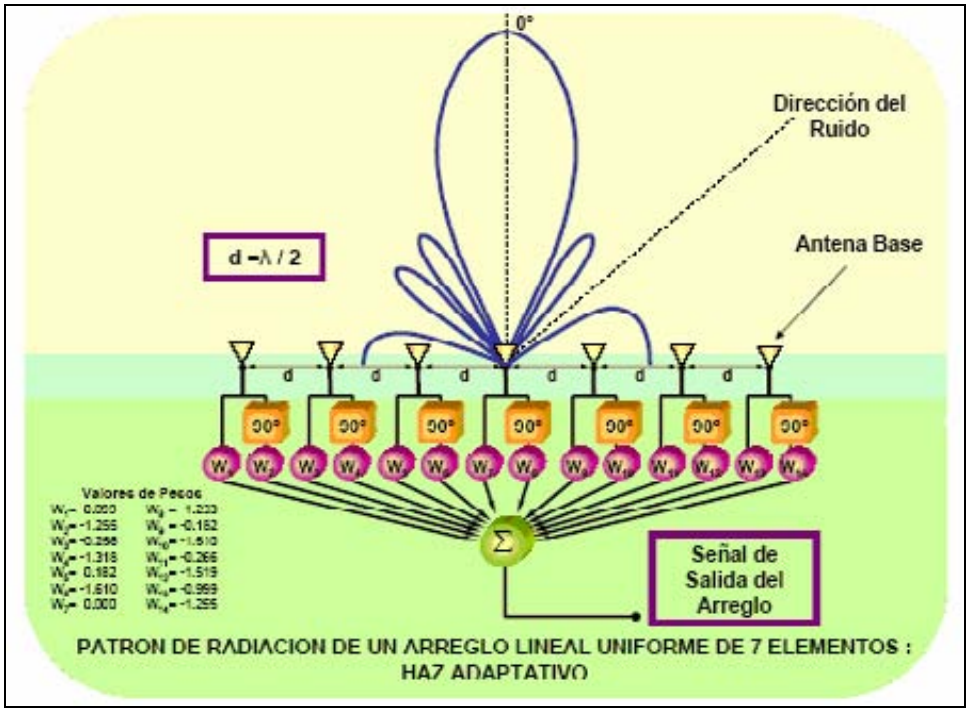

Figura 2.24. Patrón de Radiación de un arreglo Lineal.

Sistema De Haz Adaptativo.

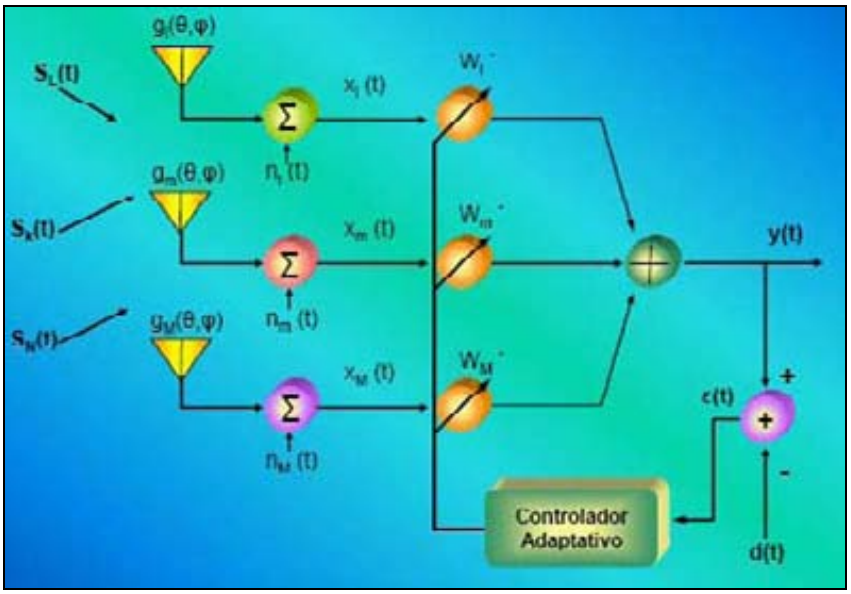

Figura 2.25. Sistema de Haz Adaptativo.

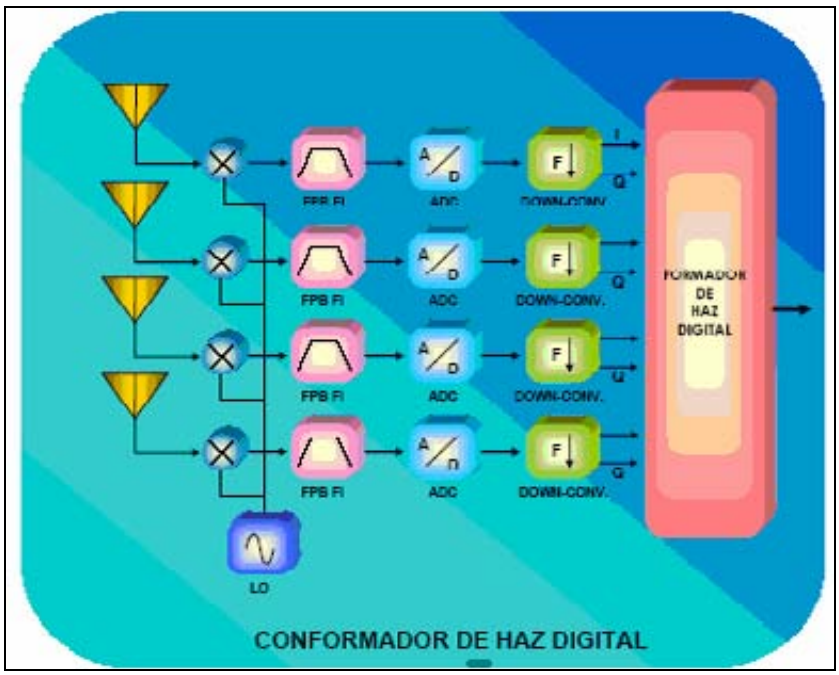

Figura 2.26. Conformador de Haz Digital.

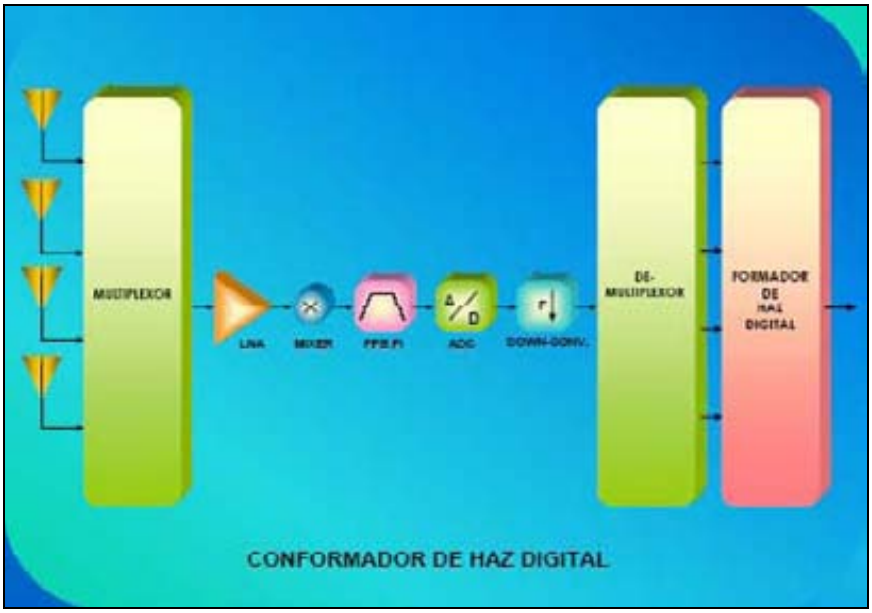

Figura 2.27. Esquema Conformador Haz Digital.

2.5 Beneficios de la tecnología de antenas inteligentes.

2.5.1 Reducción de Potencia de Transmisión.

El sistema de Antenas Inteligentes puede radiar una potencia menor por lo cual se pueden reducir o simplificar las especificaciones de los amplificadores de potencia asociadas al sistema de antenas, generando una reducción de costos en las etapas de amplificación.

La forma más sencilla de incrementar el ancho de banda acumulado de la red consiste en equipar el punto de acceso con múltiples antenas, cada una de las cuales atiende puntos finales específicos. De esta manera, cada punto final se beneficia, ya sea a través de su conexión propia al punto de acceso, o al menos, en una reducción del número de dispositivos que se pelean por la conexión.
La mayor ganancia de la antena permitirá incrementar la sensibilidad de la estación base, por lo que los móviles podrán transmitir con menor potencia, ahorrando batería. De igual modo, gracias a la ganancia del *array,* es posible que la estación base transmita igual potencia, pese a que cada elemento del *array* esté radiando una potencia muy inferior. Así, se relajarían las especificaciones sobre los amplificadores de potencia utilizados, que podrían resultar más baratos.

2.5.2 Reducción de Propagación Multitrayecto.

Debido a la menor dispersión angular de la radiación desde el sistema de Antenas Inteligentes, se reducen significativamente los trayectos múltiples de la información que llegaría al equipo móvil. Esto permite simplificar el sistema de ecualización del terminal móvil

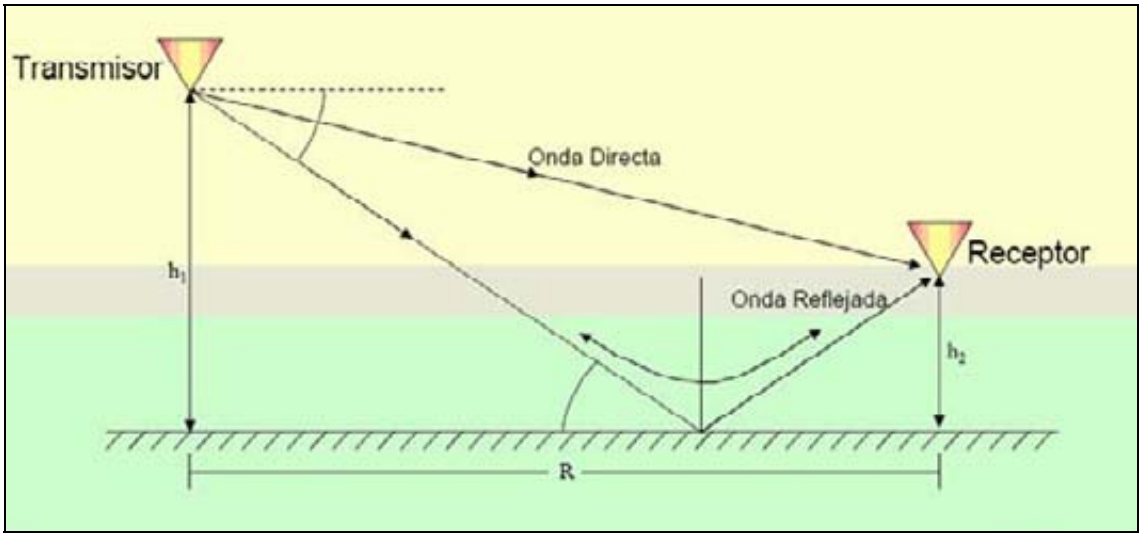

Figura 2.28. Dispersión Angular de la Radiación.

Dependiendo de la configuración del sistema de Antenas Inteligentes, se pueden tener dos situaciones:

1. Captación de la Onda principal de la señal de interés, eliminando las señales de multitrayecto propias y las señales interferentes de otros usuarios

2. Captación de la Onda principal de la señal de interés aprovechando la captación de sus señales de mutlitrayecto, para reforzar la señal principal, y eliminar las señales interferentes de otros usuarios

2.5.3 Reducción del Nivel de Interferencia.

La mejor selectividad espacial de la antena permitirá a la estación base discriminar las señales de usuarios interferentes en favor de la señal del móvil deseado (en el caso del enlace ascendente), y también reducir el nivel de potencia transmitida en las direcciones de esos otros usuarios (en el caso del enlace descendente). De cualquier modo, se conseguiría aumentar la relación C/I, lo cual tiene dos consecuencias fundamentales:

a. Una mejora en la C/I implica directamente una mejora en la tasa de error (BER), lo que hace que la calidad del servicio aumente.

b. La reducción de la C/I puede explotarse directamente (mediante técnicas de multiplexación espacial) o indirectamente (realizando un plan de frecuencias más ajustado, en el caso de GSM) para aumentar la capacidad del sistema.

Figura 2.29. Esquema de la Reducción del nivel de interferencia.

2.5.4 Incremento del Nivel de Seguridad.

Gracias a que la transmisión entre la estación y el equipo móvil es direccional, es muy difícil que otro equipo intercepte la comunicación, a menos que esté situado en la misma dirección en que apunta el haz de la antena También se hace fácil la localización de usuarios que estén haciendo uso fraudulento de los servicios que ofrece la red de comunicación móvil.
Con la utilización de antenas inteligentes, se dispone de información espacial de los usuarios, lo que permite establecer con mucha exactitud la posición de los usuarios; esta capacidad facilita el establecimiento de servicios de localización para emergencias o facturación.

Figura 2.30. Incremento del Nivel de Seguridad.

2.5.5 Incremento de la Zona de Cobertura.

Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectorizadas, para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a una mayor distancia. Este hecho podría permitir reducir el número de estaciones base necesarias para cubrir una zona, siempre y cuando no sea el tráfico el factor limitante.

2.5.6 Aumento de la Cobertura.

Gracias a la directividad obtenida con un array de antenas con respecto de una antena sectorial, se puede incrementar el radio celular. Por ello, es necesario instalar un menor número de estaciones base por unidad de área, lo que supone un ahorro en los costes asociados al despliegue y mantenimiento de la red.

2.5.7 Mejora de la Eficiencia Espectral.

Gracias a la separación angular de los usuarios dentro de la celda, se pueden reutilizar los canales dentro de la misma celda. Este nuevo esquema de separación de usuarios recibe el nombre de multiplexación por división espacial (SDMA). Con ello, en un sistema TDMA, se podría reutilizar el mismo slot de tiempo por varios usuarios, mientras que en CDMA la ventaja se obtiene por reutilizar el código de ensanchamiento dentro de la celda.

2.6 Uso de Antenas Inteligentes en Diferentes Tecnologías.

2.6.1 Antenas Inteligentes en UMTS.

Durante los últimos años, el crecimiento continuado del número de usuarios en los sistemas de comunicaciones móviles ha provocado una necesidad cada vez mayor de incrementar su capacidad. Con la llegada inminente de UMTS y la implantación de nuevos servicios de tercera generación que requerirán altas tasas binarias, se hace imprescindible pensar en el uso de técnicas que permitan aumentar la capacidad del sistema hasta un nivel tan alto como sea posible.

En este aspecto, se ha planteado como una buena solución el uso de antenas inteligentes. El empleo de esta novedosa tecnología permitirá no sólo aumentar la capacidad, sino también mejorar la calidad de la señal, incrementar el alcance, aumentar el nivel de seguridad e incluso introducir nuevos servicios aprovechando las características particulares de este tipo de antenas.

Los sistemas de comunicaciones móviles están experimentando un claro giro hacia la provisión de servicios multimedia a sus abonados. Uno de los aspectos más característicos de estos servicios son las altas tasas binarias que demandan, lo cual, unido al hecho de que el número de usuarios no deja de crecer, provocará a medio plazo un incremento espectacular en el tráfico soportado por las redes móviles, haciendo necesario un incremento paralelo de su capacidad.

La capacidad de un sistema de comunicaciones móviles se puede definir como la tasa binaria que puede ofrecerse en el ancho de banda disponible y en un área geográfica determinada. En el sistema GSM se ha conseguido aumentar la capacidad mediante el uso de celdas de menor tamaño (microceldas y picoceldas) y, mediante la incorporación del sistema GPRS (que permite asignar varios *timeslots* simultáneos a un mismo usuario). Ahora con la 3ª Generación (3G) UMTS, que presenta mayor capacidad, debido a su mayor ancho de banda y a la mejora en la eficiencia espectral respecto a GSM. Sin embargo, este incremento de la capacidad puede no ser suficiente en futuras aplicaciones.

La capacidad no es la única limitación inherente a los sistemas móviles como GSM y UMTS, también podemos destacar las siguientes:

1. El desvanecimiento por multitrayecto, que degrada las prestaciones del canal de comunicaciones. Es menos importante en UMTS, debido a que es un sistema de banda ancha (por lo que está menos afectado por un desvanecimiento selectivo en frecuencia) y, además, el empleo de receptores Rake permitirá combinar las componentes de multitrayecto para mejorar la recepción de la señal deseada.

2. La interferencia cocanal, que empeora la relación C/I de la señal recibida, lo que afecta directamente al buen funcionamiento del sistema. Este efecto es mucho más pronunciado en los sistemas CDMA (como UMTS), ya que la relación C/I está directamente relacionada con el grado de cobertura de un Nodo B (*cell breathing*). Además, en los sistemas CDMA, el nivel de interferencias procedentes de otros usuarios es mucho mayor debido a que los códigos de *scrambling* no son exactamente ortogonales entre sí.
3. La dispersión temporal de la señal recibida, debida de nuevo al multitrayecto, que provoca un aumento de la interferencia entre símbolos. De nuevo, en UMTS, el receptor Rake ayuda a mitigar este efecto. Estas tres limitaciones, sin embargo, tienen su origen en el hecho de que, en estos sistemas, los canales de tráfico se transmiten a través de antenas omnidireccionales (o bien sectorizadas), a pesar de su carácter eminentemente punto a punto. Por este motivo, se está emitiendo señal a usuarios no deseados (lo que da lugar a la aparición de interferencias) y, a su vez, se reciben señales de diversas fuentes (de otros usuarios y de las componentes multitrayecto).

Desde hace ya varios años, en la literatura se ha presentado la tecnología de antenas inteligentes como una forma eficaz de solventar todos estos problemas.

2.6.2 Antenas Inteligentes en WLAN.

La motivación de la sociedad para utilizar redes IP inalámbricas con anchos de banda elevados en entornos de trabajo, ocio y demás permitió el desarrollo y expansión de las WLAN, Wireless Local Area Network.
A pesar del continuo desarrollo de las WLAN, siguen existiendo ciertas limitaciones en términos de alcance y eficiencia entre otros. Por lo que se refiere al alcance, dentro de un entorno wireless si los usuarios se alejan demasiado del punto de acceso pueden llegar a perder la comunicación con éste.
Una de las líneas de investigación que se está llevando a cabo para la WLAN consiste en la utilización de antenas inteligentes que puedan orientarse según las necesidades y trabajar en modo direccional para tener un mayor alcance y una reducción de las interferencias al enfocarse las transmisiones únicamente en la dirección deseada.
La utilización de antenas inteligentes implica que los usuarios tengan una firma espacial que indique cuáles son sus coordenadas en el espacio. En consecuencia, existe una fase previa a la transferencia de información donde el punto de acceso debe descubrir la posición de todos usuarios.

2.6.2.1 Investigación de Intel sobre Antenas Inteligentes.

2.6.2.1.1 Superación de las Limitaciones de Ancho de Banda.

A medida que se disparo la popularidad de Wi-Fi, la necesidad para un ancho de banda de alta calidad y transferencia está surgiendo como una de las limitaciones clave del crecimiento. Los investigadores de Intel están buscando la manera de superar las limitaciones de ancho de banda con antenas inteligentes, lo que puede mejorar la calidad de la señal y las distancias operacionales de las señales inalámbricas.
La tasa de adopción de dispositivos inalámbricos en los negocios (Wi-Fi, PDA y, próximamente identificación por radiofrecuencia, o RFID) y en los hogares (PC, dispositivos Bluetooth, entretenimiento en el hogar, etc.) está creando una demanda muy elevada por el ancho de banda. Son necesarias innovaciones nuevas para atender esta demanda.
Al mismo tiempo, los mismos estándares inalámbricos están evolucionando para brindar un ancho de banda más grande. Las especificaciones en evolución, tal como 802.11 y 802.16, abren áreas nuevas dentro de las cuáles Intel ha desarrollado investigaciones muy extensas: el uso de antenas inteligentes Dependiendo de su diseño especifico, las antenas inteligentes pueden incrementar el ancho de banda o el alcance de los dispositivos inalámbricos.

2.6.2.1.2 Ampliación del Alcance Mejorando la Calidad de la Señal.

Las tecnologías que comparan la calidad de las señales de dos antenas, y eligen la más intensa, pueden mejorar la calidad de la señal sustancialmente. Examinemos un escenario común, en el cual encontramos a un usuario utilizando una conexión Wi-Fi en un sitio público muy concurrido. Cuando el punto de acceso Wi-Fi transmite datos, la señal puede amortiguarse si algún objeto (tal como una persona caminando por ahí) aparece entre el punto de acceso y el dispositivo receptor. Lo que da por resultado que una señal intensa se debilite súbitamente.
De la misma manera, si alguien estaba de pie entre los dos dispositivos al comenzar la transmisión, la señal se mejora en cuanto la persona se hace a un lado. Una señal débil se intensifica súbitamente. Si un dispositivo con dos antenas hubiera recibido ambas señales, el dispositivo seleccionaría la mejor señal si la que estaba en uso comenzara a amortiguarse; una técnica denominada diversidad conmutada.
Este método tan simple vigila directamente a las dos antenas y conmuta entre ambas a medida que las señales se intensifican o se amortiguan, una en relación con la otra. La amortiguación de la señal es el factor de canalización de la distancia de transmisión para señales inalámbricas. Mientras más intensa es la señal, mayor será la distancia que puede viajar. Por lo tanto, la diversidad conmutada pueden beneficiar a los usuarios incrementando la distancia por la cual pueden disfrutar de una conectividad inalámbrica fiable.

Además de la amortiguación, el ruido puede dañar las señales. Esto es especialmente cierto de las frecuencias Wi-Fi, ya que muchos dispositivos inalámbricos (lo que incluye teléfonos móviles, y hasta hornos de microondas) comparten el espectro de frecuencias no sujeto a licencia. Las antenas inteligentes pueden contribuir a la reducción del ruido mediante la combinación de señales de ambas antenas. Cuando se combinan esas señales, las señales transmitidas se refuerzan entre sí, mientras que el ruido que consiste de señales

aleatorias de bajo volumen se mantiene a un nivel de intensidad constante. Como las señales tienen más intensidad relativa al ruido, es más fácil distinguirlas del mismo.
El concepto de la combinación de señales puede mejorarse aún más usando técnicas que comparan matemáticamente la calidad de la señal en tiempo real y las combinan de acuerdo a ponderaciones asignadas a la calidad de la señal. En la mezcla analógica, las señales de RF se sincronizan y luego se les pondera de acuerdo con la intensidad de la señal y los niveles de ruido. Después, las señales se combinan para producir una RF óptima en términos de la proporción de intensidad de señal a ruido.
Esta señal optimizada se envía a los circuitos digitales para su digitalización. La mezcla analógica es una técnica directa y efectiva. Una técnica similar, pero más avanzada, usa la mezcla digital y es efectiva en especial para los radios que utilizan multiplexación de división ortogonal de frecuencias (OFDM, por sus siglas en inglés).
Cuando se usa OFDM, la transmisión se efectúa usando muchas frecuencias. Así se permite que la transmisión de la señal de radio se divida en múltiples señales secundarias pequeñas que se transmiten simultáneamente al receptor usando frecuencias diferentes.

Las señales secundarias de cada antena se encaminan por el conjunto de circuitos digitales, donde son ponderados y combinados para producir una señal óptima. Ya que las señales secundarias llegan por varias frecuencias diferentes simultáneamente, el proceso de ponderación es complejo y exige capacidades de procesamiento muy avanzadas. A cambio de eso, genera una señal prácticamente óptima.
Los ensayos de mejoramiento de señales llevados a cabo por Intel muestran que la mezcla digital produce la señal de calidad más alta, seguida por mezcla analógica, y finalmente, la diversidad conmutada. Cuando se opera cerca de los niveles óptimos, los mejores resultados amplían las distancias un máximo de 1.4 veces por cada incremento de 2 veces en el número de antenas en ambos extremos de la transmisión.
Todas estas técnicas pueden usarse en el transmisor, donde las decisiones de conmutación o ponderación que se usan para la mezcla se derivan del receptor coubicado (si asumimos un vínculo simétrico) o de la realimentación que se obtiene de otro dispositivo.
Otra opción que involucra tanto al transmisor como al receptor es codificación espacio-tiempo (o espacio-frecuencia), en donde las señales se transforman y se delegan a ciertas antenas, frecuencias o símbolos en el tiempo. Este es un mecanismo para reducir los efectos de la atenuación de señal por multi-ruta, que podría brindar una ganancia más elevada que la conmutación diversificada, dependiendo de la implementación del entorno. Actualmente, un código de espaciotiempo, conocido como el código Alamouti, es una opción para dispositivos tanto de WiMAX como 3G.

2.6.2.1.3 Las Antenas Inteligentes Aumentan la Transferencia.

La forma más sencilla de incrementar el ancho de banda acumulado de la red consiste en equipar el punto de acceso con múltiples antenas, cada una de las cuales atiende puntos finales específicos, como se muestra en la (figura xx). De esta manera, cada punto final se beneficia, ya sea a través de su conexión propia al punto de acceso, o al menos, en una reducción del número de dispositivos que se pelean por la conexión.
Este método, conocido como acceso múltiple de división espacial (SDMA, por sus siglas en inglés), cuenta con una ventaja particularmente atractiva: Solamente los puntos de acceso

necesitan múltiples antenas. Por esta razón, el costo de agregar ancho de banda afecta la red en un sólo punto, el punto de acceso.
SDMA es un método efectivo de incrementar la transferencia a bajo costo, incrementando el número de dispositivos que se comunican simultáneamente con un punto de acceso. Se obtiene una utilidad neta que tiene una relación prácticamente lineal con el número de antenas en el punto de acceso. Si se duplica el número de antenas, la transferencia acumulada se duplica prácticamente.

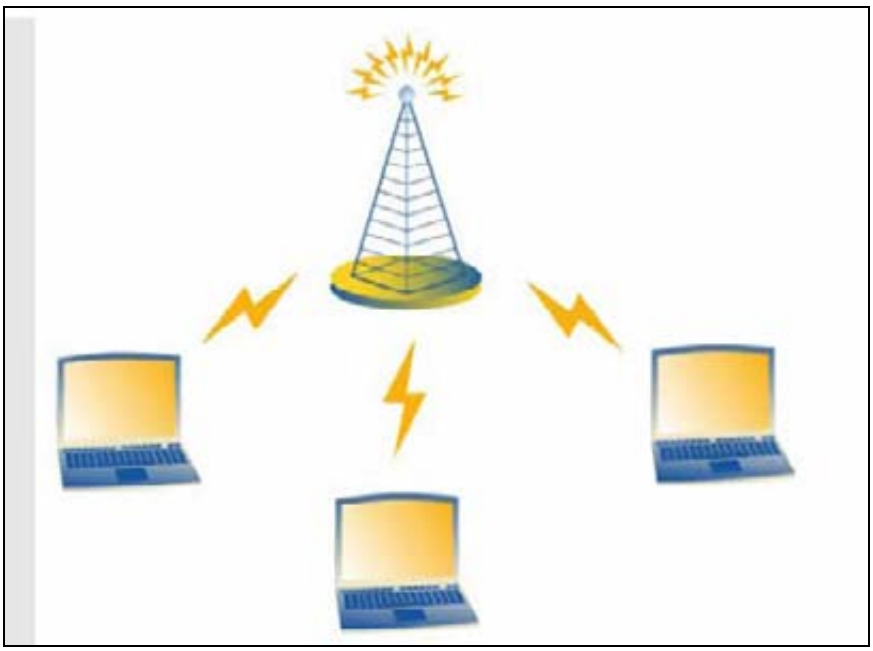

Figura 2.31. Un ejemplo de despliegue de SDMA, mostrando el punto de acceso con una sola antena para cada punto final.

Los sistemas MIMO aquellos en los que el punto de acceso y el punto final utilizan múltiples antenas--pueden mejorar la transferencia en un vínculo de punto a punto.
En las configuraciones MIMO, las cadenas de datos se difunden simultáneamente a través de múltiples antenas. Posteriormente, el dispositivo receptor combina las señales recibidas para reconstruir las múltiples cadenas de datos transmitidas.
Los ensayos realizados por Intel muestran que las escalas de transferencia por este método se aproximan linealmente al número de antenas en ambos extremos de la transmisión. Si se duplica el número de antenas en ambos extremos, la transferencia resultante se duplica. Ya que MIMO requiere conteos de antena simétricos para mejorar la transferencia, y si un punto cuenta con cuatro antenas y el otro tiene tres, el mejoramiento total es de tres veces la antena extra no agrega transferencia (a pesar de que si puede usarse para mejorar la calidad de la señal).

2.6.2.1.4 El Aporte de las Antenas Inteligentes.

La demanda del incremento de la capacidad de las redes inalámbricas ha motivado la reciente búsqueda hacia el desarrollo de algoritmos y estándares que exploten el espacio de manera selectiva. Como consecuencia de esta demanda se está investigando sobre el diseño de antenas inteligentes.

El funcionamiento de muchos sistemas de ingeniera se entiende realmente cuando son comparados con el funcionamiento de un sistema del cuerpo humano. Por lo tanto, para dar una idea de cómo trabajan estos sistemas vamos a imaginarnos la situación donde dos personas hablan dentro de una habitación a oscuras y una tercera persona escucha lo que dicen tal y como se representa en la siguiente figura.

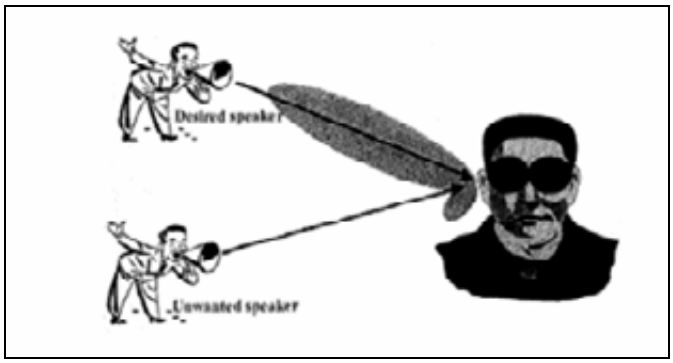

Figura 2.32. Ejemplo del Funcionamiento de una Antena Adaptativa.

La persona que escucha a una persona que habla es capaz de determinar su localización si este se mueve dentro de la habitación porque la voz llega a cada sensor acústico (la oreja) en un instante de tiempo diferente. Eso es posible ya que el oyente es capaz de calcular la dirección de la persona que habla gracias a las diferencias de retardo recibidas por los dos oídos.
En el caso que la segunda persona también hable, el cerebro del oyente es capaz de ignorar las interferencias no deseadas propias de la segunda persona.
Los sistemas de antenas inteligentes trabajan del mismo modo. En este caso, la antena es el oído humano y el DSP de la antena es el cerebro. Análogamente, ahora el DSP calcula la diferencia de retardo y, por siguiente, la posición del usuario con quien se comunica.

2.6.3 Uso de antenas inteligentes en CDMA.

¿Qué es CDMA?

"Code Division Multiple Access" (CDMA) es la tecnología digital inalámbrica más moderna que ha abierto la puerta a una nueva generación de productos y servicios de comunicación inalámbrica. Utilizando codificación digital y técnicas de frecuencias de radio de espectro amplio (RF), CDMA provee una mejor calidad de voz y más privacidad, capacidad y flexibilidad que otras tecnologías inalámbricas.

El CDMA permite que cada estación transmita en el espectro completo de frecuencia todo el tiempo. Las transmisiones múltiples simultáneas se separan usando la teoría de codificación. El CDMA también relaja el supuesto de que los marcos en colisión se alteran completamente. En cambio, supone que las señales múltiples se suman linealmente.

Los nuevos Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación (UMTS) basados en CDMA requieren la aplicación de nuevas técnicas para dar servicios multimedia a un gran número de usuarios. Dos métodos para dar cabida a más usuarios serían la asignación de más bandas de frecuencia o la reducción del tamaño de las celdas del sistema. Sin embargo, estas dos soluciones no serán suficientes a largo plazo.
Una posible solución para mejorar la capacidad de los sistemas WCDMA (Wideband CDMA) sería discriminar a los usuarios por su posición espacial utilizando antenas inteligentes en las estaciones base. Esta tecnología se basa en la reconfiguración dinámica del diagrama de radiación de la antena, dependiendo del entorno. Las ventajas aportadas por el uso de antenas inteligentes son la extensión de la zona de cobertura y la disminución de la interferencia procedente de usuarios no deseados. Esta última característica es muy importante en los sistemas CDMA, donde la capacidad del sistema está limitada por interferencia.

CAPÍTULO III. ARREGLOS DE ANTENAS EN COMUNICACIONES MÓVILES.

3.1 Conceptos Básicos de Antenas

3.1.1 ¿Qué es una Antena?

La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre. En realidad una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre.

Dependiendo el tipo de antena, la onda radiada puede distribuirse hacia todos lados de igual forma, es decir omnidireccional, o hacia una determinada zona, anulando la que no es de interés, es decir direccional.

Aparte de la dirección que la antena le otorgue a la onda radiada, deben también dotarla de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

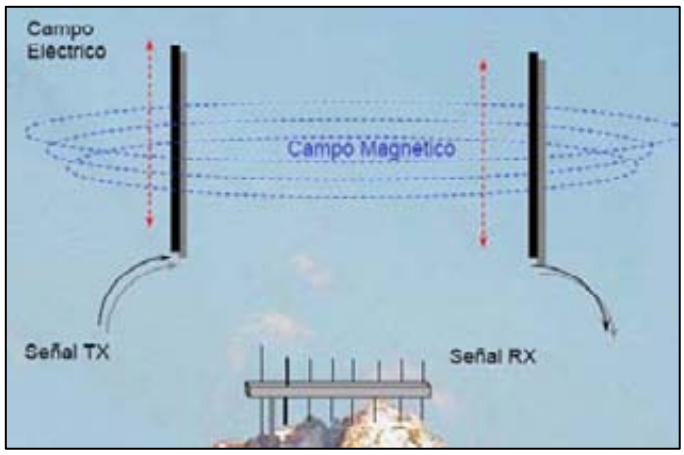

Fig.3.1. Polarización Vertical.

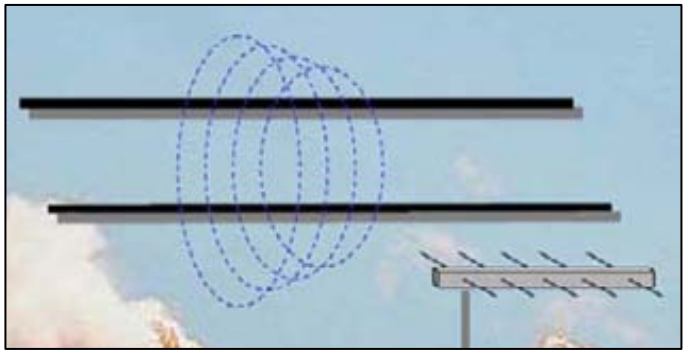

Fig.3.2. Polarización Horizontal.

Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés y son cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente polarizada.

Una onda está polarizada circularmente o elípticamente a derechas si un observador viese a esa onda alejarse, y además viese girar al campo en el sentido de las agujas de un reloj. Lógicamente, si lo viese girar en sentido contrario, sería una onda polarizada circularmente o elípticamente a izquierdas.

3.1.2 Características de una Antena.

A continuación se presentan algunas características claves en todo tipo de antena.

- **Ganancia de la Antena:** es el cociente entre la potencia emitida por la antena en su dirección de máxima emisión respecto a una antena isotrópica. Se expresa en dBi.

- **Ancho del Haz:** (beamwidth) es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que disminuye a la mitad (3 dB).

- **Diagrama de Radiación o Patrón de Radiación de una Antena**, es una gráfica de la intensidad de campo emitido en función del ángulo a partir de la dirección de máxima emisión.

- **Impedancia de Entrada:** cuociente entre el voltaje aplicado a los terminales de entrada y la corriente resultante. En general contiene una parte resistiva y una parte reactiva. Para máxima transferencia de potencia la impedancia de la antena debe estar acoplada a la de la línea de transmisión que la alimenta. La calidad del acoplamiento se mide en términos de la relación de onda estacionaria, VSWR

En la siguiente gráfica se muestra un diagrama de radiación completo para un tipo de antena en particular. (Direccional)

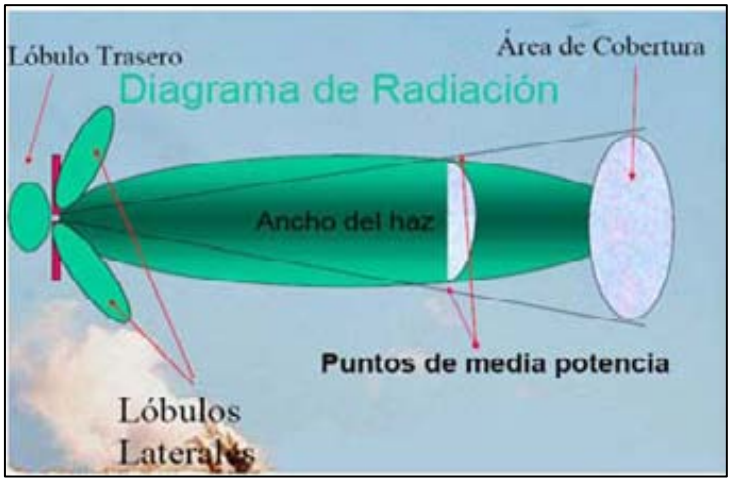

Fig.3.3. Diagrama de radiación de una antena direccional.

Dado lo avanzado que se encuentran los sistemas informáticos hoy en día, es posible realizar gráficas tridimensionales de los lóbulos de radiación para las antenas. A continuación se presentan dos gráficas de este tipo para el caso de una antena dipolo y una de bocina.

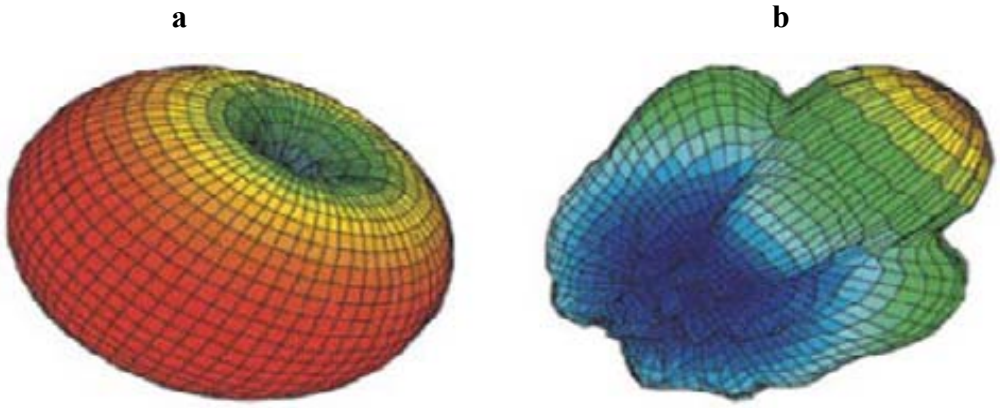

Fig.3.4. Gráfica Tridimensional para una antena del tipo dipolo (a) y tipo horn (b).

3.1.3 Parámetros Generales de una Antena.

Una antena va a formar parte de un sistema, por lo que se tienen que definir parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto que va a producir sobre el sistema en particular.

1. Impedancia

Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y deberá radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de perdidas. Se deberá adaptar la antena al transmisor para una máxima transferencia de potencia, que se suele hacer a través de una línea de transmisión. Esta línea también influirá en la adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, atenuación y longitud.

Como el transmisor producirá corrientes y campos, a la entrada de la antena se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto. Esta impedancia poseerá una parte real R_e y una parte imaginaria R_i, dependientes de la frecuencia.

En caso de que a cierta frecuencia una antena no presenta parte imaginaria en su impedancia $R_i=0$, entonces se dirá con certeza que está resonando a dicha frecuencia.

La resistencia de entrada se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación (R_r) y la resistencia de pérdidas (R_L). Se define la resistencia de radiación como una resistencia que disiparía en forma de calor la misma potencia que radiaría la antena. La antena por estar compuesta por conductores tendrá unas pérdidas en ellos. Estar pérdidas son las que definen la resistencia de pérdidas en la antena.

2. Eficiencia.

Relacionado con la impedancia de la antena se tiene la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias indicarán cuanto de buena es una antena emitiendo señal, así como también, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión.

La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, es posible volver a definir la Eficiencia de Radiación como la relación entre la Resistencia de radiación y la Resistencia de la antena.

3. Campos Cercanos y Lejanos.

Es claro mencionar que el campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia. El termino campo cercano se refiere al patrón de campo que esta cerca de la antena, y el termino campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano.

Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que esta en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces campo de inducción. La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena por lo tanto el campo lejano se llama campo de radiación. La potencia de radiación, por lo general es la mas importante de las dos, por consiguiente, los patrones de radiación de la antena, por lo regular se dan para el campo lejano.

4. Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia.

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad.

Si una antena no tiene perdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia.

5. Polarización de la Antena

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo general, polarizada horizontal o vertical), en forma elíptica o circular. Si una antena irradia una onda

electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

6. Ancho del Haz de la Antena

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos principales. El ancho de haz de la antena se llama ancho de haz de -3dB o ancho de haz de media potencia.

7. Ancho de Banda de la Antena

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero en algunos casos se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

3.1.4 Algunos Tipos de Antenas.

A continuación se describirán brevemente algunos tipos de antenas comúnmente utilizados.

1. Antena de Media Onda. (Dipolo)

La siguiente imagen representa una antena de media longitud de onda a la que se le suministra alimentación de radiofrecuencia por medio de una línea de alimentación paralela.

Longitud de Onda x 1/2

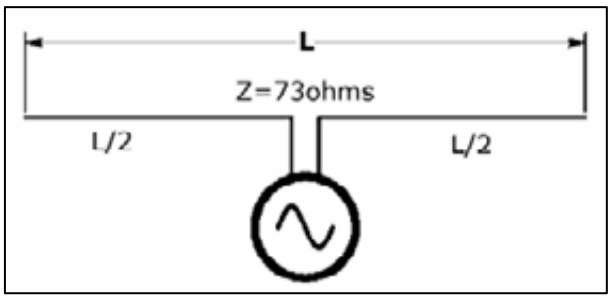

Fig. 3.5. Antena dipolo de media longitud de onda.

Al aplicar una corriente alterna a la antena, se generará una tensión y una intensidad, las que estarán desfasadas 90º, de tal forma que, si se pudiera visualizar la radiofrecuencia aplicada a la antena se vería que, en la onda generada, en el centro de la misma la tensión seria "0" y en los extremos de la antena seria la máxima generada por la fuente de RF al haber menos pérdidas, mientras que la intensidad es justo a la inversa, es decir en el centro de la antena la intensidad sería la máxima eficaz mientras que en los extremos sería "0".

En forma gráfica se tiene lo siguiente:

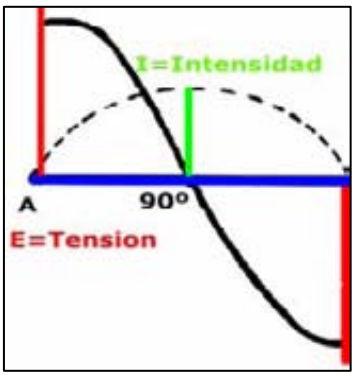

Fig. 3.6. Comportamiento de la onda.

En cualquier tipo de antena la relación entre el valor de la tensión y de la intensidad en un punto cualquiera de la antena determina el valor de la impedancia en ese punto. Como la tensión y la corriente son variables es lógico que el valor de la impedancia (Z) también lo sea. En un extremo de una antena de media onda el valor de la tensión es máximo, mientras que el de corriente es mínimo, por tanto también será máximo el valor de la impedancia, mientras que si se observa el centro de la antena de media onda comprobamos que es a la inversa por lo que el valor de la impedancia será mínimo.

3. Antena de 1/4 de Onda.

Básicamente el funcionamiento de éste tipo de antena es muy parecido al visto anteriormente. Eso si, con solo la mitad de "rendimiento" que la antena de media onda, alimentándola por un extremo y referenciando la misma con la "masa" conectada a un plano de tierra isotrópico.

Gráficamente, se tendrá lo siguiente:

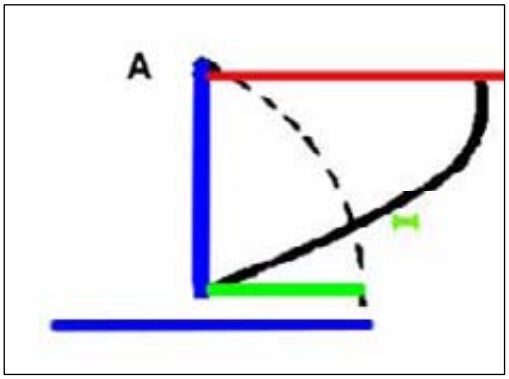

Fig. 3.7. Comportamiento de la onda.

Efectivamente podemos ver que, en el punto de alimentación la tensión sigue siendo "0" y la intensidad presenta su máximo valor.

4. Antena Parabólica.

Una antena parabólica es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico. Las antenas parabólicas pueden ser usadas como antenas transmisoras o como antenas receptoras. En las antenas parabólicas transmisoras el reflector parabólico refleja la onda electromagnética generada por un dispositivo radiante que se encuentra ubicado en el foco del reflector parabólico y los frente de ondas que genera salen de este reflector en forma más coherente que otro tipo de antenas, mientras que en las antenas receptoras el reflector parabólico concentra la onda incidente en su foco donde también se encuentra un detector.

Normalmente estas antenas en redes de microondas operan en forma full duplex, es decir, trasmiten y reciben simultáneamente Las antenas parabólicas suelen ser utilizadas a frecuencias altas y tienen una ganancia elevada.

Fig. 3.8. Representación de una antena parabólica.

En general, existen muchos tipos de antenas para diversos usos y aplicaciones. Cada una de ellas tendrá un comportamiento diferente dependiendo de la frecuencia a la que se trabaje y de otros parámetros tales como ganancia, directividad, materiales de construcción, entre otros.

3.2 Definición de Arreglos de Antenas.

Un arreglo de antenas es un conjunto de antenas simples, generalmente iguales y orientadas en la misma dirección, las cuales son acomodadas en una disposición física determinada, relativamente cercanas una respecto de la otra, además, cada antena es manejada por un mismo sistema de separación (o combinados) de la señal y son capaces de concentrar la radiación en direcciones deseadas.

Un arreglo implica nuevos factores y conceptos. Se compone de más de un elemento, pero el elemento básico es generalmente el dipolo. A veces el elemento básico se hace más largo o más corto que una media onda, pero la desviación no es generalmente grande.

Un elemento parasito es a veces colocado para que produzca máxima radiación durante la transmisión desde su conductor asociado. Cuando opera refuerza la energía que viene desde el conductor a través de si mismo, el elemento parasito es llamado director. Si un elemento parasito es colocado y causa la máxima radiación de energía en una dirección lejos de si mismo y a través del elemento conductor, ese elemento parasito es llamado reflector

Si todos los elementos en el arreglo son conductores, el arreglo es llamado arreglo conductor. Si uno o mas elementos son parásitos, el sistema entero usualmente es considerado como un arreglo parásito. Los arreglos con varios elementos se clasifican con frecuencia según su directividad. Un arreglo direccional irradia en direcciones opuestas a lo largo de la línea de la radiación máxima. Un arreglo Unidireccional irradia solamente en una dirección.
Los arreglos se pueden describir con respecto a sus patrones de radiación y a los tipos de elementos de los cuales se hagan. Sin embargo, es de utilidad para identificarlos, su colocación física de los elementos y la dirección de la radiación con respecto a estos elementos.

Un arreglo colineal es uno en el que todos los elementos descansan en línea recta sin radiación al final del arreglo. La dirección de máxima radiación es perpendicular al eje de los elementos. Un arreglo End-Fire es uno en el cual la dirección principal de la radiación es a lo largo del plano del arreglo y perpendicular a los elementos. La radiación esta desde el fin del arreglo, es por esta razón que el arreglo es llamado como un arreglo de fin

Suele suceder que un sistema utiliza a veces las características de más de una de los tipos mencionados anteriormente. Por ejemplo, algunos de los elementos pueden ser colineales mientras que otros pueden ser paralelos.
Tales arreglos se refieren a menudo como un “Arreglo de la Combinación” o “Arreglo de Ordenes”. Puesto que ocurre la radiación máxima perpendicularmente al plano del arreglo.

3.2.1 Definición de Términos en Arreglos de Antenas.

1. Posición de la Fase.

Componentes reflejados y refractados de la onda propagada crean efectos de refuerzo y cancelación. En ciertos puntos distantes del transmisor, algunos de los componentes de la onda satisfacen el espacio. Deterioran o mejoran la recepción en estos puntos. Si los diversos componentes llegan un punto dado en la misma fase, agregan, haciendo una señal más fuerte disponible. Si llegan fuera de fase, cancelan, reduciendo la fuerza de la señal.

2. Patrón de Radiación

Los efectos semejantes a los descritos en el párrafo anterior pueden ser producidos en el punto en que transmite. Considerar los patrones de radiación de la siguiente figura. Ver la demostración de A, una vista sin obstáculo de un solo dipolo. En los dipolos de la figura B, mostrados como puntos 1 y 2, son perpendiculares al plano de la página. Se espacian en ¼ longitud de onda de la frecuencia de funcionamiento.

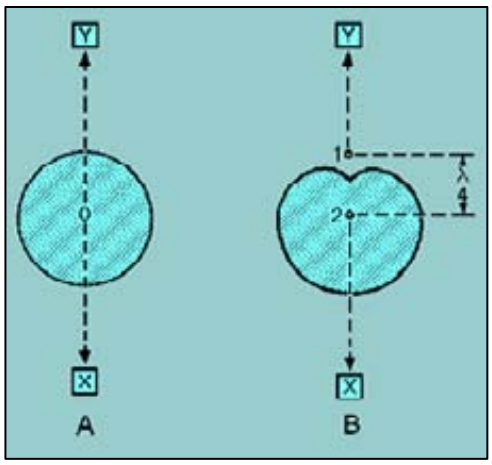

Fig.3.9 Posición en fase de la antena en el espacio.

El patrón de radiación de cualquier antena 1 o 2, funcionando sola, sería uniforme en todas las direcciones en este plano, según lo visto en la figura A. Se supone que la corriente está siendo alimentada a ambas antenas por el mismo transmisor de una manera tal que el retraso de la antena 2 con respecto a la antena 1 es de 90 grados. La energía que irradia de la antena 1 hacia la recepción de la localización X alcanzará la antena 2 después de ¼ ciclo de la operación. La energía de ambas antenas agregará, y la propagación hacia X será fuerte. La radiación de la antena 2 hacia la recepción de la localización Y alcanzará la

antena 1 después de ¼ ciclo. La energía en la antena 1 era 1/4 ciclo detrás de la antena 2, por lo tanto, la radiación de la antena 1 hacia la recepción del punto Y será exactamente 180 grados fuera de fase con el de la antena 2. Consecuentemente, los campos de radiación cancelarán y no habrá radiación hacia el Y.

En la recepción de la señal lejos de la línea de la radiación, las diferencias de fase ocurren entre 0 y 180 grados, produciéndose variaciones de energía en esa dirección. El efecto total es mostrado por el patrón de radiación en la figura b. La relación física de la fase causada por el espaciamiento de ¼ de longitud de onda entre los dos elementos, así como la fase de las corrientes en los elementos, ha actuado para cambiar el patrón de radiación de las antenas individuales.

3. Posición en Fase de los Elementos.

En el caso antes discutido, las corrientes alimentan a las dos antenas del mismo transmisor, eran 90 grados fuera de fase. Las secciones de la transmisión se alinean, esto conocido como STUBS, se utilizan con frecuencia para este propósito. Estas piezas se pueden ajustar para producir cualquier relación deseada de la fase entre los elementos conectados.

Cuando dos elementos de media onda están conectados directamente, sus corrientes son en la misma fase, el efecto es igual que el de una antena de onda completa (ver figura a). La corriente en la primera longitud de ½ onda es exactamente 180 grados fuera de fase, con la segunda longitud de ½ onda. Esto es contrario de la condición deseada. En la ilustración, las flechas se utilizan para indicar la dirección del flujo actual en la antena.

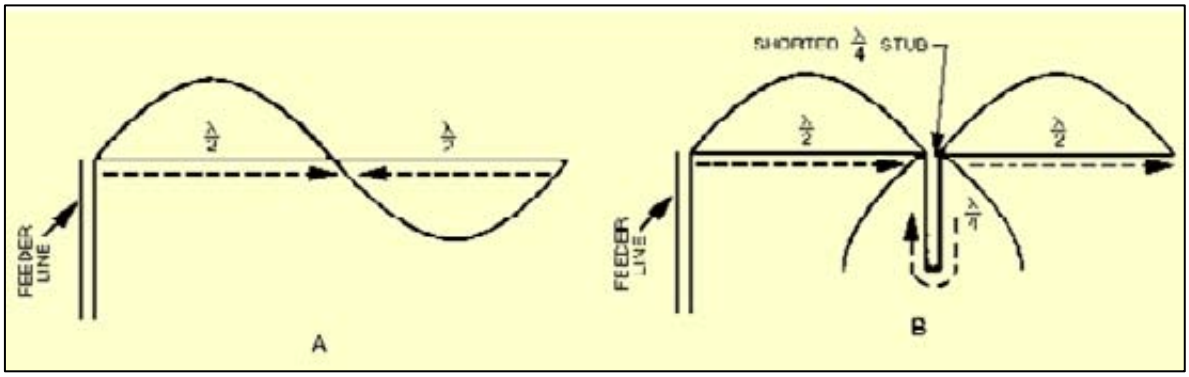

Fig.3.10. Posición en fase de elementos conectados.

Cuando los dos elementos son conectados por un cortocircuito de ¼ longitud de onda, como se muestra en la figura B, el recorrido de la corriente es de abajo de un lado de la antena y sube al otro. Recorre una distancia de 1/2 longitud de onda en sí mismo. Cuando la corriente alcanza el segundo elemento, esta en la fase deseada. Debido a que la

corriente es igual y opuesta a la corriente del lado contrario, los campos se cancelan y ninguna radiación es transmitida.

5. Directividad.

La directividad de una antena o de un arreglo puede ser determinada observando su patrón de radiación. En un arreglo que propaga una cantidad dada de energía, la radiación es totalmente diferente según la dirección. Los elementos del arreglo pueden ser como un grupo de antenas alimentadas desde una fuente común, con diferentes direcciones. Por otro lado, los elementos podrían ser organizados con el propósito de que la radiación fuera enfocada en una sola dirección, sin aumentar la potencia en el transmisor, la cantidad de radiación en una dirección dada seria mayor, esto debido a que la energía de entrada no tiene ningún aumento, esta directividad creciente se alcanza a expensas de un aumento en otras direcciones.

6. Directividad e Interferencia.

En muchos usos, la directividad aguda es deseable aunque no exista la necesidad de hacerlo. En la figura siguiente los transmisores 1 y 2 están enviando la información a los receptores 1 y 2 respectivamente a lo largo de las trayectorias demostradas por las flechas sólidas. La distancia entre el transmisor 1 y el receptor 1 o entre el transmisor 2 y el receptor 2 es corta y no requiere una transmisión de alta potencia. Las antenas de los transmisores propagan bien en todas las direcciones. Sin embargo, el receptor 1 toma algunas de las señales del transmisor 2, y el receptor 2 toma algunas de las señales del transmisor 1, como se muestra por las flechas segmentadas. Se acentúa este efecto si las antenas de recepción interceptan energía igualmente bien en todas las direcciones (omnidireccionales).

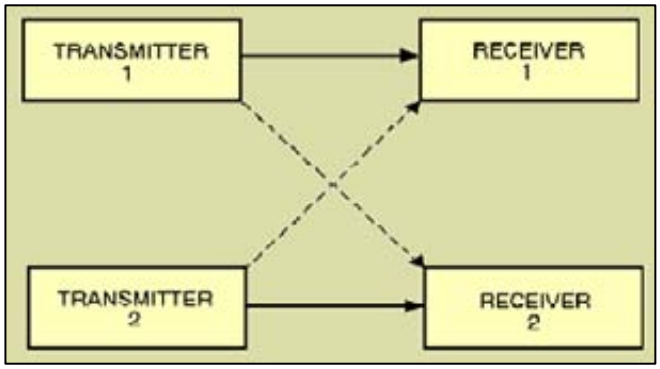

Fig.3.11. Directividad e interferencia.

El uso de antenas direccionales es una solución para el problema antes mencionado. Las señales se emiten a lo largo de las trayectorias de las flechas sólidas y proporcionan una

radiación muy baja a lo largo de las trayectorias de las flechas segmentadas, de esta forma, es posible seleccionar la señal deseada mientras que discrimina contra el resto de las señales. Este mismo acercamiento se puede utilizar para superar otros tipos de interferencia irradiada. En tales casos, la prevención de la radiación en ciertas direcciones es más importante que produciendo mayor aumento en otras direcciones.

A modo de ejemplo se analizará la siguiente figura.

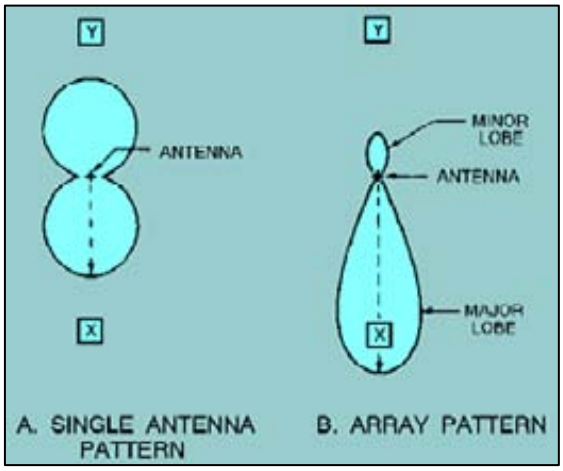

Fig.3.12. Antena única versus arreglo.

La figura A representa el patrón relativo de campo-fuerza para una sola antena horizontalmente polarizada. La figura B demuestra el patrón de radiación horizontal para un arreglo. Para el caso de la figura A se observa que ésta irradia bastante en la dirección deseada hacia la recepción del punto X. Irradia igualmente hacia Y, aunque no se desea ninguna radiación en esta dirección. La antena en la figura B irradia fuertemente hacia X, pero muy poco en la dirección del punto Y, que da lugar a una operación más satisfactoria. El patrón de la figura B tiene radiación concentrada en dos lóbulos. La intensidad de la radiación en un lóbulo es considerablemente más fuerte que en el otro. El lóbulo hacia el punto X se llama lóbulo principal, el otro, lóbulo de menor importancia.

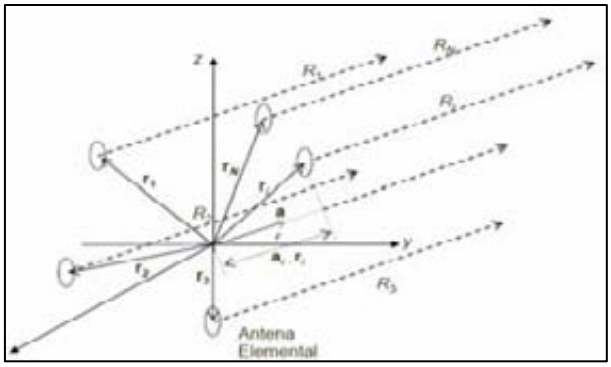

Fig.3.13. Vectores de radiación.

3.3 Clasificación.

3.3.1 Clasificación de los Arreglos.

Los arreglos de antenas en general es posible clasificarlos de dos formas posibles, la primera es según la distribución geométrica que ocupen los elementos del arreglo, en segundo lugar, según el tipo de excitación que se les dé a cada uno de de los elementos.

En la siguiente figura se puede apreciar de mejor forma la clasificación y subclasificación de los tipos de arreglos descritos anteriormente.

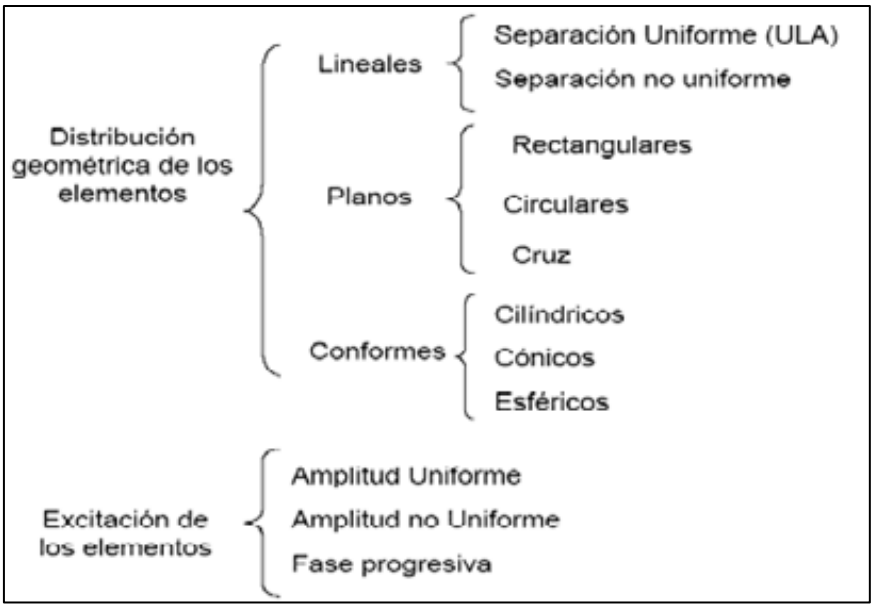

Fig.3.14. Clasificación de arreglos de antenas.

En el siguiente apartado se describirán brevemente algunas de las clasificaciones vistas en la figura anterior para el entendimiento de este capítulo.

3.3.1.1 Arreglos Lineales.

Se considera un arreglo de antenas lineal, como la más simple de la clasificación según la geometría de los elementos y tratando de simplificar los algoritmos para dar una mejor interpretación física a esta técnica, se mostrará como ejemplo una red de N elementos.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de un arreglo lineal horizontal simple puesto en fase de N elementos de antena espaciados una distancia d, donde la longitud de onda es λ y la constante de propagación es $k = 2\pi/\lambda$. Se consideran las fases de la señal a lo largo del plano A-A', en donde existe un ángulo θo que es con respecto a un arreglo normal.

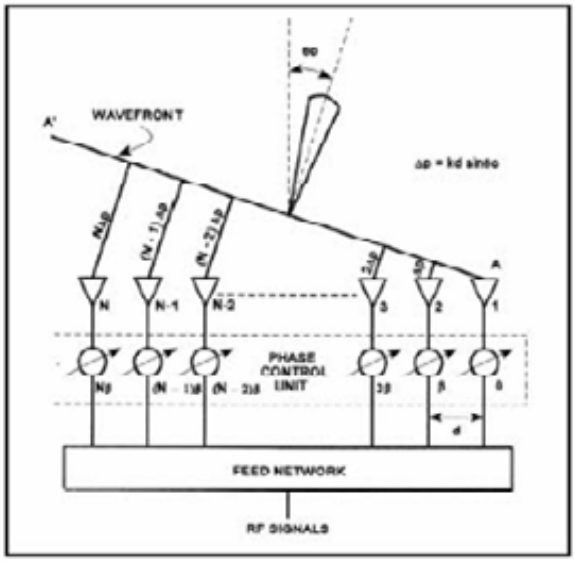

Fig.3.15. Diagrama en bloques de arreglo lineal (fase).

La fase progresiva entre los elementos adyacentes es β, con la fase de la señal del elemento de antena 2 retrazado con respecto del elemento 1 con un ángulo de fase de *kd* cos $\theta o + \beta$.
Similarmente, se puede ver que el elemento Nth de la antena se retrasará del elemento 1 de la antena por $N(\Delta p + \beta)$ donde del $\Delta p = kd \cos\theta o$.

Si la diferencia de fase de elementos adyacentes es más de $2m\pi$, donde m es un número real entero, las ondas se agregan en fase para formar un haz resultante.

3.3.1.1.1 Factor de Arreglo.

Un arreglo de elementos de antena idénticos con una magnitud idéntica y cada uno con una fase progresiva se conoce como un arreglo uniforme. Su factor de arreglo puede ser obtenido considerando los elementos como fuentes puntuales, dando:

$$AF = \sum_{n=1}^{N} e^{j\,(n-1)\Psi}$$

Donde $\Psi = kd\cos\theta + \beta$

Cada arreglo tiene su propio factor de arreglo, que es en función del número de elementos y de su arreglo geométrico, magnitudes relativas, fases relativas y espaciamiento.

Puesto que el factor de arreglo es independiente de las características direccionales de los elementos de la radiación, puede ser formulado substituyendo los elementos actuales por fuentes isotrópicas puntuales. Una vez que haya sido derivado el factor de arreglo, el campo total del arreglo esta dado por:

E (total) = [**E** (elemento solo como punto de referencia)] x [factor de arreglo]

La radiación máxima se puede orientar en cualquier dirección para formar un arreglo de exploración. Asumiendo que la radiación máxima del arreglo esta orientado a un ángulo θo ($0° \leq \theta o \leq 180°$), la excitación de fase, β se debe ajustar dando:

$$\Psi = kd\cos\theta + \beta\,\big|_{\theta=\theta o} = kd\cos\theta + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kd\cos\theta$$

El principio básico de la exploración electrónica es controlando la fase progresiva entre los elementos de la antena para enfocar la radiación máxima en cualquier dirección deseada.

Las figuras siguientes muestran en tres y dos dimensiones, en orden respectivo, los patrones del factor de arreglo de 10 elementos en arreglo de amplitud uniforme.

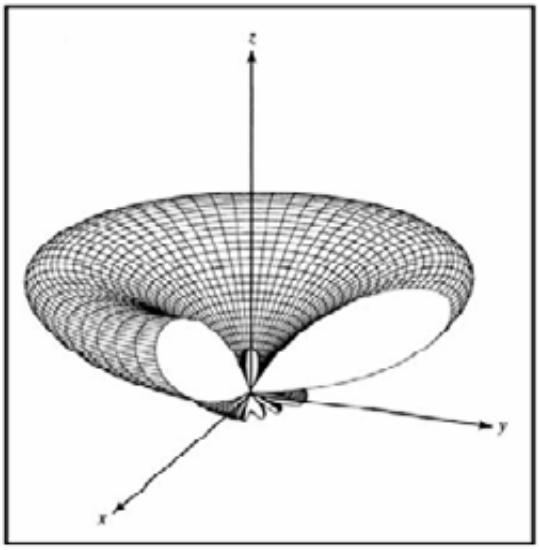

Fig.3.16. Factor de arreglo de 10 elementos uniformes (3D).

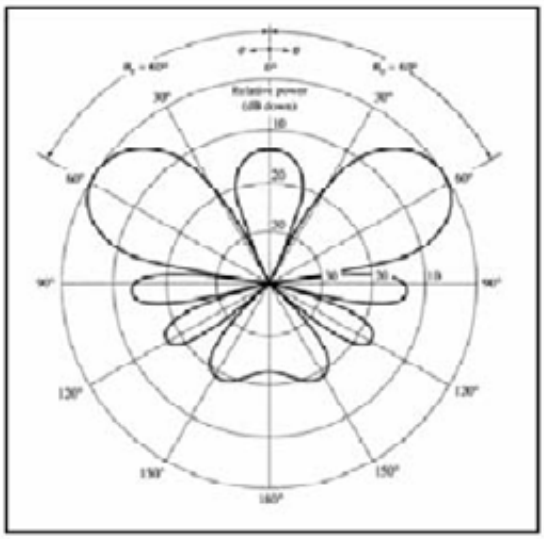

Fig.3.17. Factor de arreglo de 10 elementos uniformes (2D).

3.3.1.2 Arreglos Planos.

Los arreglos de antenas (conjuntos de antenas simples, generalmente iguales, acomodadas en una disposición física determinada y excitadas adecuadamente) constituyen una alternativa para generar un patrón de radiación de características deseadas, tales como dirección del lóbulo mayor, ancho de haz, ubicación de nulos, entre otros.

Como se mencionó anteriormente, los arreglos se clasifican en función de la ubicación de sus elementos y de las características de las señales de excitación. Los arreglos planos son aquellos en los que los elementos del arreglo se encuentran ubicados sobre un plano, existen varias configuraciones que pueden ser obtenidas; por ejemplo, arreglos rectangulares, circulares, o en cruz. Los arreglos planos son mucho más versátiles que los arreglos lineales, ya que poseen mayor número de parámetros de control, permitiendo la obtención de patrones más simétricos con lóbulos laterales más pequeños y facilitando el desplazamiento del haz principal hacia cualquier punto del espacio. Estas características convierten a los arreglos planos en antenas ideales para aplicaciones tales como radar, antenas inteligentes aplicadas a sistemas modernos de comunicaciones, radioastronomía, telemetría, etc.

Un arreglo plano puede estructurarse considerando un arreglo lineal de M elementos colocados, por ejemplo, a lo largo del eje *x*, y posteriormente repetir N de tales arreglos a lo largo de la dirección *y* como se muestra en la siguiente figura.

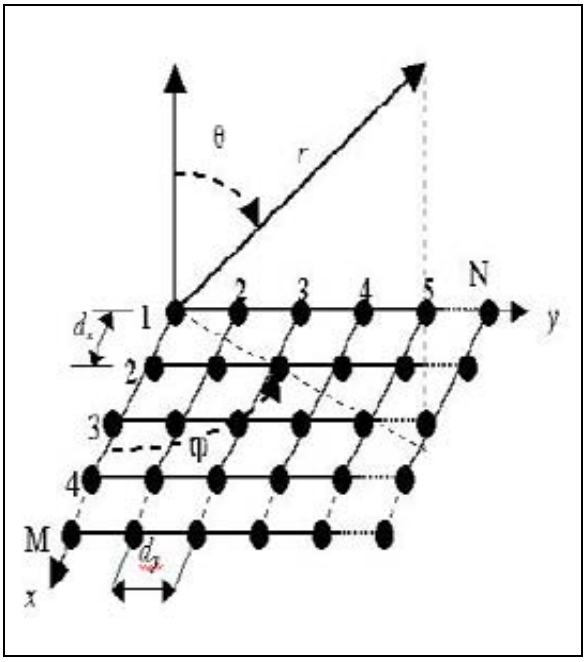

Fig.3.18. Disposición física de un arreglo plano rectangular de antenas.

De esta forma cada elemento en el arreglo original en la dirección *x* estará espaciado por una distancia *dx* y una fase progresiva *βx* mientras que en la dirección *y* cada arreglo o elemento tendrá una separación *dy* y una fase progresiva *βy*.

En esta forma quedaría un arreglo de tipo rectangular. El factor de arreglo para este arreglo plano puede expresarse como:

$$AF = \sum_{n=1}^{N} I_{1n} \left[\sum_{m=1}^{M} I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \operatorname{sen}\theta \cos\varphi + \beta_x)} \right] \cdot e^{j(n-1)(kd_y \operatorname{sen}\theta \cos\varphi + \beta_y)}$$

De la ecuación antes mostrada se observa que el factor de arreglo rectangular es el producto de los factores de arreglo de los arreglos en las direcciones *x e y*. Tomando los coeficientes de excitación en amplitud de los elementos del arreglo en la dirección *y* proporcionales a la amplitud de los elementos en *x*, la amplitud del elemento (*m*,*n*)-ésimo puede escribirse como

$$I_{mn} = I_{m1} I_{1n}$$

Para el caso de un arreglo uniforme ($I_{mn} = I_o$). el factor de arreglo normalizado puede expresarse como:

$$AF_n(\theta,\varphi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\operatorname{sen}\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{M}{2}\psi_y\right)}{\operatorname{sen}\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right\}$$

Donde:

$$\psi_x = kd_x \operatorname{sen}\theta \cos\varphi + \beta_x$$

$$\psi_y = kd_y \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\varphi + \beta_y$$

A continuación se muestra el factor de arreglo para un arreglo rectangular de amplitud uniforme y fase cero, con 5 elementos en *x* y 5 elementos en *y*.

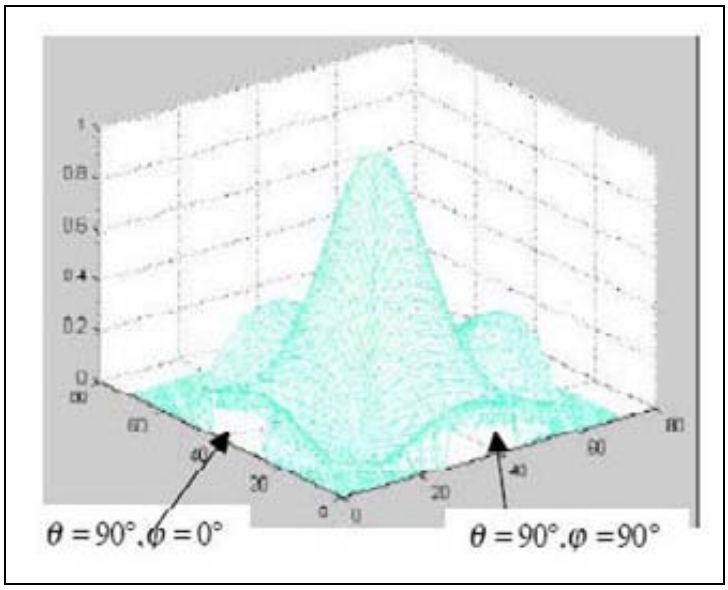

Fig.3.19. Factor de arreglo tridimensional de un arreglo de antenas rectangular con M=N=5, $dx = dy = \lambda/4$; $\beta x = \beta y = 0$

El arreglo que produce el factor de arreglo mostrado en la figura anterior es uno de los casos mas simples debido a que la amplitud de excitación es uniforme y la fase de excitación en cada elemento es igual. Sin embargo, estos parámetros e inclusive la separación entre elementos pueden ser establecidas siguiendo distribuciones específicas (binomial, Tchebysheff, triangular, senoidal, etc.) que lleven al factor de arreglo deseado.

El número total de elementos en un arreglo rectangular es igual al producto del número de elementos en cada eje, por lo que un arreglo grande tendrá la complejidad tanto de diseño como de construcción, ya que el tamaño y el costo de las redes alimentadoras que controlan la amplitud y fase de excitación en cada elemento es muy grande.

3.3.1.3 Otros Tipos de Arreglos.

3.3.1.3.1 Arreglo Plano Circular

Factor de arreglo:

$$AF(r,\theta,\phi)=\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{I_i}{I_0}\right)e^{j(k_0\hat{\mathbf{a}}_r\cdot\mathbf{r}_i+\beta_i)}$$

Donde:

$$\hat{\mathbf{a}}_r\cdot\mathbf{r}_i=\left(\sin\theta\cos\phi\hat{\mathbf{a}}_x+\sin\theta\sin\phi\hat{\mathbf{a}}_y\cos\theta\hat{\mathbf{a}}_z\right)\cdot\left(a\cos\phi_i\hat{\mathbf{a}}_x+a\sin\phi_i\hat{\mathbf{a}}_y\right)$$

$$\hat{\mathbf{a}}_r\cdot\mathbf{r}_i=a\sin\theta\cos(\phi-\phi_i)$$

Entonces:

$$AF(\theta,\phi)=\sum_{i=1}^{N}a_i e^{j(k_0 a\sin\theta\cos(\phi-\phi_i)+\beta_i)}$$

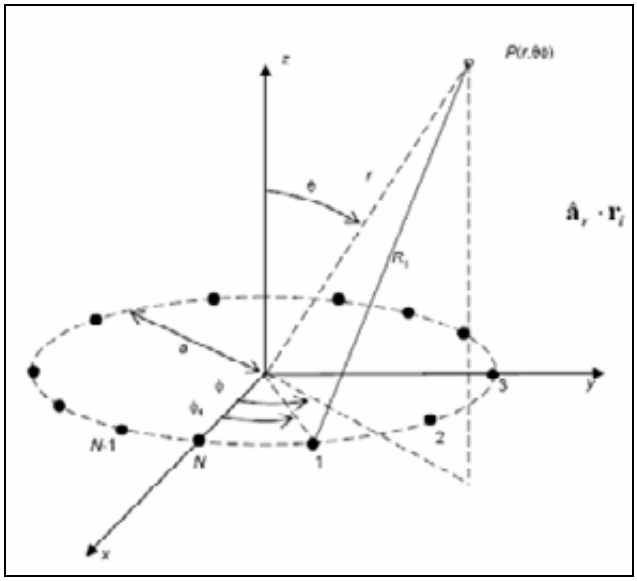

Fig.3.20. Disposición física de un arreglo plano circular.

3.3.1.3.2 Arreglo Circular Uniforme

Factor de Arreglo:

$$\mathrm{AF}(\theta,\phi)=\sum_{i=1}^{N} a_i e^{j\left(k_0 a \sin\theta\cos(\phi-\phi_i)+\beta_i\right)}$$

Donde:

$$\phi_n = \frac{2\pi(n-1)}{N}$$

El vector de dirección es:

$$\mathbf{b}(\theta,\phi)=\left[e^{j\varsigma\cos(\phi-\phi_1)} \quad e^{j\varsigma\cos(\phi-\phi_2)} \quad \cdots \quad e^{j\varsigma\cos(\phi-\phi_N)}\right]^T$$

Con:

$$\varsigma = ka\sin\theta$$

.

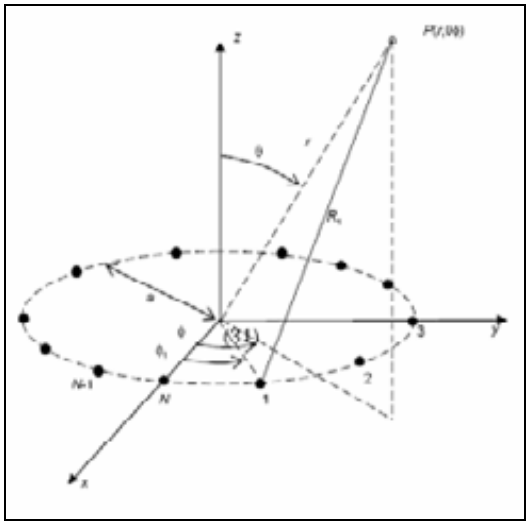

Fig.3.20. Disposición física de un arreglo circular uniforme.

3.4 ARREGLOS OMNIDIRECCIONALES Y DIRECCIONALES.

3.4.1 Antena Omnidireccional en Comunicaciones Móviles.

Desde los primeros días de las comunicaciones inalámbricas, ha habido la simple antena dipolo, que irradia y recibe igualmente bien en todas las direcciones. Para encontrar a sus usuarios, este elemento difunde su radiación en forma omnidireccional en un patrón que se asemeja bastante, por ejemplo, a la ondulación producida al arrojar una piedra sobre el agua de una piscina. Mientras que es adecuado para los ambientes simples de RF donde no existe un conocimiento específico acerca del paradero de los usuarios de la red, la principal desventaja de éste elemento es que no es capaz de enfocar sus señales para un acercamiento del abonado, solo alcanzando a usuarios deseados con un porcentaje pequeño de la energía total enviada en el ambiente.

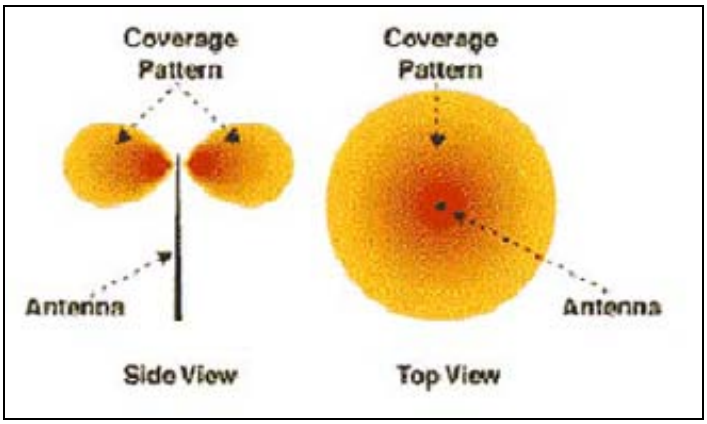

Fig.4.1. Patrón de radiación en Antena omnidireccional.

Dada esta limitación, las estrategias omnidireccionales procuran superar desafíos ambientales simplemente alzando el nivel de la energía de las señales difundidas. En una situación de usuarios numerosos e interferencias, esto crea una situación desfavorable en las señales desconocidas de usuarios provenientes de la misma célula u otra colindante, las que pueden considerarse como interferencias.

En aplicaciones de uplink, es decir desde el usuario a la estación base, las antenas omnidireccionales no ofrecen ningún aumento preferencial para las señales de usuarios móviles. En otras palabras, los usuarios tienen que competir sobre la energía de la señal.

También, este único elemento no puede rechazar selectivamente las señales que interfieren con las de usuarios en servicio y no tiene ninguna capacidad multidireccional espacial de mitigación o de igualación. Estrategias omnidireccionales impactan directamente y adversamente sobre el espectro de frecuencia, limitando la reutilización de esta misma.
Estas limitaciones fuerzan a diseñadores de sistema y a planificadores de redes de trabajo de idear soluciones cada vez más sofisticadas y costosas. Estos últimos años, las limitaciones de la tecnología acerca del uso de este tipo de antena en cuanto a la calidad,

la capacidad, y la cobertura de sistemas inalámbricos han incitado a una evolución en el diseño y rol fundamental en un sistema inalámbrico.

3.4.2 Antena Direccional en Comunicaciones Móviles.

Una sola antena se puede también construir para tener ciertas direcciones preferenciales fijas de transmisión y recepción. Como una alternativa al método de la fuerza bruta de agregar nuevos sitios transmisores, muchas torres de antena convencionales dividen su área de cobertura o sectorizan en células. Un área 360° está dividida a menudo en tres subdivisiones 120°, cada una cubierta por al menos un método de transmisión. De igual forma para todas las células, las antenas del sector proporcionan un aumento creciente sobre un rango restringido de azimut con respecto a una antena omnidireccional. Esto es referido comúnmente como un aumento de la ganancia de la antena y no se debe confundir con el incremento de procesos asociados a los sistemas inteligentes de antena (Smart Antennas).

Mientras que las antenas sectorizadas o direccionales multiplican el uso de canales, ellas no superan las desventajas principales de difusión con respecto a una antena omnidireccional estándar, como por ejemplo la interferencia co-canal.

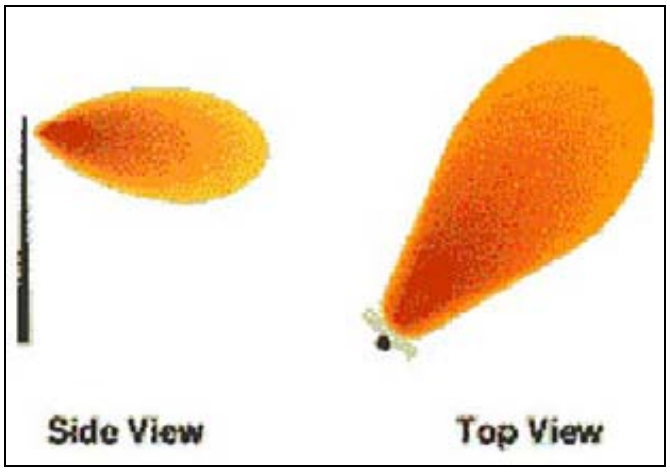

Fig.4.2. Patrón de radiación en Antena direccional.

3.4.3 Consideraciones Generales del Arreglo Omnidireccional y Direccional.

Un arreglo omnidireccional de antenas, es decir, que exista una cobertura en todas las direcciones desde el punto de transmisión, se puede obtener a partir de un arreglo de antenas direccionales. Para ello, es necesario cubrir una zona de 360°.
Para entender el funcionamiento de este tipo de arreglo se debe considerar como parámetro importante el ancho del haz del lóbulo de radiación de la antena que se utilizará.
Como se mencionó anteriormente, este representa la medida angular en donde la potencia decae en -3dB. Dependiendo del arreglo y de las antenas en cuestión, esta medida angular puede hacerse referido a los -3dB o -10dB del peak del lóbulo.

En la siguiente figura se muestra en forma gráfica lo mencionado anteriormente.

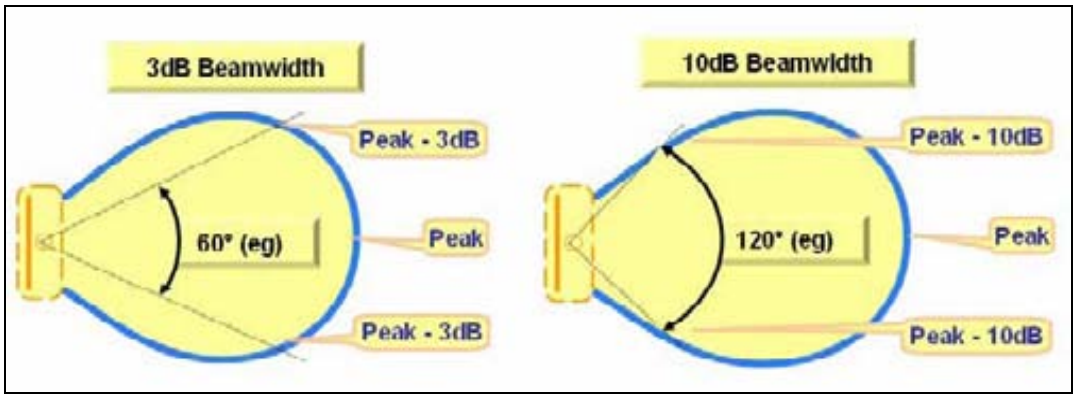

Fig.4.3. Ancho de haz en Antena direccional.

En base al parámetro explicado, es posible configurar un arreglo omnidireccional usando un arreglo de antenas direccionales. Por ejemplo, si se tiene una antena cuyo ancho de haz es de 60°, como el de la figura, se necesitarán seis antenas similares configuradas de tal forma (un lóbulo a continuación del anterior), que se abarque una zona de 360°.
Según el planteamiento anterior, si no interesa cubrir los 360° sino que solamente 180° (hacia una zona en particular), se deberá utilizar tres antenas con ancho de haz de 60°,o bien, cuatro antenas con ancho de haz de 45°. En este caso se estará ante un arreglo direccional, ya que solo se cubrirá una zona en particular.

En la figura se muestra un arreglo omnidireccional usado en comunicaciones inalámbricas utilizando cuatro antenas con ancho de haz de 90°.

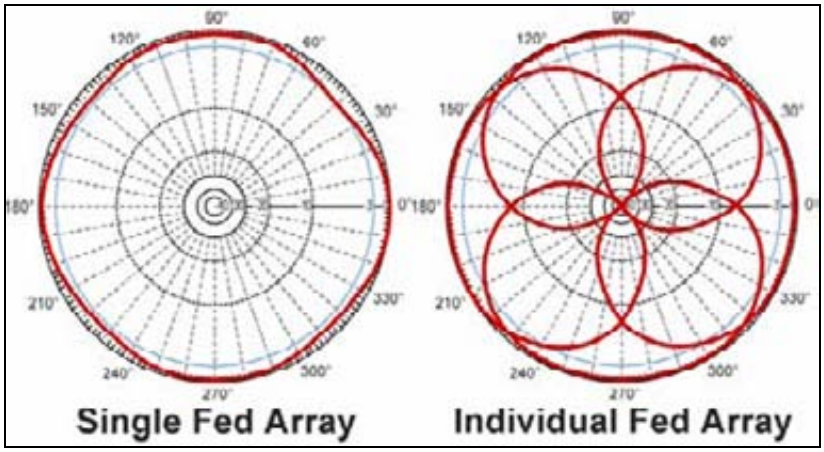

Fig.4.4. Lóbulos de radiación de 4 antenas direccionales.

Como se aprecia en la figura de la izquierda, un arreglo de antenas direccionales (figura derecha) da como resultado un arreglo omnidireccional de antenas, en donde existe una cobertura alrededor del punto de transmisión. Por otro lado, si solo se considerase dos antenas colindantes, solamente se tendría cobertura hacia una zona en especial, por lo tanto, el lóbulo de radiación omnidireccional quedaría dividido en dos y se estará en presencia de un arreglo direccional o sectorial de antenas.

En cuanto a la conexión física de las antenas utilizadas, existe un dispositivo capaz de adaptar las impedancias correctamente para prevenir daños al trasmisor y considerar el conjunto de antenas como si fuese una sola, recibe el nombre de splitter.

3.4.4 Ejemplo de Aplicación.

A continuación se presentan dos aplicaciones comúnmente utilizadas en redes wireless. Se tratan de arreglos de dos y cuatro antenas direccionales configuradas de tal forma que exista una cobertura completa de 360°.

3.4.4.1 Arreglo de Cuatro Antenas Direccionales.

Este ejemplo de arreglo de antena trabaja en los 5,4GHz y utilizada cuatro antenas direccionales con ancho de haz de 90°.

Fig.4.5. Arreglo omnidireccional a partir de 4 antenas sectoriales.

Cada una de las cuatro antenas en este arreglo se puede ajustar individualmente hacia arriba o abajo desde 0° a 20° de inclinación para compensar la geografía de la localización de instalación. Esto ayuda a asegurar la cobertura máxima del arreglo.
Cada antena se alimenta desde un divisor de señal conocido como splitter, el que se muestra en la siguiente figura.

Fig.4.6. Splitter, dispositivo utilizado para la unión física de antenas.

En cuanto a las aplicaciones de este sistema se mencionan los siguientes.

- Banda de aplicación 5.4 GHz.
- Aplicaciones en Banda Europea de 5.4 GHz sin licencia.
- IEEE 802.11a Wireless LAN.
- Sistemas WiFi.
- Radio Local Area Networks (RLAN)
- Fixed Wireless Access Systems (FWA).
- Tecnología WiMAX.
- Wireless Internet Provider "cell" sites.
- Sistemas Punto a Multipunto.
- Wireless Broadband Systems.

Por ultimo, en cuanto al patrón de radiación, se puede apreciar que a partir de cuatro antenas direccionales, se tiene una cobertura omnidireccional desde el punto de transmisión. (Ver Fig.4.4 y Fig.4.5)

3.4.4.2 Arreglo de Dos Antenas Direccionales.

El mismo fabricante del sistema antes mostrado provee también un sistema de antenas omnidireccional a partir de dos antenas direccionales. El parámetro más influyente en comparación del anterior, es que en éste las antenas usadas tienen un ancho en su haz de radiación de 180°, con lo cuál es posible cubrir los 360°

Fig.4.7. Arreglo onmidireccional a partir de 2 antenas sectoriales.

En cuanto a las características de este sistema resultan ser las mismas que las mencionadas para el caso anterior. Lo importante de considerar en este apartado, es como resulta ser el patrón de radiación de este sistema de dos antenas, el que es mostrado a continuación.

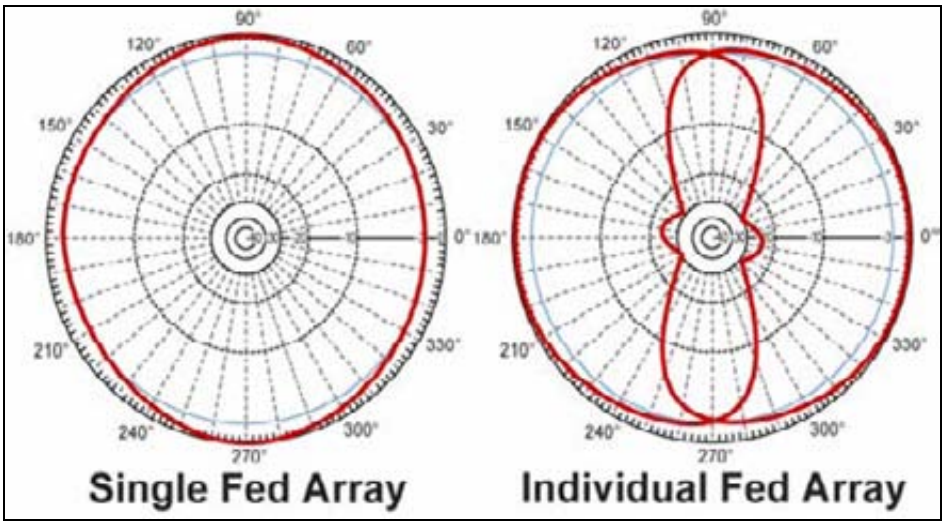

Fig.4.8. Lóbulos de radiación de 2 antenas direccionales.

Las especificaciones técnicas más importantes del conjunto de antenas ofrecido por el fabricante, se muestran en el siguiente cuadro.

Frequency	2400 - 2500 MHz
Antenna Gain	15 dBi*
Polarization	Vertical
Horizontal Beam Width (Individual antenna)	180°
Vertical Beam Width (Individual antenna)	10°
Lightning Protection	DC Ground
Power Rating (Single Fed)	25 Watts
Antenna Radome Material	UV protected epoxy-fiberglass
Mounting System Material	Stainless Steel
Mounting	1¼" to 2" (31.7 to 50.8 mm) dia. mast
Dimensions **(O.D. Panels Fully Retracted)	41" (1.04 m) x 22" (0.55 m) O.D.**
Weight	45 lbs. (20.4 kg)

* Antenna gains specified when sectors are individually fed.

Fig.4.9. Especificaciones técnicas de equipos mostrados.

3.5 Arreglo de Antenas en Fase

Una antena de arreglo en fase es un grupo de antenas que, cuando se conectan, funcionan como una sola antena cuyo ancho de haz y dirección (o sea, patrón de radiación) puede cambiarse electrónicamente sin tener que mover físicamente ninguna de las antenas individuales. La ventaja principal de las antenas de arreglo de fase es que eliminan la necesidad de girar en forma mecánica los elementos de la antena. En esencia, un arreglo de fase es una antena cuyo patrón de radiación puede ajustarse o cambiarse electrónicamente. La aplicación principal de arreglo de fase es en radares, donde los patrones de radiación deben ser capaces de cambiar rápidamente para seguir un objeto en movimiento.

En este tipo de arreglo, las fases relativas de las señales respectivas que alimentan las antenas varían de una manera tal que el patrón de radiación eficaz del arreglo se refuerza en una dirección deseada y se suprime en direcciones no deseadas. Esta tecnología fue desarrollada originalmente durante la Segunda Guerra Mundial como un sistema orientable rápido del radar, para el acercamiento “Ground-Controlled”.

Consistía en un sistema de ayuda en el aterrizaje de aeroplanos en Inglaterra. Fue adaptada más tarde para la astronomía de radio, esta tecnología fue después desarrollada con gran énfasis en la Universidad de Cambridge.

Las amplitudes relativas y los efectos de interferencia constructiva y destructiva entre las señales irradiadas por las antenas individuales, determinan el patrón de radiación eficaz del arreglo. La Puesta en Fase del arreglo se puede utilizar para señalar un patrón

de radiación fijo, o para explorar rápidamente en azimut o la elevación. Cuando los arreglos en fase se utilizan en sonar, se llama el beamforming.

Hasta ahora no hay un gran uso de los arreglos de fase. Esto se debe a lo costoso de la implementación de este sistema, debido a la necesidad de muchos desplazadores de fase de microonda y de sus señales de control. Además del costo del desplazador de fase, los arreglos en fase necesitan generalmente de un amplificador de bajo ruido en cada elemento y una energía de 1 amp. en cada elemento para transmitir. El mercado actual de arreglos de fase se está convirtiendo en televisión vía satélite para los vehículos.

El patrón de la antena representado en la figura siguiente está para un único dipolo. El aumento máximo se normaliza al exterior del diagrama polar y las divisiones principales corresponden al cambio en 10db. En este ejemplo, se varía la longitud del dipolo (en longitudes de onda), solamente se puede obtener el mismo resultado cambiando la frecuencia con una longitud fija del dipolo. De la figura, puede ser visto que los lóbulos laterales se comienzan a formar en 1.25λ y el lóbulo lateral tiene realmente más aumento 1.5λ.

Puesto que el patrón de radiación cambia con frecuencia, el aumento también cambia. El patrón de radiación real varía con la frecuencia.

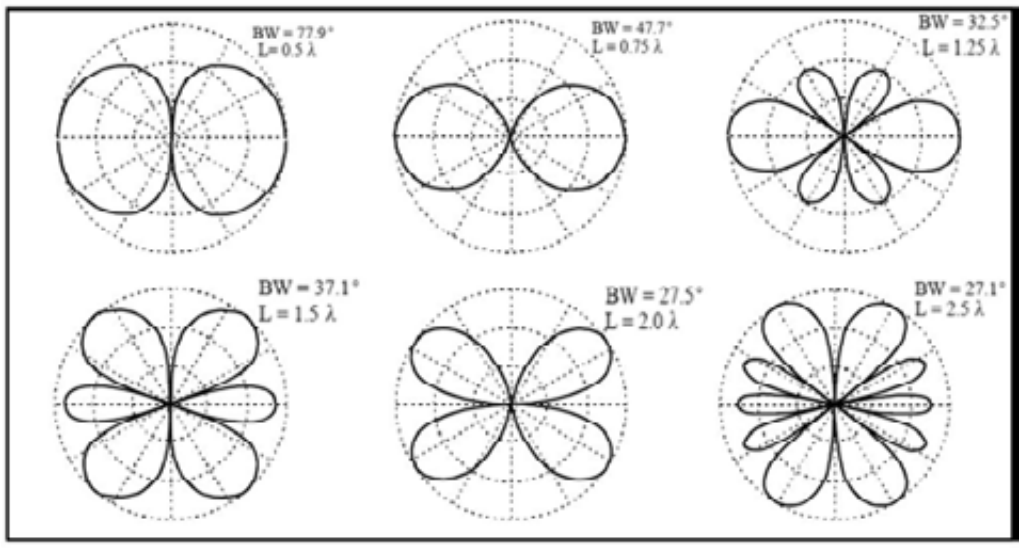

Fig.4.10. Patrones de radiación de distintos dipolos.

Un arreglo en fase con los elementos espaciados igualmente es el más fácil de analizar y forma la base para la mayoría de los diseños del arreglo. En la figura siguiente se ilustra esquemáticamente un arreglo lineal, la alimentación corporativa y el espacio entre ellas es *d*, es el más simple y sigue siendo ampliamente utilizado, controlando la fase y la amplitud de la excitación a cada elemento, según lo representado, se puede controlar la dirección y la forma del lóbulo irradiado por el arreglo. La excitación de la fase, controla el ángulo, θ, en el arreglo en fase de la señal.

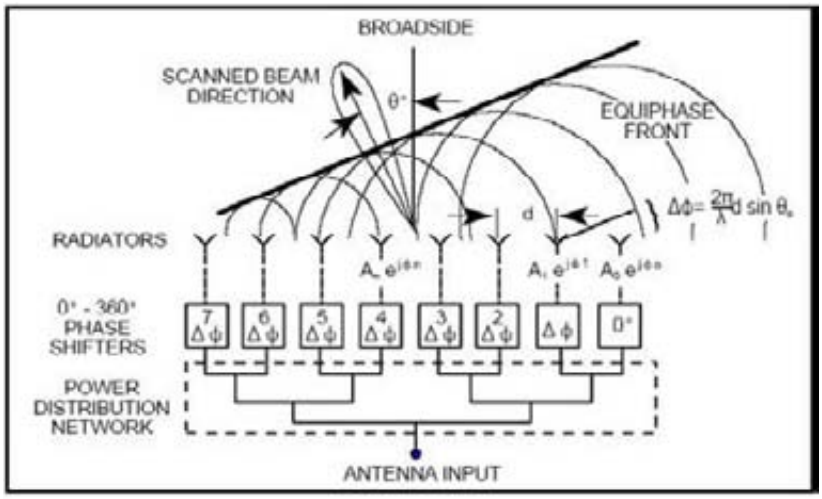

Fig.4.11. Representación de un Arreglo de fase lineal.

3.5.1 Características de los Arreglos de Fase.

Las antenas con Arreglo de Fase son altamente ventajosas en un sistema basado en satélites de baja orbita donde las altas tasas de datos son requeridas por los usuarios. Los arreglos de fase que trabajan con varias técnicas de modulación en las altas tasas de datos, y otras variables para proporcionar una comprensión más completa de las características operacionales que se experimentan en un ambiente de orbitas bajas. El diagrama de bloque siguiente muestra esta capacidad dinámica del sistema.

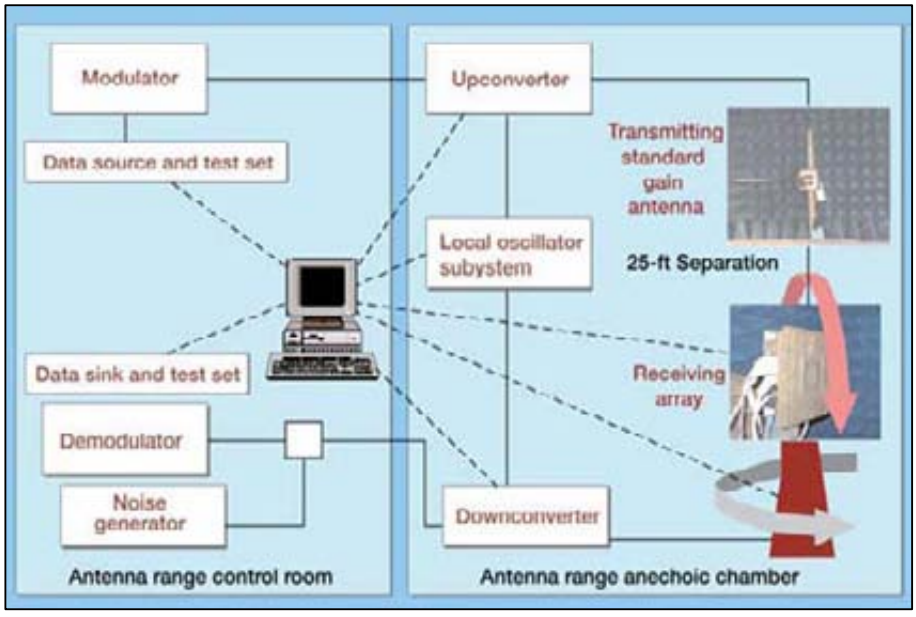

Fig.4.12. Capacidad dinámica de un sistema arreglado en fase.

También son utilizados por los buques de guerra de varias marinas incluyendo japonés, chinos, españoles y Estados Unidos. Los radares permiten que un buque de guerra utilice un sistema de radar para la detección superficial y poder seguir a otras embarcaciones.

Otra característica es la capacidad de uplink de un misil, antes de usar estos sistemas, cada misil requería de un radar dedicado para el control de éste, que significaba que las naves podrían contar solamente con un número limitado de blancos simultáneos.

Fig.4.13. Ejemplo de aplicación de arreglos en fase.

Recientemente, la nave espacial "MENSAJERO" fue lanzada. Esto es una misión al planeta mercurio (llegada el 18 de marzo de 2011). Esta nave espacial es la primera misión del espacio no explorado. Se utilizó una antena con arreglo de fase para las comunicaciones. Se comunica en la banda X. La antena puede funcionar con 4 u 8 elementos de la radiación.

En la óptica también están presentes. Dentro del espectro visible o infrarrojo de ondas electromagnéticas es también posible usar arreglos de fase. Se utilizan en multiplexores y filtros de longitud de onda para los propósitos de telecomunicación.

3.6 Arreglos de antenas adaptativas

Los arreglos de antenas consideran que una señal deseada y una señal de interferencia llegan a partir de diferentes direcciones. Los lóbulos de radiación de un arreglo son configurados para adecuar requisitos de señales combinadas, viniendo de elementos diferentes. El vector de peso W_i, mostrado en la siguiente figura, es el responsable para el ajuste y actualización de las fases de los elementos del arreglo.

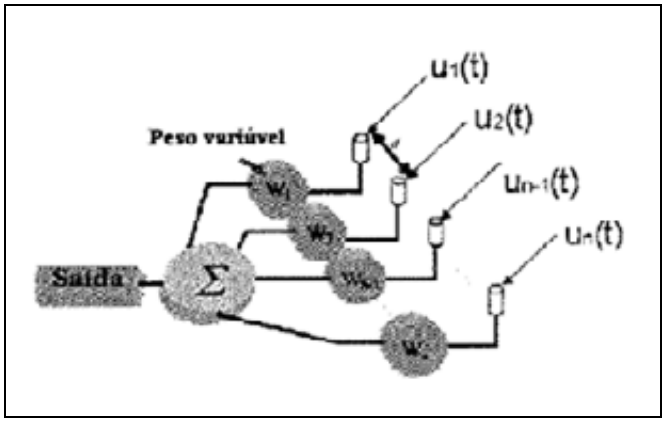

Fig.4.14. Concepto de un arreglo adaptativo.

Este arreglo es un sistema en que los elementos de la antena pueden adaptar sus patrones de radiación a cualquier cambio en su ambiente. Para alcanzar esto, el sistema utiliza una variedad de nuevos algoritmos de procesamiento (mencionados posteriormente) de la señal para localizar con eficacia las señales de interés para de ésta forma reducir al mínimo, dinámicamente, la interferencia, y de maximizar la recepción prevista de la señal.

Aumentando la complejidad del procesamiento de señales del arreglo es posible alcanzar un desempeño mas elevado que los sistemas de haz conmutado. Con el auxilio de algoritmos de control, es posible estimar la dirección de llegada de la señal, DOA, y también optimizar los pesos de los elementos, suprimiendo así las interferencias y concentrando la radiación en una dirección hacia el usuario.
MUSIC o **ESPIRIT** son ejemplos de algoritmos para la determinación de DOA en arreglos, por otro lado, **LMS** y **RLS** son algoritmos eficientes para la estimación de los pesos de las señales de llegada en el arreglo. Con estos algoritmos el lóbulo puede ser estrechado, con eso mejorar el reuso de frecuencia en una célula, rechazar la interferencia y maximizar la relación señal a ruido (S/N).

Las figuras siguientes son un ejemplo de sistemas de arreglo adaptativos, que proporciona aumento óptimo del lóbulo de radicación hacia la señal de interés, mientras que simultáneamente identifica las señales que interfieren para reducirlas al mínimo.

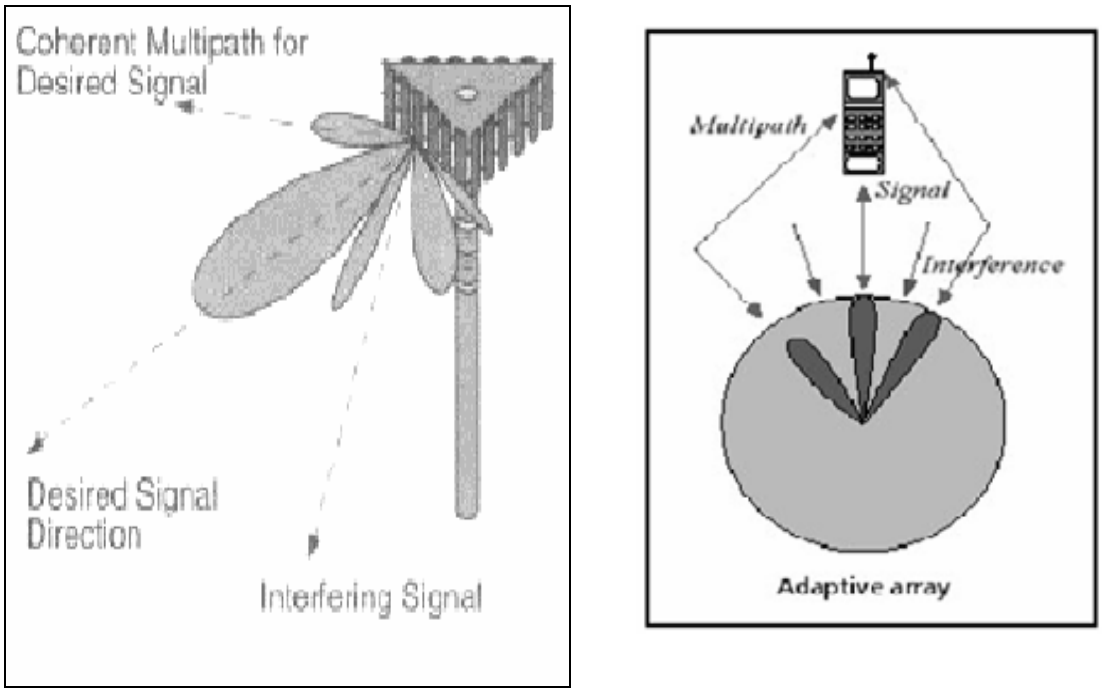

Fig.4.15. Ejemplos de un sistema adaptativo.

Un factor importante para los arreglos adaptantes en sistemas inalámbricos es su funcionamiento en ambientes multidireccionales y de línea de vista (LOS). En un ambiente LOS, para enlazar las señales de recepción deseadas e interferencia nula, se genera un patrón de radiación en el arreglo de antena que tenga una lóbulo principal en la dirección de la señal deseada y nulo hacia las fuentes interferentes.

Bajo estas condiciones, con el número de los elementos mucho mayor que el número de señales que llegan al arreglo, es más fácil expresar la respuesta del arreglo en términos de un pequeño número de ángulos de llegada (es decir DOA).

Las técnicas que determinan la dirección de la señal han determinado un funcionamiento bastante mejorado para éste tipo de arreglos.

Sin embargo, en un ambiente multidireccional con trayectoria múltiple y DOA, llega a ser imposible formar un patrón de la antena con un lóbulo en la dirección de cada señal deseada y anular en la dirección de todas las señales que interfieren. Esto es porque el número de nulos requerido sería lejos mayor que el número de elementos.

Sin embargo, no importa las muchas trayectorias de cada señal, el resultado son una fase dada y amplitud en cada antena para una señal. Habría una respuesta del arreglo para

cada señal y el funcionamiento del arreglo depende del número de señales, no el número de trayectorias, con el análisis en el dominio del espacio más que el dominio angular.

Esto es cierto mientras el retraso de las señales sea pequeño; si no, el retrazo de las señales se deben considerar como señales separadas. Por lo tanto, en N elementos del arreglo, el elemento que sigue puede anular (N-1) interferencias independientes de un ambiente. (Multidireccional de LOS).

Al comparar las ventajas de un arreglo adaptante a la de un sistema conmutado, debe ser observado que la complejidad de los algoritmos y del hardware necesitados es mucho más grande para los sistemas adaptantes.
No sólo la complejidad, pero también los algoritmos eficientes y el proceso de la señal numérica deben ser usados en conjunto para producir un sistema completamente adaptante de antena.

Las figuras siguientes muestran en bloques las partes de transmisión y de recepción de un sistema adaptante de antena para ser puesta en ejecución.

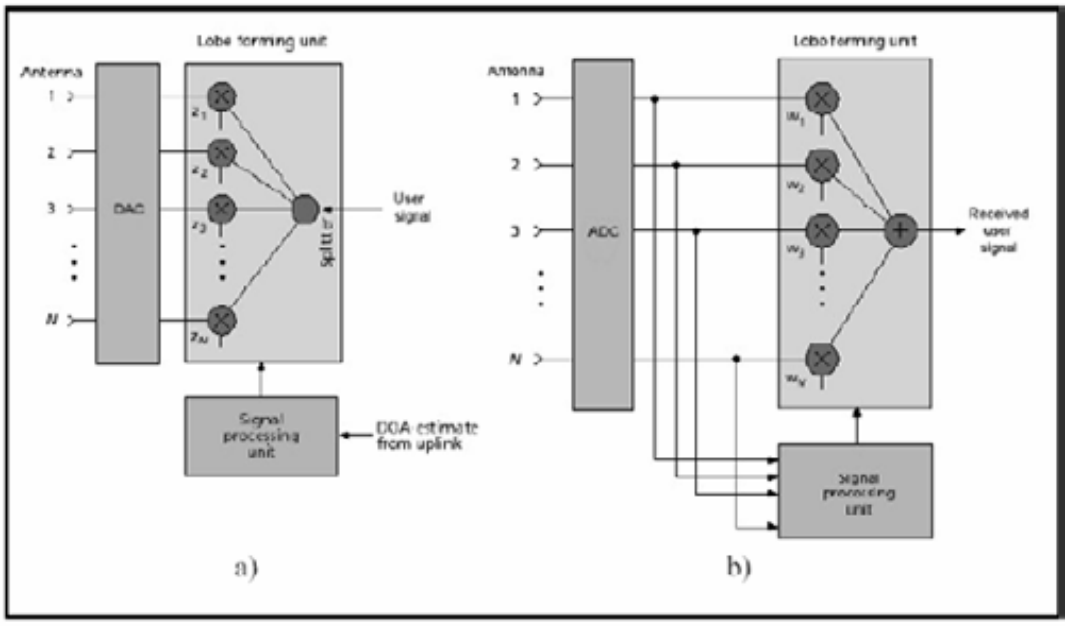

Fig.4.16. Partes de transmisión y recepción de un sistema adaptante.

3.6.1 Principales Ventajas del Uso de Sistemas Adaptativos.

1. Promueven el aumento de cobertura, a través de la extensión del alcance.

Visto que la cobertura representa un área de célula en el cuál el nivel de señal es considerado de vital importancia, en donde, los beneficios de las antenas del sistema son aumentados, consecuentemente, el radio de cobertura también aumentará.
Con esto, los costos de ampliación de los sistemas wireless pueden ser reducidos, pues las células iniciales pueden ser aumentadas como una necesidad adicional.

2. Aumento de la capacidad del sistema.

Los arreglos adaptativos pueden garantizar una comunicación entre los suscriptores a una misma distancia que un sistema convencional pero utilizando una considerable menor potencia de transmisión. Esto permite que los sistemas FDMA y TDMA utilicen aún más el reuso de la frecuencia, ya que la razón interferencia-portadora, CTIR, es mucho mayor en los sistemas adaptativos que en los sistemas convencionales. Ya en sistemas CDMA, el MAI (Acceso de Interferencia Múltiple) será disminuida, con eso el número de usuarios simultáneos asegurado en cada célula aumentará. Adicionalmente, con la disminución de la potencia, las antenas de los terminales móviles tendrán una mayor vida útil y una reducción en su tamaño.

3. Formación de múltiples lóbulos adaptativos.

En sistemas SDMA, acceso múltiple por división de espacio, permite que múltiples usuarios operen en una misma célula, en el mismo slot de tiempo/frecuencia, a través de la formación de lóbulos múltiples, como es mostrado en la siguiente figura. Por otra parte, los sistemas se tornan más robustos e inmunes a las interferencias, pues la potencia esta concentrada directa a los usuarios.

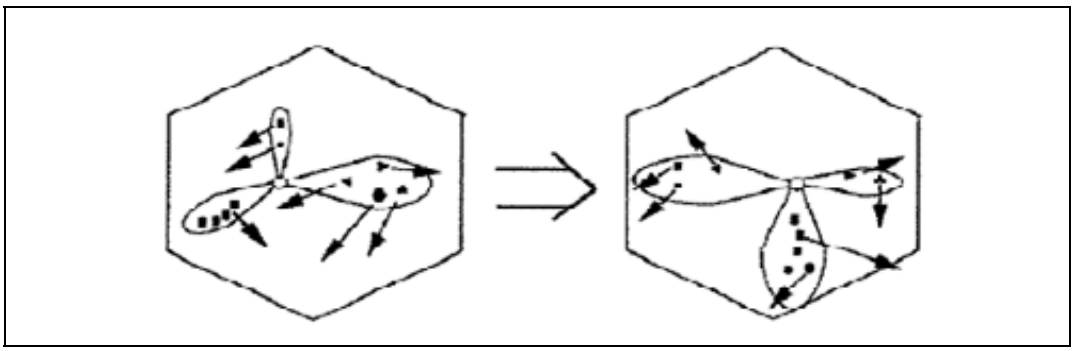

Fig.4.17. Configuración típica mostrando diferentes lóbulos hacia varios usuarios.

4. Formación de Células Dinámicas.

El concepto de lóbulos adaptativos puede ser extendido para la formación de células dinámicas. Por el contrario, en términos de células con tamaño fijo, el uso de arreglos adaptativos permite la formación de células basadas en las necesidades de tráfico, como es mostrado a continuación.

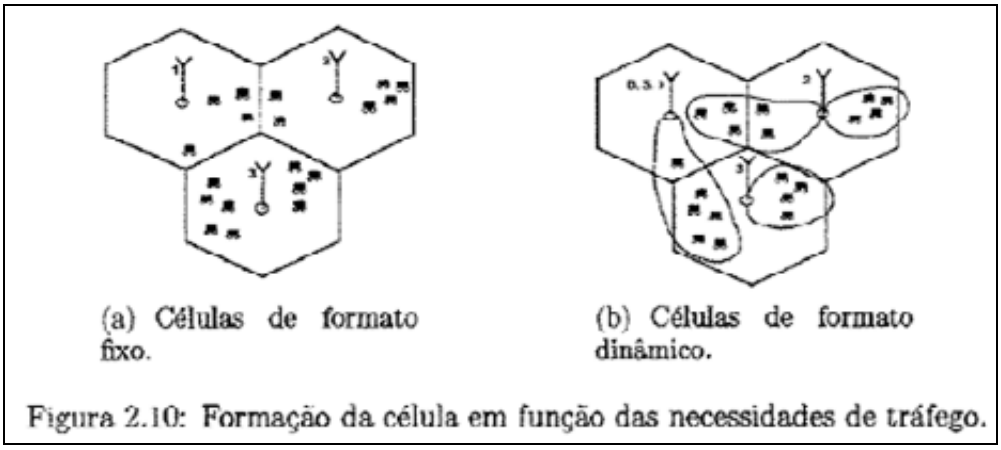

Fig.4.18. Formación de una célula en función de las necesidades de tráfico.

5. Determinación de DOA y Cancelamiento de Interferencias.

Con la determinación de la dirección de arribo de la señal, se puede optimizar los patrones de radiación de acuerdo con la señal recibida por cada elemento, y direccionar nulos en las direcciones de interferencia, con esto se reduce la interferencia co-canal.

CAPÍTULO IV. MEDICIONES PRÁCTICAS.

4.1 Introducción.

Para conocer el comportamiento del actual sistema de telefonía móvil (GSM) presente en nuestro país, se realizaron mediciones prácticas las cuales tuvieron como principal propósito conocer la calidad de servicio de una determinada empresa de Telefonía.
Se entiende por calidad de servicio varios factores, como por ejemplo, tener un mínimo de señal en el terminal móvil dentro de la zona de cobertura que permita al usuario efectuar una llamada, así como también, no sobrepasar un tiempo aceptable desde el momento de efectuar una llamada hasta obtener el tono de marcación.

Las mediciones se realizaron en la Ciudad de Santiago, específicamente en la Comuna de Providencia. Para ello, se contó con equipos y programas especializados que permitieron tanto medir como graficar los parámetros obtenidos para su interpretación.

4.2 Equipos y Programas Utilizados.

A continuación se mencionan tanto los equipos como los programas requeridos para la realización de las medidas dentro del cluster de Providencia.

- Notebook
- Teléfono Test
- Scanner DTI.
- GPS.
- Cable Conectores
- NEMO Outdoor 4.18
- NEMO Analyzer 5
- MapInfo 7.8

4.2.1 Descripción de Elementos Utilizados.

NOTEBOOK.

El computador utilizado corresponde a un Dell de 1,8 Ghz. de velocidad con una memoria RAM de 512 MB, disco duro de 50 GB. Es claro mencionar que para este propósito no se requiere de un PC de altas prestaciones.

TELÉFONO TEST.

El teléfono que se utilizó fue el NOKIA 6230 ya que este cumple con los requerimientos de conexión hacia el computador. Una de las características mas especiales que tiene este teléfono es que se puede programar a través de software para determinar los parámetros que entregue hacia el computador, para posteriormente analizarlos y confeccionar tablas y gráficos.
Algunas de las especificaciones más importantes de este equipo se muestran a continuación.

General
Tipo de producto: Teléfono móvil con cámara digital / reproductor digital / radio FM
Anchura: 4.4 cm
Profundidad: 2 cm
Altura: 10.3 cm
Peso: 97 g

Celular
Tecnología: GSM
Banda: EGSM 900 / GSM 1800/1900 (tribanda)
Diseño telefónico: Golosina en barra
Antena: Integrado
Remarcación automática: Sí
Marcación por voz: Sí
Retención de llamada: Sí
Capacidad de llamadas en conferencia: De 6 vías
Interfaz inalámbrica: Bluetooth, Rayos infrarrojos (IrDA)
Enlace por ordenador: Sí
Programa de software: Notepad, Translator, Converter II

Fig.4.1. Teléfono Test utilizado.

SCANNER DTI.

El scanner utilizado puede operar en las bandas de 850 y 1900 Mhz. que corresponden a las bandas de GSM. Este dispositivo es utilizado para rastrear ciertos canales de frecuencias específicas, para poder determinar la calidad de señal de los canales previamente programados. Es clave considerar que al programar una mayor cantidad de canales de rastreo, el scanner se demorará mas tiempo en recorrerlos, por lo cual, la cantidad de muestras será menor.
Este dispositivo posee una antena propia que debe ser conectada al exterior del vehículo con el que realizará el drive test. A su vez, posee un puerto serial que se conecta directamente al del computador para la recopilación de los datos entregados por el scanner, los cuales son analizados posteriormente con el software NEMO outdoor.

GPS

El GPS utilizado fue el Garmin USB. Este dispositivo entregará la posición y altitud relativa, con una precisión casi exacta, incluso en condiciones meteorológicas muy adversas. De igual forma que el Scanner DTI, posee una interfaz que permite conectarlo al puerto USB del computador y funcionar en conjunto con la aplicación NEMO outdoor para obtener finalmente un mapa especifico del cluster a analizar.

MODELO	E-TREX VISTA
Satelites	12 canales
Numero de Waypoints	1.000
Memoria Interna	24 MB
Nº de rutas / Nº de waypoints por rutas	20/50
Database o Cartografía	Cartografía
Opcion de mapas adicionales	En Map Source CD Software
Duración de baterias	12 HR (2 AA)
Tamaño pantalla (pulgadas)	2.1 x 1.1
Pantalla	4 Niveles de Grises LCD
Pixeles	288 x 160
Antenna	Interna
Modo TracBack	Si
Puntos de Tracklog	10.000.-
Peso	5.3 oz.
Alarma Audible	No
Resistencia al Agua	IPX7 (sumergible en 1 metro durante 30 min.)
Tamaño Unidad (Pulgadas)	4.4 x 2.0 x 1.2
joystick con 5 posiciones	Si
Luz de pantalla	Niveles Simples
Conector Para Antena Externa	No
Captación De WAAS	Si
Compas Electronico Interno	Si
Altímetro Barométrico Interno	Si
Caza / pesca (calculador)	Si
Aproximación de Waypoints	No
Calendario Interno	Si
Rango De Voltage	2.5
Medición de superficies automatica	Si
Iconos de Waypoints	Si

Fig.4.2. Tabla de especificaciones del GPS.

Fig.4.3. GPS utilizado.

NEMO

Esta aplicación es considerada un Tool (herramienta) para la realización del Drive Test. Es capaz de almacenar los datos provenientes tanto del Scanner como del GPS en tiempo real, es decir, almacena en forma ordenada, datos de posición y calidad de señal recibida por antena. De esta manera, construye la información correspondiente a un cluster así como el sitio en la cual residen.

MAPINFO.

Esta aplicación es una herramienta de post proceso que utiliza los datos obtenidos del software NEMO, es decir, se utiliza para la confección de un mapa final del cluster analizado, obteniendo de esta manera, una ilustración mas explicativa acerca del comportamiento de las antenas por sectores del cluster correspondiente.

4.2.2 Conexión Física.

Para la realización del Drive Test, los elementos utilizados fueron montados en un móvil, el que seria el encargado de recorrer una ruta predeterminada de 269.1Km a lo largo del cluster a analizar. Se debe mencionar que para este test el equipo terminal móvil a usar va al interior del automóvil sin antena exterior. Con esto se ejemplifica de mejor forma una situación real de comunicación.

Fig.4.4 Conexión de equipos al interior del móvil.

En la imagen anterior se puede apreciar el teléfono móvil en la parte posterior de la cabecera del conductor, a su vez, se muestra el computador portátil utilizado, en la parte frontal de este, una caja negra con conexión serial que es utilizada por el scanner para la transferencia de datos al PC.

Fig.4.5. Antenas exteriores de los dispositivos.

En la imagen anterior es posible percatarse de tres antenas en el techo del vehículo. La primera de la izquierda, una antena redonda y plana, corresponde a la que utiliza el GPS, esto para no perder la posición en ciertos lugares en donde la señal disminuya. La antena del medio, cilíndrica con base magnética, corresponde a la del scanner, utilizada para el mismo propósito que en el caso anterior, por último, la antena delgada de la derecha, corresponde a la antena del teléfono móvil, la que fue retirada posteriormente para una simulación correcta de un caso real.

4.3 DRIVE TEST.

Las siguientes mediciones fueron realizadas entre las fechas 10 al 16 de noviembre del presente año.
El siguiente capitulo esta pensado para demostrar el funcionamiento de la red de telefonía GMS para las bandas de 850 y 1900Mhz.
Se debe mencionar que los datos obtenidos ya fueron procesados por el Software MapInfo, por lo que los resultados son mostrados en gráficas (mapas) en donde se pueden apreciar, además, la posición exacta de todas las antenas instaladas en el sector.

Los parámetros más importantes a tener en cuenta del Drive Test son los siguientes:

- Cobertura (Rx Level)
- Calidad (Rx Qual)
- C/I (Carrier/Interference)
- Servicio/Mejor Servicio

4.3.1 Configuración de las Llamadas

A continuación se describen los pasos que se siguieron para dar inicio al Drive Test.

1. Se configura el Scanner para el rastreo de ciertos canales de una banda de GSM específica. De igual forma, se preparan los equipos y el PC para la recopilación y procesado de los datos.

2. El conductor del vehículo recorrerá la ruta planificada para determinar las condiciones de señal a lo largo del sector de interés.

3. Durante el Drive Test los siguientes tipos de medidas son almacenados.

3.1 VOICE: Se realizará una llamada sin fin, que recoge la información de la calidad y de los acontecimientos de la red.

En caso de presentarse una llamada fracasada o de un acontecimiento caído, el teléfono de prueba se pondrá en modo Idle, es decir, esperará por 10 segundos para luego intentar hacer una nueva llamada.

3.2 SCANNER: Recogerá la fuerza de la señal recibida con decodificación BSIC (Base Station Codification Code) en redes GSM.

4. Se consideran los siguientes rangos de frecuencias y canales.

850 Mhz. 141 y 151 a 168 (18 canales).

1900 Mhz. 587 a 604 y 690, 694, 698, 714 (21 canales)

5. El equipo Tester (incluye Computador, Scanner, GPS, Teléfono) se instalan en el vehículo.

6. Las medidas serán guardadas automáticamente en la herramienta del Drive Test.

4.3.2 Condiciones para el Test.

- Un equipo de prueba realiza las medidas en el terreno.

- Las rutas son acordadas con anticipación entre el cliente y el realizador de la prueba.

Para el caso de la ruta a recorrer, esta ya se encontraba planificada con anticipación entre el cliente y la empresa, por lo que se aprovechó de utilizar la misma.

4.4 REPORTES DE SALIDAS.

En esta sección se incluye los resultados ya procesados a través del Software MapInfo. Se incluyen tablas (datos numéricos) y gráficos según lo mencionado en la sección 4.3.

4.4.1 Estadísticas de la Llamada.

Aprovechando los datos recopilados por los equipos, se confeccionó una tabla con los parámetros más importantes que se refieren a una llamada, como por ejemplo, las llamadas fracasadas, el tiempo de espera promedio, entre otros factores.

Parámetros	Telefonía GSM
Intentos de Llamada	22
Tiempos de Enlace(s)	41104
Tiempo de Espera Promedio(s)	60
Intentos de Llamada Normalizada	685
Intentos de Llamadas Fracasada	1
Porcentaje de Llamadas Fracasadas	0.1%
Promedio de tiempo de Config. de Llamada(s)	7.1
Intentos de Entrega	1950
Fracaso de Entrega	21
Porcentaje de Fracasos en la entrega	1.1%
Llamada Caída	5
Porcentaje de Llamadas Caídas	0.7%
Llamadas Completadas	679
Porcentaje de Llamadas Completadas	99.1%

Fig.4.6. Estadísticas de llamada recopiladas.

Considerando la tabla antes mostrada, se utilizaron los parámetros más relevantes para la confección de una gráfica, que permita visualizar en forma rápida, el comportamiento de las llamadas en general.

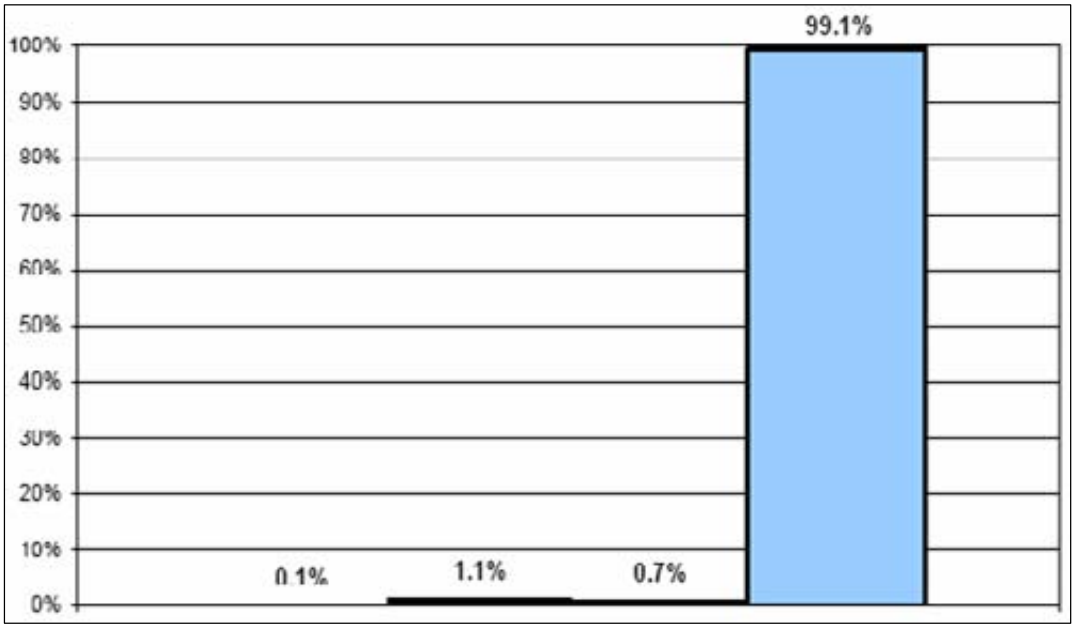

Fig.4.7. Gráfico indicadores de Llamadas

4.4.2 Estadística de la Cobertura.

De igual manera que en el caso anterior, según los datos proporcionados por el teléfono, fue posible determinar la cantidad (medida en dBm) de señal recibida. Las muestras fueron realizadas, por el teléfono el cual fue programado con los software requeridos, para que entregue la información necesaria para la construcción de tablas y graficas.

Dichos valores se muestran en la siguiente tabla.

Rx Level Sub (dBm)	Telefonica GSM (samples)	Density (%)	Cumulative (%)
< -110	6	0.0%	0.0%
-105	0	0.0%	0.0%
-100	56	0.0%	0.1%
-95	446	0.4%	0.4%
-90	1791	1.5%	1.9%
-85	6570	5.5%	7.4%
-80	16087	13.4%	20.9%
-75	27564	23.0%	43.9%
-70	28386	23.7%	67.6%
-65	18943	15.8%	83.4%
-60	10160	8.5%	91.9%
-55	5075	4.2%	96.2%
-50	2882	2.4%	98.6%
-45	1085	0.9%	99.5%
> = -45	639	0.5%	100.0%

Fig.4.8. Fuerza de la señal de Downlink

En la tabla antes mostrada se destacan parámetros importantes otorgados por el teléfono, tales como, la cantidad de muestras efectuadas en un cierto intervalo de tiempo, considerando la cantidad de potencia recibida en ese instante. A partir de ello se efectuó la tabla considerando además su representación porcentual.

Con los datos obtenidos se elaboro la siguiente grafica.

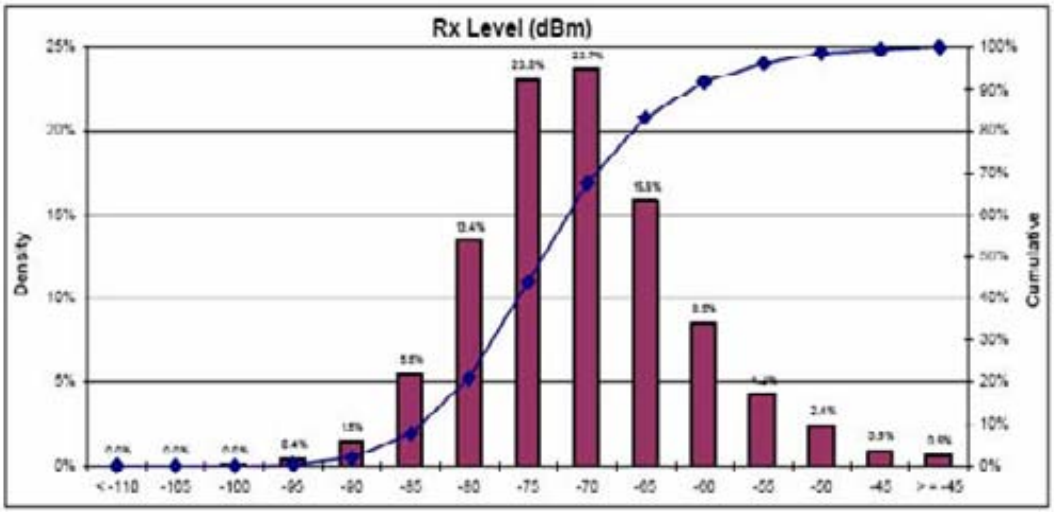

Fig.4.9. Fuerza de la señal de Downlink - acumulativa y función de la densidad.

4.4.3 Estadísticas de Calidad.

Otro parámetro entregado por el teléfono es la calidad de recepción de la señal. Estos se pueden clasificarlo en un rango de 8 niveles, comprendidos en una escala de 0 a 7, siendo el mejor nivel 0 y el de menor calidad 7. A su vez estos son muestreados de igual forma que en el caso anterior.

Rx Qual Sub	Telefonica GSM (samples)	Density (%)	Cumulative (%)
0	26579	55.9%	55.9%
1	2647	5.6%	61.4%
2	3806	8.0%	69.4%
3	4679	9.8%	79.3%
4	4634	9.7%	89.0%
5	3361	7.1%	96.1%
6	1415	3.0%	99.1%
7	442	0.9%	100.0%

Fig.4.10. Ejemplos de Calidad.

Con los datos obtenidos se elaboro la siguiente grafica.

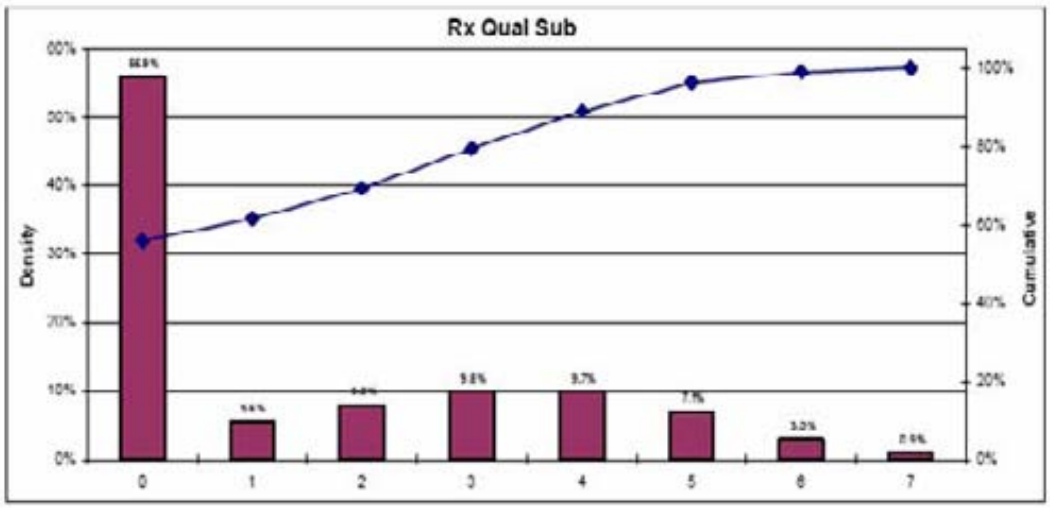

Fig.4.11. Calidad - acumulativa y función de la densidad.

4.4.4 Estadística C / I (Carrier-Interference)

En la siguiente tabla se puede apreciar la relación que existe entre la portadora y la cantidad de interferencia en cierta cantidad de muestras, vemos que este valor para este drive test se encuentra en buenas condiciones, ya que existe una buena relación entre ellos y la portadora es suficientemente alta en comparación de la interferencia, del mismo modo, cuando este parámetro tiende a 0, la comunicación entre el equipo

terminal móvil y la estación base es defectuosa, aumentando las posibilidades del fracaso de la conexión.

C / I (dB)	Telefonica GSM (samples)	Density (%)	Cumulative (%)
< 0	4	0.0%	0.0%
1	63	0.1%	0.1%
2	11	0.0%	0.1%
3	11	0.0%	0.1%
4	18	0.0%	0.1%
5	38	0.0%	0.2%
6	53	0.1%	0.2%
7	79	0.1%	0.3%
8	76	0.1%	0.4%
9	137	0.2%	0.6%
10	171	0.2%	0.8%
11	192	0.2%	1.0%
12	267	0.3%	1.4%
13	375	0.5%	1.8%
14	470	0.6%	2.4%
15	782	1.0%	3.4%
16	1012	1.2%	4.6%
17	1332	1.6%	6.2%
18	2344	2.9%	9.1%
19	4584	5.6%	14.7%
20	9382	11.5%	26.2%
21	17559	21.5%	47.6%
22	21785	26.6%	74.3%
23	13602	16.6%	90.9%
24	6684	8.2%	99.1%
25	687	0.8%	99.9%
26	66	0.1%	100.0%
27	1	0.0%	100.0%
28	0	0.0%	100.0%
29	0	0.0%	100.0%
> = 30	0	0.0%	100.0%

Fig.4.12. C/I Ejemplos

Con los datos obtenidos se elaboro la siguiente gráfica.

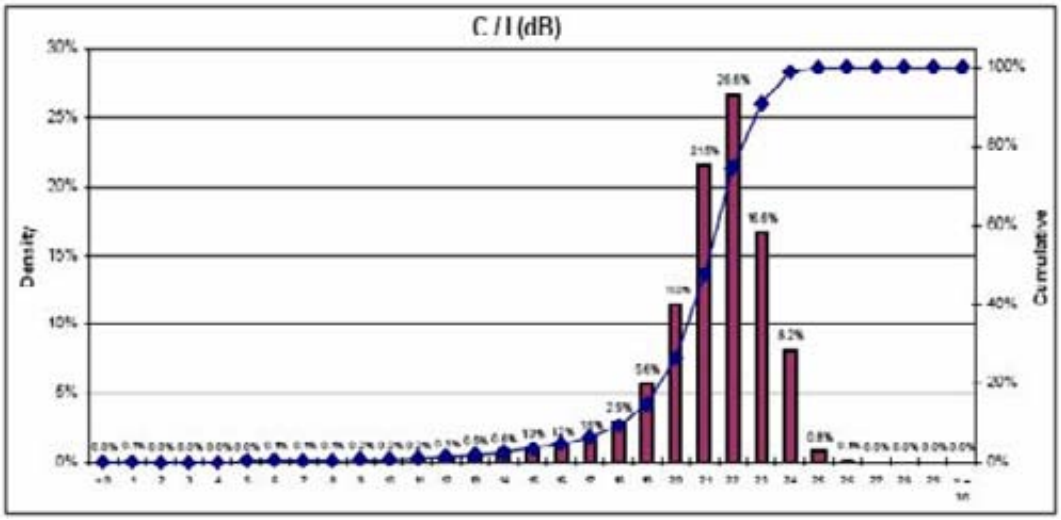

Fig.4.13. C/I Función acumulativa y de densidad.

4.5 Diagramas Geográficos.

En este apartado del capítulo, se mostrarán y analizarán los reportes entregados por el Software MapInfo, los cuales han sido procesados previamente según los parámetros otorgados tanto por el Scanner, el Teléfono Test y el GPS.
Las gráficas presentadas muestran el mapa de Providencia, que coinciden con el Cluster analizado, además, presentan una coloración especial que irá de acuerdo a la escala presentada en la misma.
Por otra parte, se pueden visualizar la ubicación física exacta acerca de la ubicación de las antenas, las cuales deben estar ubicadas en puntos estratégicos para ofrecer un mejor servicio, todo dentro de la red GSM actual.

4.5.1 Diagrama del Nivel de RX.

En la siguiente grafica se puede apreciar el nivel de recepción de señal otorgado por el teléfono Test, el que en todo momento se encontró testeando la red. Se puede verificar claramente que existen zonas en la cual se halla una señal óptima, mientras que en otras, se tiene el riesgo de fracasar la comunicación.
En el extremo superior izquierdo se muestra un cuadro con los niveles de potencia, representados por colores (medidos en dBm), los que variarán según la topología geográfica.
En la grafica, según la tabla mostrada, los colores verdes representarán los mejores niveles de recepción de señal para el Teléfono utilizado.

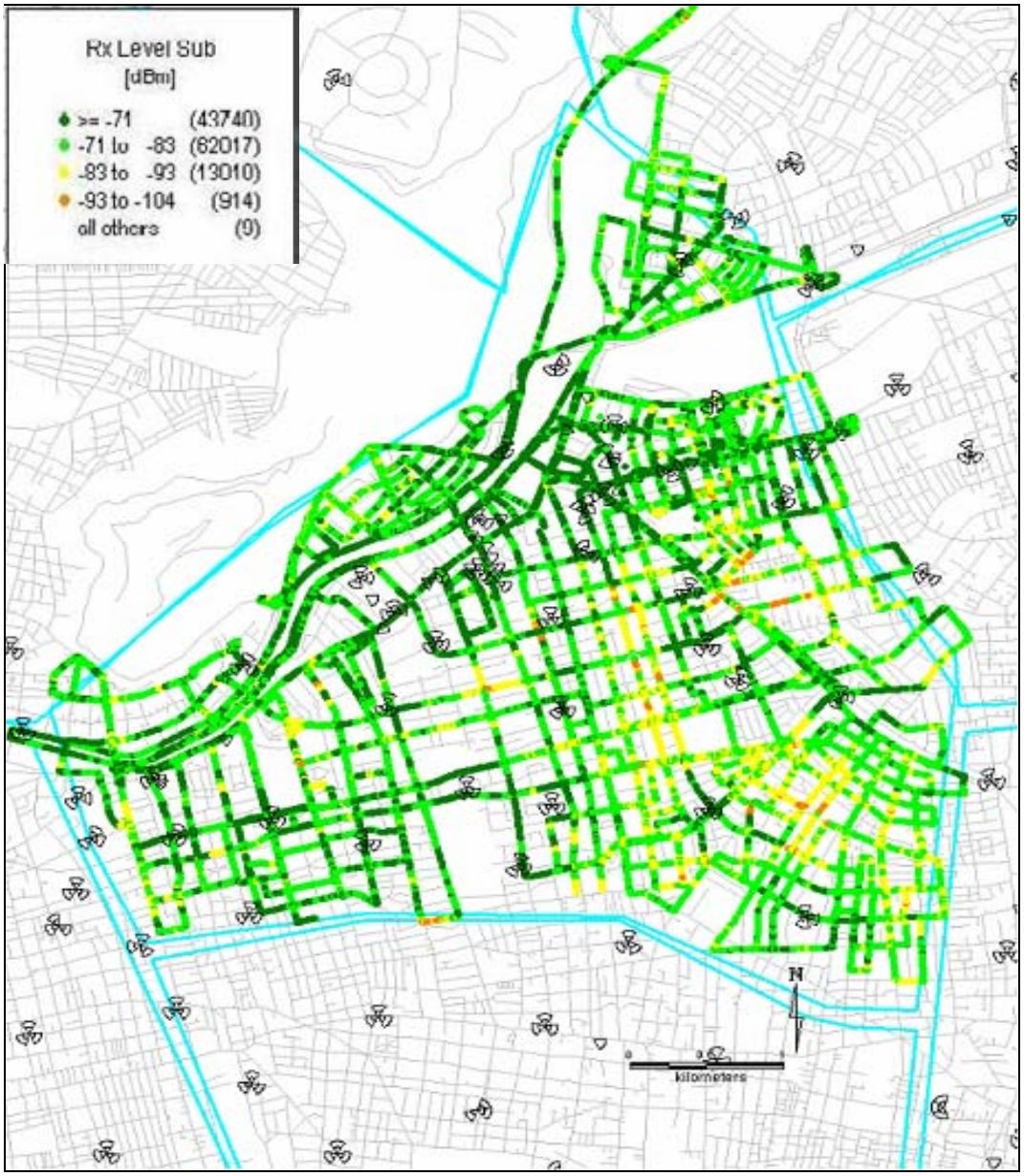

Fig.4.14. Diagrama geográfico del nivel de Rx.

4.5.2 Diagrama de Rx Qual.

Como se mencionó en el apartado 4.4.3 los niveles de calidad de recepción de señal pueden ser considerados dentro de una categoría que se inicia con el mejor nivel en 0 y finalizan en 7, siendo éste el de menor calidad.
La diferencia entre este punto y el anterior es que la calidad de recepción indicará la forma en que se recibe una señal proveniente de la estación base, independiente de la cantidad de señal, es decir, se puede tener la totalidad de la cobertura (señal máxima) pero ello no asegura una fiel recepción en el móvil (interrupción o ruido en la comunicación).

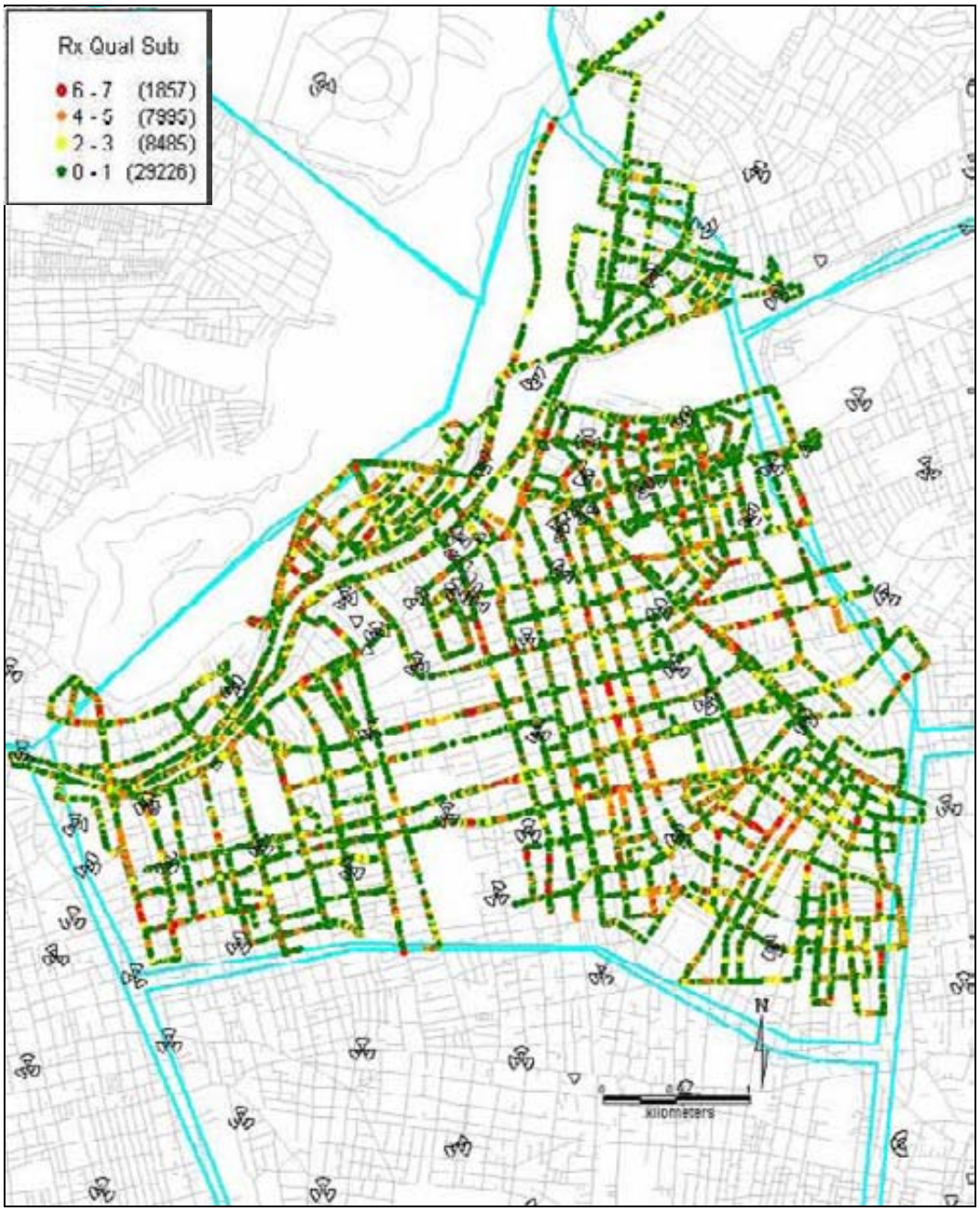

Fig.4.15. Diagrama geográfico de calidad de Rx.

4.5.3 Diagrama C/I. (Carrier/Interference)

Este parámetro es uno más de los que proporciona el Teléfono Móvil. Nos indica la relación que existe entre la portadora de la información, que dependerá de la frecuencia de trabajo, y la cantidad de interferencia que la afecta. Se entiende que a la misma frecuencia, puedan transmitir otros dispositivos de índole variada, y afecten directamente a una comunicación establecida.
Se entiende que una mayor relación entre ambas, medidas en decibeles (dB), implicará una mejor calidad recepción de señal, mientras que cuando este parámetro tiende a cero, existen más posibilidades de establecer una comunicación defectuosa.

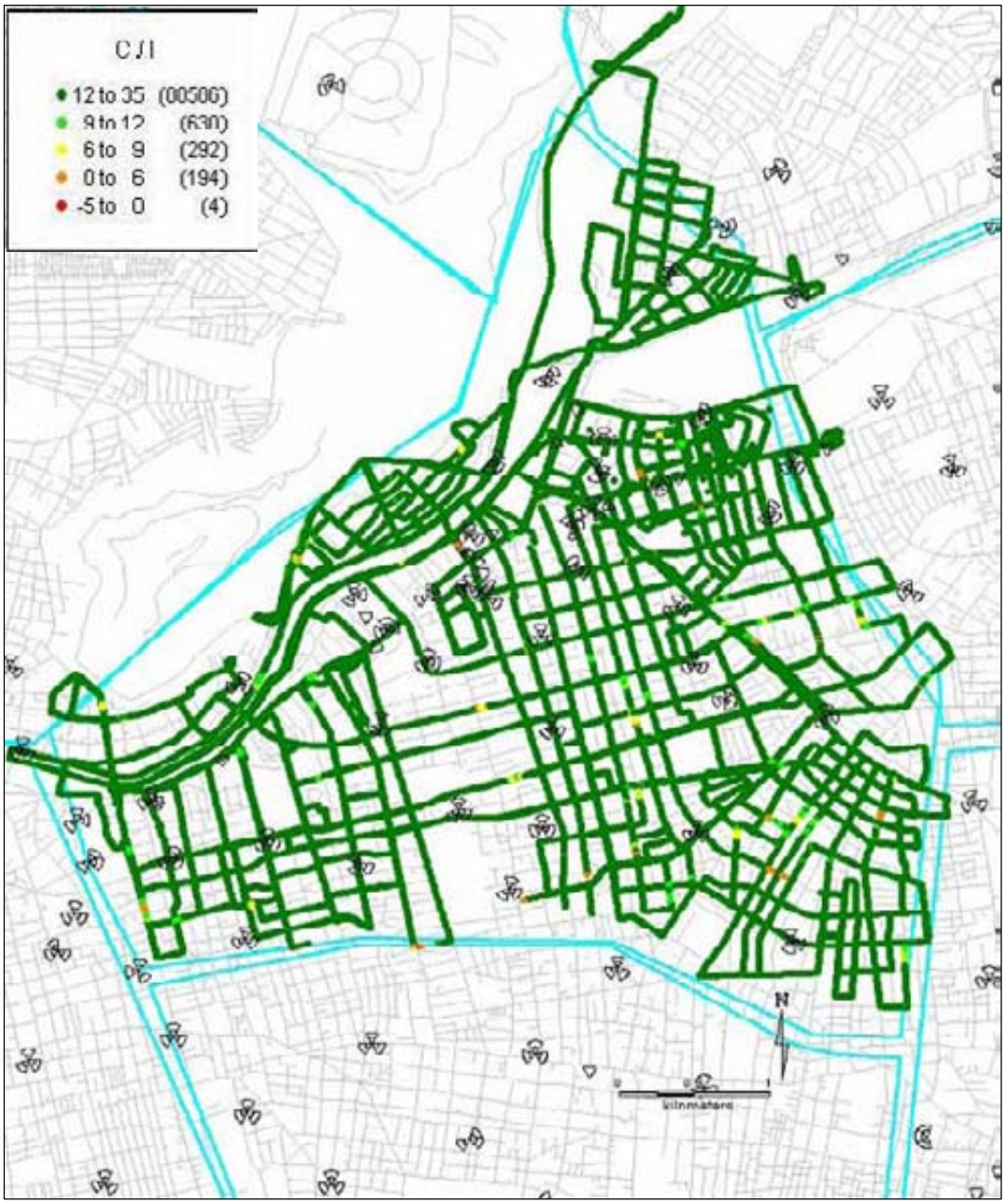

Fig.4.16. Diagrama geográfico de relación C/I.

4.5.4 Diagrama Muestreo de Canales y Acontecimientos en Banda de 1900 MHz.

En este punto se pueden apreciar los eventos de llamada captados por el teléfono test. Se entiende por Dropped Call en circunstancias donde existe un buen nivel de señal proveniente de la estación base pero por algún motivo la llamada finaliza. Por Call Attempt Failure entenderemos a los intentos de llamada desde el teléfono test, hacia un destino cualquiera, sin lograr establecer la comunicación. Para el caso del Handover Failure, sucede cuando al encontrarnos viajando en un móvil con una conexión establecida, el sistema no es capaz de detectar que otra estación base (antena) provee una mejor calidad de señal hacia el equipo terminal móvil, es decir, no se reconoce a una antena vecina para el traspaso del enlace, no efectuándose dicho traspaso.
En el cuadro mostrado en la esquina superior izquierda se muestran los BCCH (Broast Control CHannel), los que representan los canales en esta banda coloreados de distinta manera para su mejor representación gráfica.

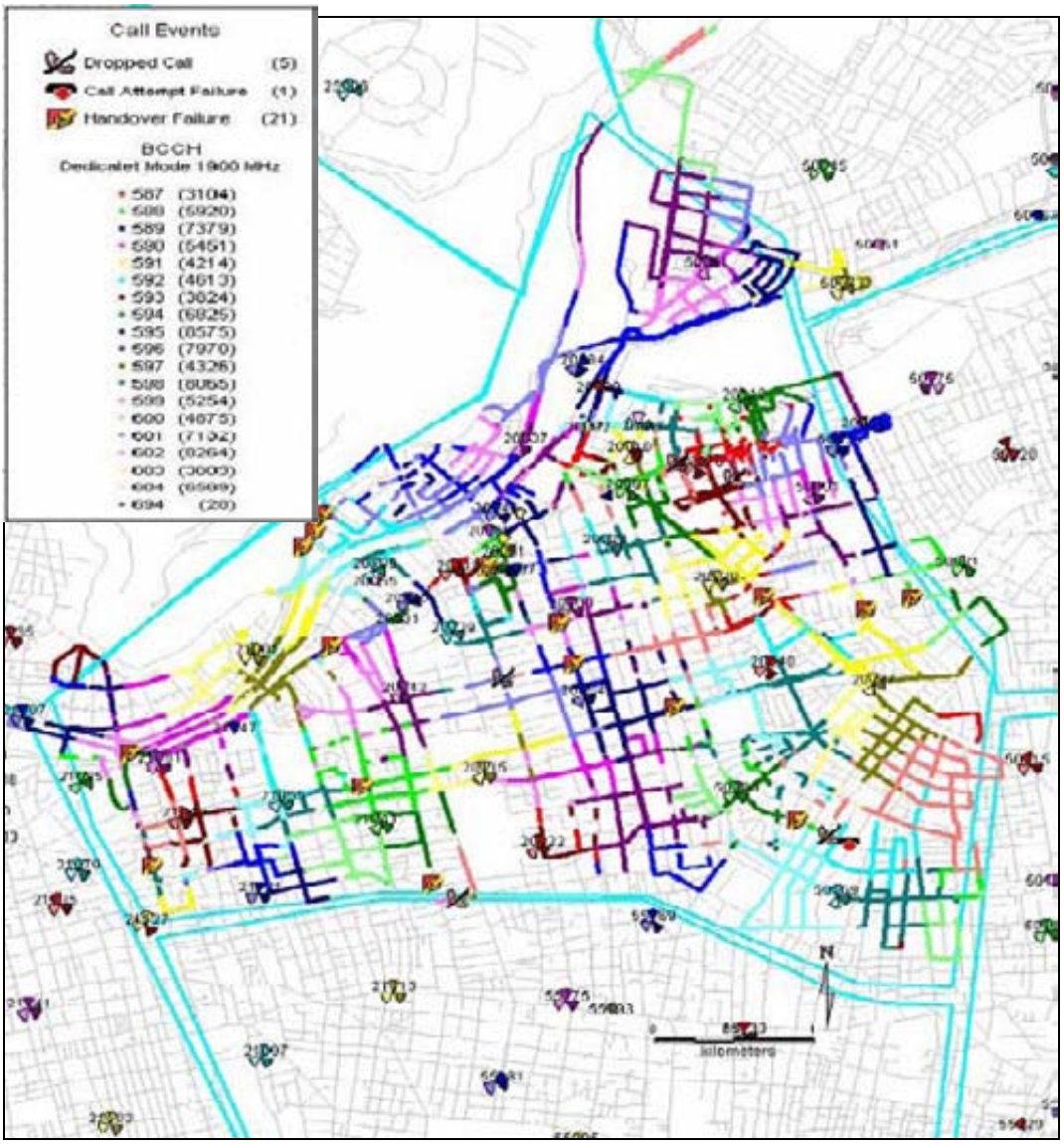

Fig.4.17. Diagrama de acontecimientos en 1900 MHz.

4.5.5 Diagrama Muestreo de Canales y Acontecimientos en Banda de 850 MHz.

La gráfica mostrada representa los mismos parámetros descritos anteriormente con la diferencia que los acontecimientos se encuentran en la banda de 850 MHz, por este motivo los canales difieren, como se menciono anteriormente en el apartado 4.3.1.

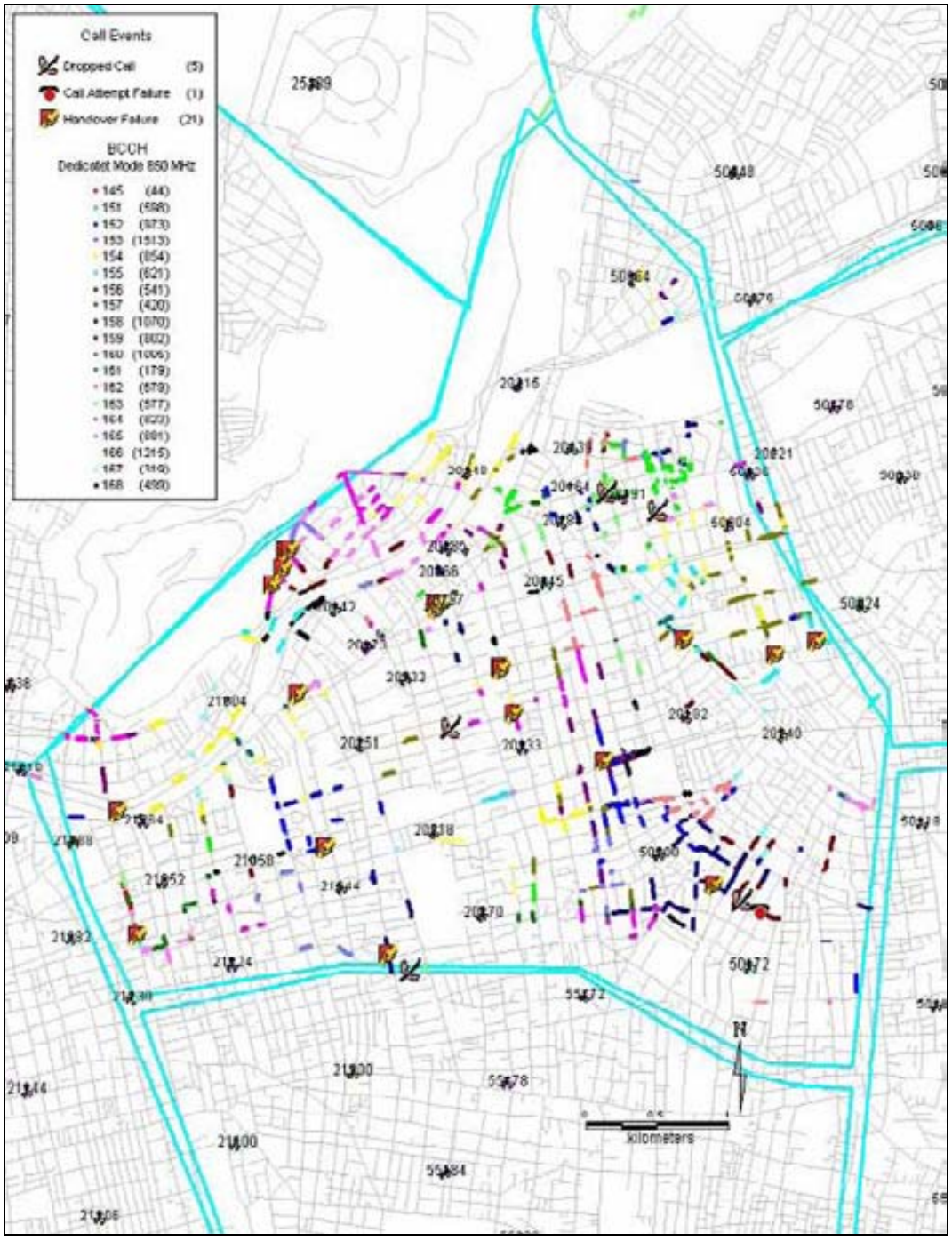

Fig.4.18. Diagrama de acontecimientos en 850 MHz.

4.5.6 Diagrama del Nivel de Rx y Acontecimientos.

De igual forma que en el apartado 4.5.1 en la siguiente gráfica se muestran el nivel de señal recibida por el Teléfono Test las que se representan en dBm. Se debe diferenciar la calidad y el nivel de recepción, ya que este último, indicará únicamente la cantidad de señal, independiente de su calidad.

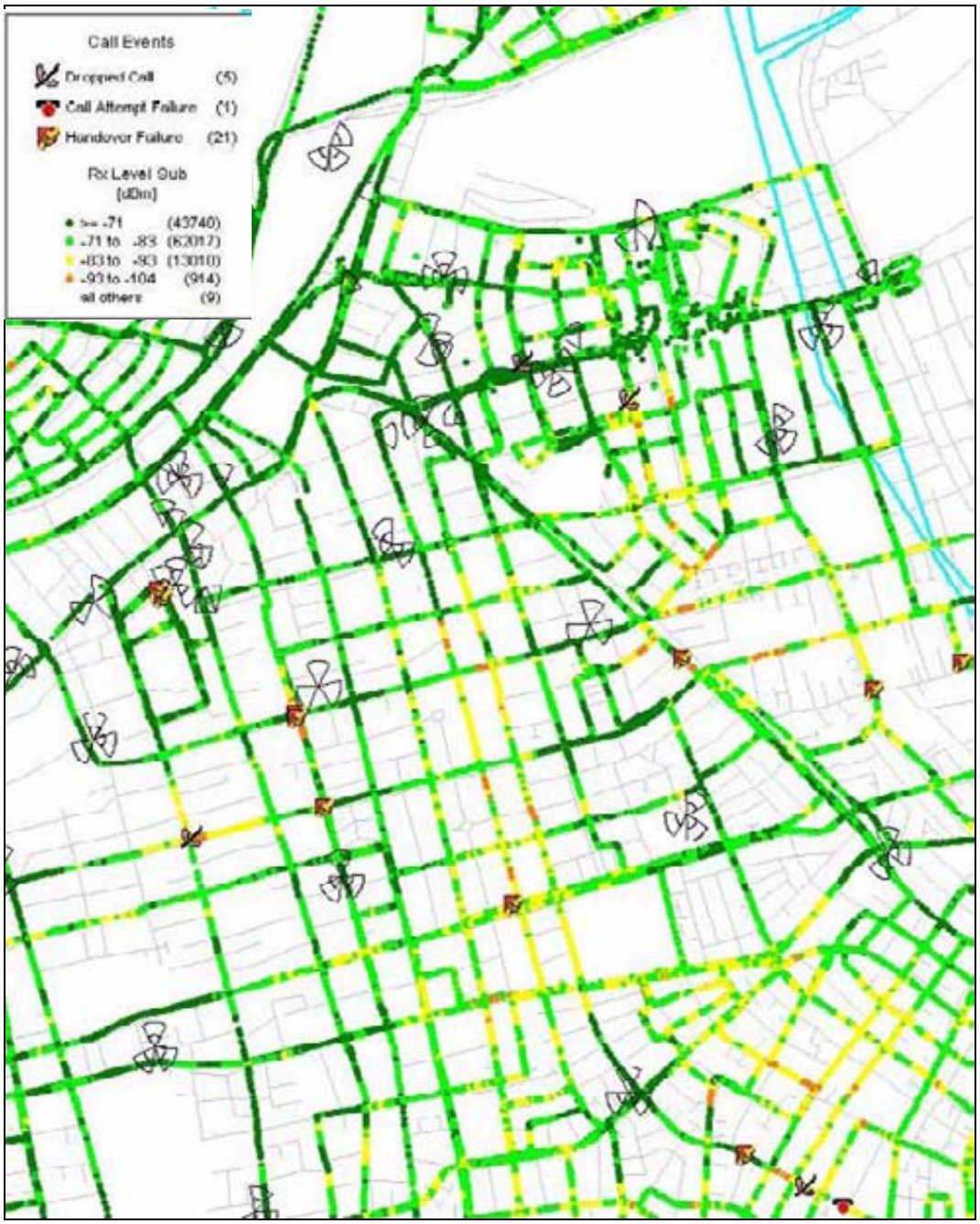

Fig.4.19. Diagrama de acontecimientos y nivel de Rx.

4.5.7 Diagrama de Rx Qual en Escala y de Acontecimientos.

En el punto 4.5.2 se visualizó la calidad de recepción sin considerar la cantidad de llamadas fallidas por una razón u otra. En la siguiente gráfica, se muestran en forma detallada la posición geográfica de las antenas, además, de la cantidad de llamadas no concretadas.

Fig.4.20. Diagrama de acontecimientos y nivel de Rx en escala.

4.5.8 Diagrama del Nivel de Rx de Canales por Scanner.

Como se mencionó anteriormente, la función del Scanner es la de muestrear los canales previamente programados de una cierta banda. En la gráfica siguiente se visualiza el nivel de recepción (medidos en dBm) de todos los canales muestreados y la cantidad de muestras consideradas. Se aprecia, que las zonas demarcadas en color verde oscuro tienen una mejor calidad de señal, mientras que las amarillas, representan las más complicadas.

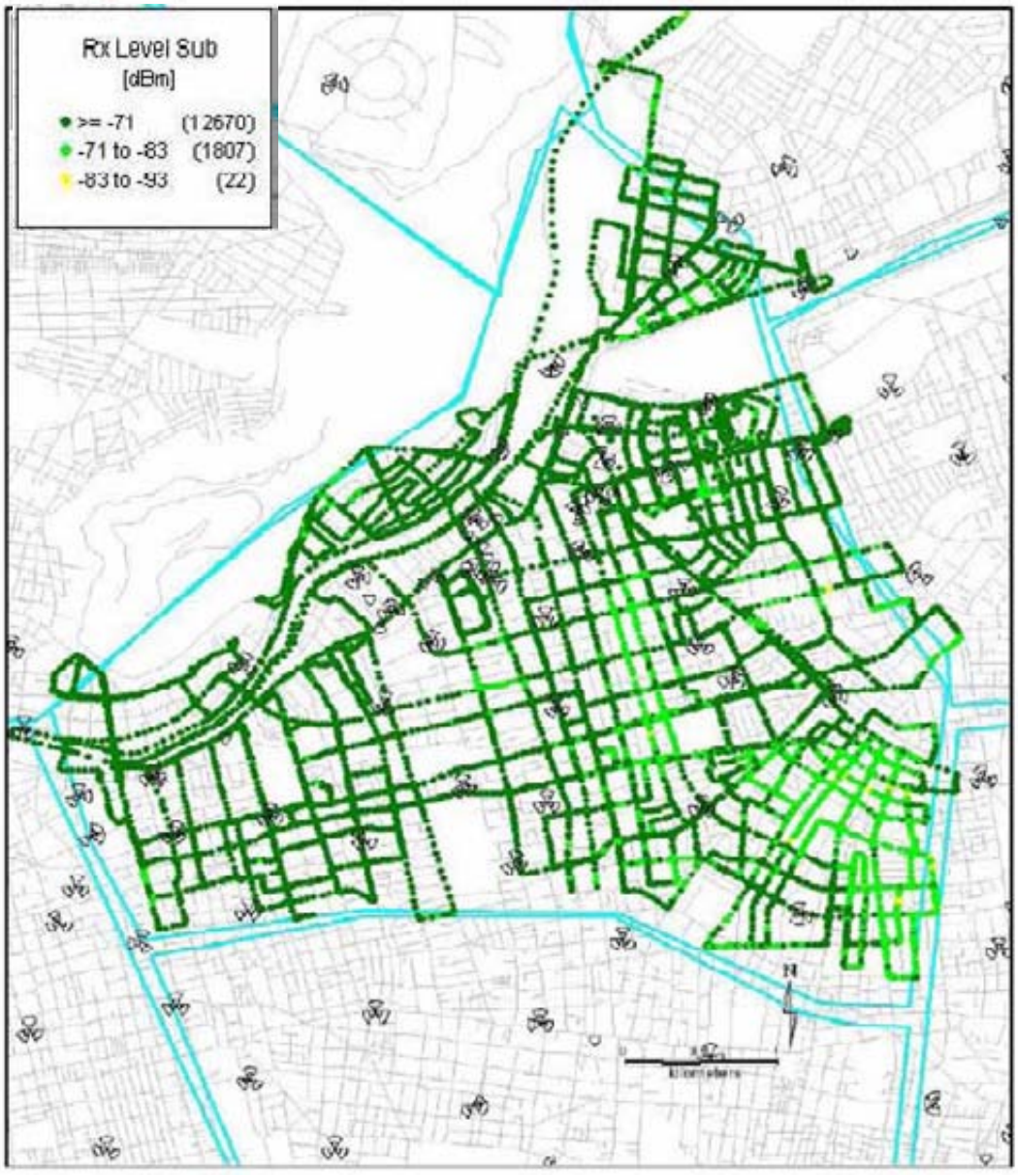

Fig.4.21. Diagrama del nivel de Rx de canales por scanner.

CAPITULO V. PROPUESTA DE UN MODELO USANDO SMART ANTENNAS.

5.1 Introducción.

En base a las mediciones prácticas realizadas y descritas con detalle en el capítulo anterior, se encontraron que actualmente existen ciertas falencias, en cuanto a calidad de servicio se refiere, en lo que es el sistema actual de telefonía móvil GSM. Observando en forma detenida los distintos gráficos, principalmente el que indica el nivel de señal de recepción, es posible darse cuenta que existen zonas geográficas del cluster Providencia en donde no se tiene una señal óptima para la realización de una llamada, o bien, para perder la comunicación al situarse temporalmente dentro de éstas zonas. Por consiguiente, la calidad de recepción es muy deficiente.

Es por ello que en este capítulo se analizará algunas de las principales razones por las cuales suceden los fenómenos descritos anteriormente, que pueden ser a primera impresión, una distribución errónea de las antenas, o bien, la presencia de grandes edificaciones que imposibiliten cubrir la zona con una señal adecuada.

5.2 Planteamiento del Problema.

Como se mencionó, el problema a solucionar es, en primera instancia, descubrir las razones por las cuales la señal decae por debajo de un cierto nivel que permita establecer una comunicación en condiciones normales, en segundo lugar, proponer una solución a este inconveniente utilizando alguna configuración adecuada de antenas inteligentes, como por ejemplo, de haz conmutado, haz de seguimiento o haz adaptativo, que permita aumentar el nivel de señal satisfactoriamente para lograr, de esta manera, no perder una comunicación establecida o disminuir la cantidad de ruido presente.

5.3 Objetivos.

A continuación se nombran los principales objetivos perseguidos en este capítulo.

- Reconocer geográficamente, en base a los gráficos analizados, las zonas del cluster Providencia en donde existen niveles de señal bajos con riesgo de perder una comunicación establecida.

- Establecer una solución teórica, usando antenas inteligentes, que permitan aumentar la calidad de servicio entregado por las empresas de telefonía móvil en Chile.

- Identificar la mejor configuración de antenas inteligentes dependiendo de las condiciones geográficas presentes en los lugares en conflicto.

- Utilizar los conocimientos adquiridos, tanto durante el desarrollo de la carrera como de la tesis, para la solución del problema planteado.

5.4 Solución al Problema Planteado.

En esta sección se mencionará y describirá en forma detallada dos zonas en conflicto, las que son claramente identificables al observar la figura que representa el nivel de recepción de señal (Rx Level).
Posteriormente, utilizando un mapa detallado, incluyendo los nombres de calles importantes, se localizarán las zonas en cuestión. Luego, con la ayuda del Software Google Hearth se podrá visualizar en 3D, inclusive se podrá determinar las razones por las cuales la señal decae por debajo de los -83dBm.

5.4.1 Ubicación Zonas de Conflicto.

A continuación se describen en forma detallada las ubicaciones geográficas de los puntos a analizar.

5.4.1.1 Ubicación Según Gráfica Rx Level.

En la siguiente gráfica se muestra el nivel de recepción de señal en zonas donde decae considerablemente. Se encuentran demarcados los puntos escogidos como lugares de conflicto de señal, los que posteriormente se podrán visualizar en forma detallada. Además, se aprecian en círculo rojo, la posición geográfica de las antenas actualmente instaladas, las que posteriormente podrán ser reemplazadas por antenas inteligentes.

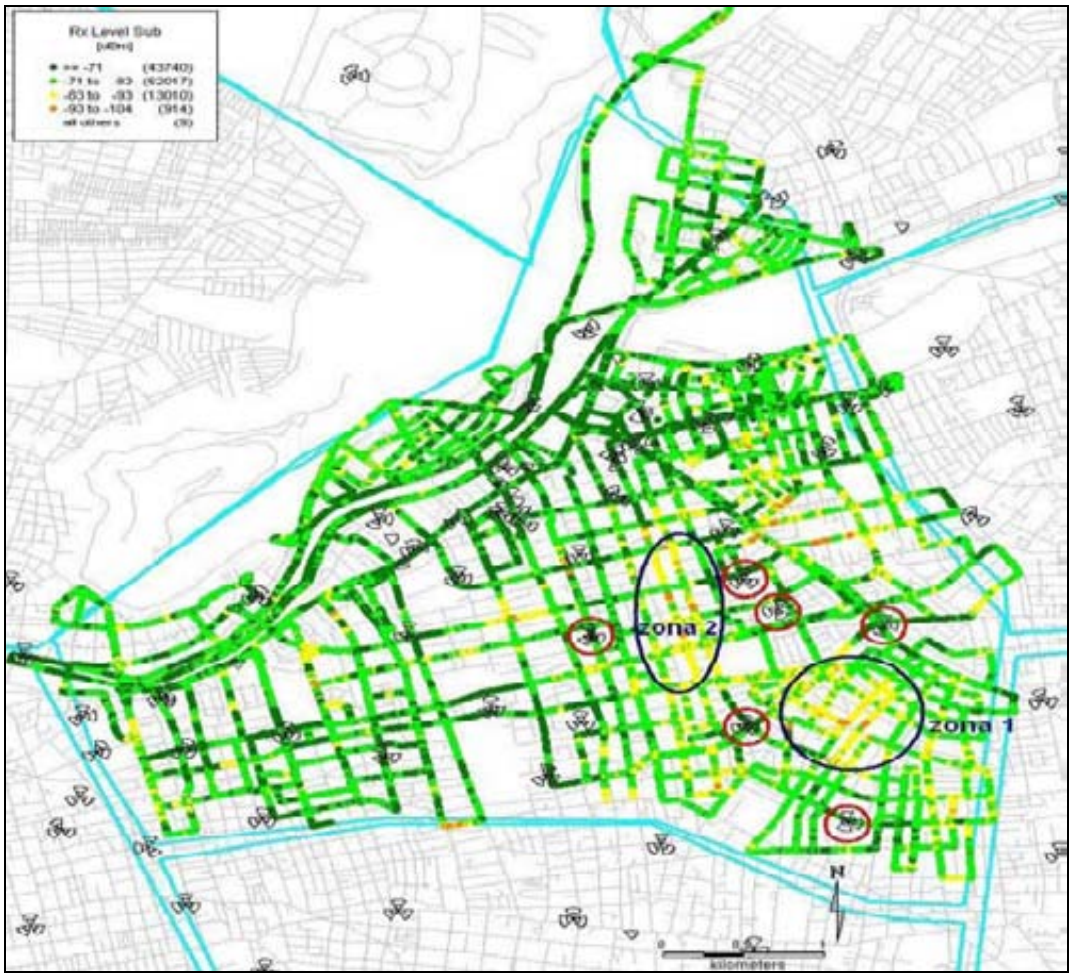

Fig.5.1. Ubicación zonas de conflicto.

Como se mencionó anteriormente, las zonas consideradas para analizar presentan una cantidad de señal que se encuentran por debajo de los -83dBm. Con esta cantidad de potencia, es difícil mantener establecida una comunicación en condiciones normales.

5.4.1.2 Ubicación específica.

A partir de la gráfica anterior, se confeccionó un mapa que incluye únicamente los nombres de las principales calles y la posición exacta de las antenas instaladas. De esta manera, es posible ubicarlas claramente para, posteriormente, identificar la zona en tres dimensiones utilizando el software Google Hearth.

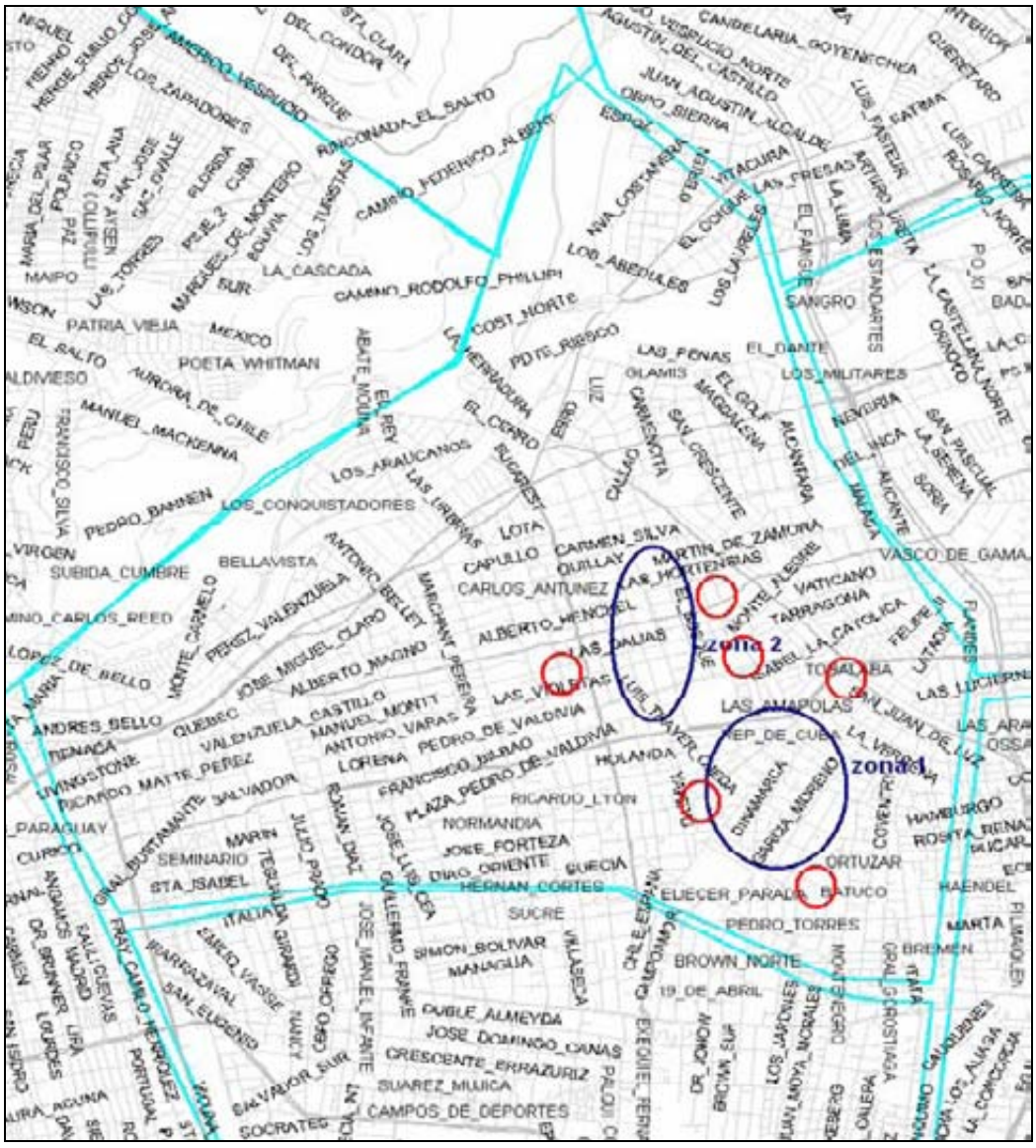

Fig.5.2. Ubicación específica zonas de conflicto.

5.4.1.3 Ubicación aproximada en 3D

Utilizando la información proporcionada en los puntos anteriores, es posible situarse en el lugar aproximado en donde ocurren las deficiencias de señal de recepción. La gráfica siguiente fue elaborada son el software Google Hearth y permitirá, posteriormente, determinar las razones geográficas por las cuales la señal decae hasta un valor inaceptable.

Panorámica Zona 1:

Fig.5.3 Vista panorámica zona 1.

Panorámica Zona 2:

Fig.5.4 Vista panorámica zona 2.

Zoom Zona 1:

Fig.5.5. Zoom zona 1.

Zoom Zona 2:

Fig.5.6. Zoom zona 2.

5.4.2 Consideraciones Generales para la Solución del Problema.

Como consideraciones generales para la propuesta del modelo es clave mencionar ciertos puntos que ayudarán a cumplir el propósito principal.

Para la solución del problema se utilizarán Smart Antennas, ya que con estas se aumentará la capacidad del canal, se reducirá el ruido y las interferencias, además de proporcionar una mayor confiabilidad al sistema en general.

Dependiendo de la zona geográfica, se definirá el tipo de configuración a utilizar, las que pueden ser de haz conmutado, de seguimiento o adaptativo. Este punto es de importancia ya que, ante la presencia de grandes edificaciones, la opción más conveniente serán los sistemas adaptativos puesto que tienen la capacidad de aprovechar las señales multitrayecto para reforzar la señal principal.

Otro punto a considerar será la densidad de población en las zonas específicas, ya que al haber un número muy elevado de usuarios, se verá reflejado en un aumento del tiempo

de conexión, desde el momento de efectuar una llamada hasta escuchar el tono de marcado, así como también, un posible colapso de la red de telefonía móvil.

5.4.3 Consideraciones Zona 1.

En cuanto a la zona 1 se pueden mencionar varios aspectos relevantes de considerar para el diseño del modelo. Por ejemplo, existen una gran cantidad de edificaciones, la mayoría de ellos de empresas y oficinas, además de residencias. Por este motivo, hay una densidad elevada de usuarios de telefonía móvil a los que se les debe proveer de cobertura.

Se encuentra ubicada entre las vías El Bosque y Carlos Antunez. Esta última, es de alto tráfico por automovilistas y transeúntes, además de colindar con la calle Pedro de Valdivia que también es altamente concurrida.
Por último, en cuanto a su geografía se refiere, presenta irregularidades, es decir, zonas altas y bajas producto de la presencia de grandes construcciones.

5.4.4 Consideraciones Zona 2.

A diferencia de la zona anterior, se encuentra poblada principalmente por un sector altamente residencial. Colinda con la vía Tobalaba, la que es considerada de alto tráfico de usuarios de telefonía móvil. En cuanto a su situación geográfica, no presenta grandes edificaciones, por lo que se podría decir que la zona es relativamente plana.

5.4.5 Solución del Problema.

En este apartado se presentan dos soluciones que se consideraron las mas adecuadas para cada zona, considerando los principales aspectos descritos anteriormente.

5.4.5.1 Solución Zona 1.

La solución propuesta para solventar los problemas de cobertura (aumento del nivel de señal) en esta zona, es la utilización de ***Antenas Inteligentes de Haz Adaptativo***. Las principales razones por la que se optó por esta configuración es que debido a la situación geográfica, con edificaciones altas y con un tráfico considerablemente alto en ciertas horas del día, el sistema es capaz de aprovechar las ondas multitrayecto (que rebotan en edificios) emitidas por el equipo terminal móvil, para el reforzamiento de la señal principal proveniente de este mismo. Por otro lado, este sistema representa el máximo nivel de inteligencia, por lo que se adaptará de una forma satisfactoria a las necesidades presentes en el ambiente de esta zona.

Utilizando este sistema adaptante, se conseguirán beneficios tales como la incrementación de la capacidad del canal; por lo que el riesgo de que la red colapse es mínimo, reducción del nivel de interferencia; aumentando la relación portadora-interferencia a un nivel óptimo, aumento de la calidad de recepción, disminución de la potencia de transmisión por parte de la estación base y del equipo móvil, y en general, un aumento considerable en la seguridad y confiabilidad de la red GSM.

Un punto importante de considerar es que al momento de implementar este sistema, se debe tener en cuenta la cantidad de potencia emitida por el sistema de antenas, ya que los haces conformados no deben interferir con los haces emitidos por las demás estaciones bases, esto para no inducir errores en una comunicación establecida y realizar un correcto traspaso de celdas.

En la siguiente figura se representa la ubicación de las antenas instaladas aprovechando las mismas instalaciones actuales.

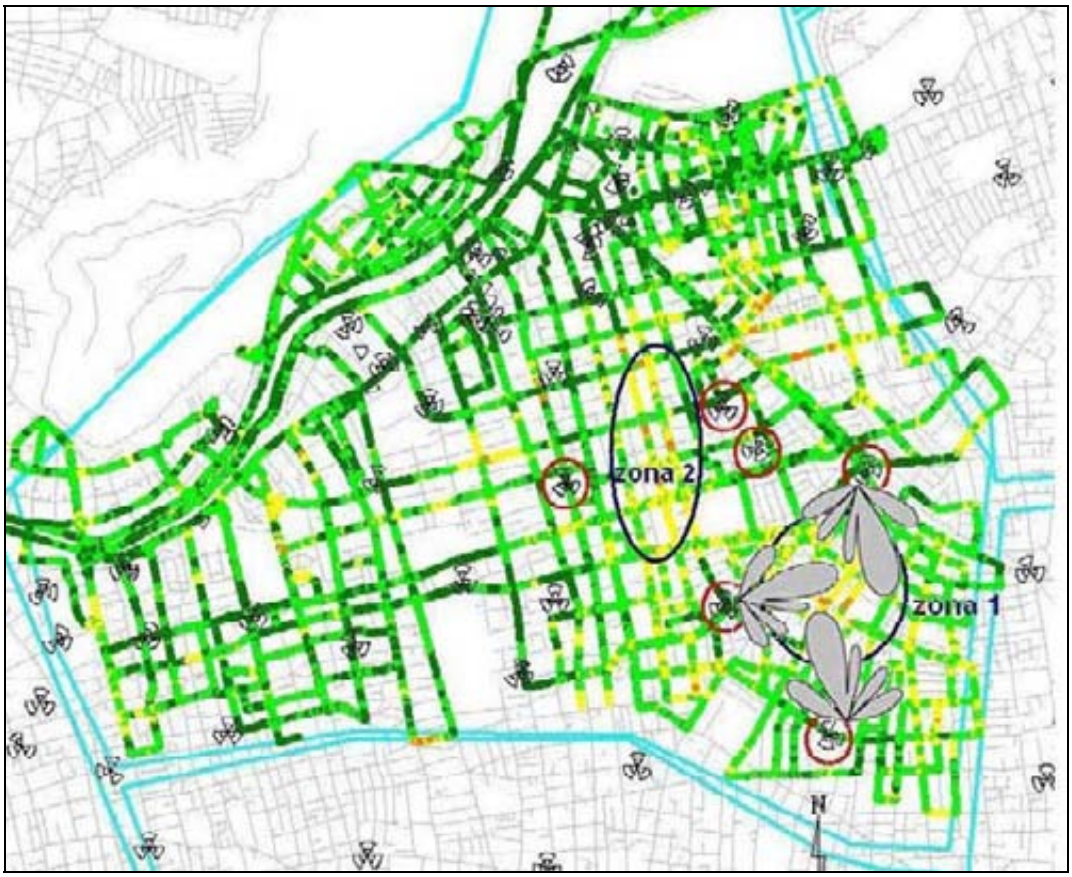

Fig.5.7. Representación de antenas de haz adaptativos instalados.

5.4.5.2 Solución Zona 2.

La solución que se optó para la zona 2 en la cual el problema es la densidad de población y el alto tráfico, es el sistema de ***Antenas Inteligentes de Haz Conmutado.***
Se eligió esta opción ya que, a diferencia del caso anterior, no existen grandes edificaciones y la zona es más bien plana. Aprovechando esta última característica, el sistema será capaz de conformar haces fijos, los cuales conmutará en forma cíclica para cubrir la zona completa. El hecho de que no existan grandes edificaciones implicará que la cantidad de señales multitrayecto se verán reducidas en cuanto a cantidad.

Este sistema, a diferencia del Haz Adaptativo, es mucho más fácil de implementar e instalar, por lo que los costos asociados se verán reducidos considerablemente.
En cuanto a las ventajas ofrecidas se tienen las mismas que en el caso anterior, pero cabe destacar que debido a su menor costo es mucho más accesible para las empresas de telefonía móvil. La desventaja se presenta en la resolución del haz, ya que es menor que en el caso anterior. (Ver figura 2.5)
También se debe considerar, como ya se a mencionado anteriormente, la potencia de transmisión de las estaciones bases para la no interferencia entre ellas.

En la siguiente figura se aprecia claramente la instalación de las antenas escogidas, aprovechando de igual forma, las instalaciones actuales.

Fig.5.9. Representación de antenas de haz conmutado instalados.

CONCLUSIONES.

Al finalizar el trabajo de tesis se pueden concluir los siguientes puntos.

Los sistemas inalámbricos presentes en la actualidad están dando una revolución en el mundo de las telecomunicaciones, la creciente demanda ha hecho crear una serie de tecnologías que sostengan la demanda exponencial de estos, es por eso que el uso de antenas inteligentes puede ser un factor de gran importancia en este desarrollo. Otro punto a considerar es que, como esta es una tecnología nueva, su desarrollo en Chile no ha sido el esperado, por lo cual se pretende realizar un aporte en el presente trabajo dando una solución a un problema de nivel de recepción de señal, en la actual red GSM presente en nuestro país. Al utilizar este tipo de antenas se obtienen considerables ventajas sobre lo que actualmente se encuentra instalado y funcionando.

Se puede esperar que en Chile la implementación de esta tecnología debería abarcar el segmento de todo lo relacionado con redes inalámbricas, para lo cual las empresas deben tener presente que este sería un cambio radical en el uso de antenas conocidas hasta ahora, ya que con ello, se reducirán considerablemente el número de antenas presentes, produciendo un gran impacto en las redes actúales. En cuanto a los costos relacionados, éstos serian altos en una etapa inicial, pero al considerar el actual crecimiento de la telefonía móvil en nuestro país, sería totalmente factible invertir en la implementación de este sistema, aumentando notablemente la confiabilidad de la red.
En base a lo mencionado anteriormente, los beneficios de esta tecnología no han cautivado a las empresas Chilenas, a diferencia de Europa, Asia y Estados Unidos, en donde se han estado trabajando y realizando, desde hace un tiempo, distintas investigaciones y pruebas en este ámbito. Hasta ahora el uso concreto de antenas inteligentes no ha sido una realidad, su uso es más bien reducido, pero cabe destacar que las investigaciones realizadas comprueban eficientemente su uso y mejora de una red de telefonía.

En lo referente a las mediciones prácticas, se puede concluir que, en general, el estado actual de la red GSM presente en Chile es relativamente bueno, ya que existe un nivel de cobertura apropiado en la mayoría de las localidades. Si bien es cierto, existen zonas en donde la señal decae bastante provocando pérdida de información y riesgo de establecer comunicaciones fallidas. En base a este punto fue que se realizó la propuesta del modelo.

Como grupo de trabajo podemos concluir que la realización de esta tesis nos ha servido enormemente para el conocimiento de una tecnología emergente que aún no esta presente en nuestro país, lo cual es de suma importancia para estar a la vanguardia de lo que son las telecomunicaciones. Se considera de importancia un conocimiento general acerca del tema.

Finalmente, los beneficios que trae consigo el uso de antenas inteligentes son de variada índole, destacándose por ejemplo, la reducción de la potencia de transmisión por parte de la estación base y del equipo terminal móvil; lo que conlleva un beneficio a los usuarios de la red prolongando la vida útil de sus baterías y equipos, reduce también la propagación multitrayecto; ya que enfoca directamente su haz hacia el punto de interés, reduce los niveles de interferencia y aumenta considerablemente el nivel de seguridad en la red.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Ancho de Banda.

La capacidad de información de un recurso de comunicaciones, que suele medirse en bits por segundo. Véase también banda estrecha, Banda Ancha (wideband) y Banda Ancha (broadband).

Bps (bits per Second).

Bit por Segundo.
Unidad básica de medida para transmisiones de datos. Significa el número de piezas de información transmitidas por segundo.

LAN (Local Area Network).

Red de Área Local
Una LAN es un modo de interconectar computadores a velocidades relativamente altas en una zona geográfica relativamente pequeña. Las LAN interpares asignan la misma categoría a todos los computadores a ellas conectados. Una LAN dotada de un servidor dirige aplicaciones y almacena datos en un computador designado como el servidor con otros computadores que actúan como estaciones de trabajo. Una LAN puede servir a unos cuantos usuarios o a varios miles de ellos.

MAN (Metropolitan Area Network).

Red de Área Metropolitana.

DSP.

Unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que al ser usado en sistemas de antenas inteligentes, optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.

UMTS.

Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación basados en CDMA.

WPANs.

Redes de Área Personal Inalámbricas.
Son enlaces de redes típicamente más cortos que 10 metros. Estas redes atraviesan a menudo solamente algunos metros, y usualmente no se extienden más allá de 10 metros, estas han sido caracterizadas como redes que "crean una burbuja virtual alrededor del usuario.

WLANS.

Redes de Área Local Inalámbricas.
Son enlaces individuales de red que pueden atravesar hasta 4.5 kilómetros. Las redes de área local inalámbricas son utilizadas a menudo para transmisiones punto a múltiples puntos para distancias de menos de 300 pies o su equivalente a metros; 90 mts. Las tecnologías WLAN, sin embargo, también pueden ser usadas para la conectividad de Internet para largas distancias, usando una red de configuración punto a punto.

WMANS.

Redes de Área Metropolitana Inalámbrica.
Son enlaces individuales de red que pueden atravesar distancias de hasta 50 kilómetros. Las redes inalámbricas de Área Metropolitana (WMANs) son redes punto a punto o punto a múltiples puntos con enlaces individuales que pueden atravesar no solamente distancias de hasta 50 Km., que es importante para aplicaciones de backhaul, pero también pueden proporcionar conectividad de última milla en ambientes metropolitanos.

WIMAX.

Worldwide Interoperability for Microwave Access.
Es el nombre comercial de un grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares WirelessMAN (Gíreles Metropolitan Area Network – Red de Área Metropolitana Inalámbrica) IEEE 802.16. Si bien el término WiMAX sólo tiene algunos años, el estándar 802.16 ha existido desde fines de la década de 1990, primero con la adopción del estándar 802.16 (10-66GHz) y luego con el 802.16a (2-11GHz) en enero de 2003. A pesar del establecimiento del estándar 802.16a, el mercado del FWA (fixed wireless access – acceso fijo inalámbrico) nunca terminó de despegar, aunque vale la pena mencionar que durante ese período toda la industria de telecomunicaciones estuvo luchando.

SDMA.

Acceso Múltiple por División Espacial.
Esta sería la configuración más compleja, pues consiste en aprovechar al máximo las propiedades de selectividad espacial de las antenas de ambos enlaces para ubicar simultáneamente a varios usuarios en el mismo canal. Es decir, que podría haber varios usuarios utilizando al mismo tiempo la misma frecuencia y el mismo código de *scrambling* (o el mismo *timeslot* en GSM), estando discriminados únicamente por su posición angular respecto de la estación base.

CDMA.

Code Division Multiple Access.
Estándar de telefonía móvil estadounidense. Es la tecnología digital inalámbrica más moderna que ha abierto la puerta a una nueva generación de productos y servicios de comunicación inalámbrica. Utilizando codificación digital y técnicas de frecuencias de radio de espectro amplio (RF), CDMA provee una mejor calidad de voz y más privacidad, capacidad y flexibilidad que otras tecnologías inalámbricas.

Estación Base.

La central radio transmisora / receptora que se comunica con los teléfonos móvil dentro de un rango dado (típicamente, un sitio célula).

Bluetooth.

El nombre código para una tecnología que permite a los dispositivos móviles equipados con un chip especial enviar y recibir información de forma inalámbrica. Usando Bluetooth, dispositivos electrónicos tales como computadoras de escritorio, teléfonos inalámbricos, organizadores electrónicos e impresoras en el rango de 2.4 GHz pueden "hablar" unos con otros. Ericsson, Intel, Nokia, IBM y Toshiba han sido líderes en el esfuerzo de desarrollo, y ahora se les han unido más de 700 socios, incluyendo Compaq, Dell, Motorola, Qualcomm, BMW y Casio.

CDMA.
Acceso Múltiple por División de Códigos.

Una tecnología utilizada para transmitir llamadas inalámbricas asignándoles códigos. Las llamadas son esparcidas en el más amplio rango de canales disponibles. Entonces, los códigos permiten que muchas llamadas viajen en la misma frecuencia y también guían a esas llamadas al teléfono receptor correcto.

Célula.

La unidad geográfica básica de cobertura inalámbrica. También es la abreviación (cell en ingles) del término genérico de la industria "celular". Una región está dividida en células más pequeñas, cada una equipada con un radio transmisor / receptor de baja potencia. Las frecuencias de radio asignadas a una célula pueden ser limitadas a las fronteras de esa célula. Cuando la llamada inalámbrica se mueve de una célula a otra, una computadora en la Oficina de Conmutador de Teléfono Móvil (MTSO) monitorea la llamada y, en el momento apropiado, transfiere la llamada telefónica a una nueva célula y una nueva radio frecuencia. La entrega es realizada tan rápidamente que no es notada por los usuarios.

Sitio Célula.

La localidad donde una antena inalámbrica y el equipo de red de comunicaciones es colocado.

División de Célula.

Una forma de incrementar la capacidad de un sistema inalámbrico al subdividir una célula en dos o más células más pequeñas.

Canal.

Una ruta por la cuál se transmite una señal de comunicación.

GPS.

Sistema de Posicionamiento Global.
Un sistema mundial de navegación por satélite, conformado por 24 satélites orbitando la tierra y sus receptores en la superficie de la tierra. Los satélites GPS constantemente transmiten señales digitales de radio, con información utilizada para rastrear ubicaciones, navegación y otras tecnologías de ubicación o mapeo.

GSM.

Sistema Global de Comunicaciones Móviles.
Una tecnología que trabaja de manera similar a TDMA dividiendo las llamadas inalámbricas en secciones de tiempo. GSM es más común en Europa, Australia y gran parte de Asia y África. Pero los teléfonos GSM de los Estados Unidos no son compatibles con los teléfonos GSM internacionales porque operan en diferentes frecuencias.

Antena Inteligente.

Una antena inalámbrica con tecnología que enfoca su señal en una dirección específica. Las redes inalámbricas utilizan antenas inteligentes para reducir el número de llamadas caídas, y para mejorar la calidad de las llamadas y la capacidad de canal.

Tecnología Inalámbrica.

Término general para el uso del espectro de radio frecuencia para transmitir y recibir comunicación de voz, de datos y video.

SFIR.

Rechazo de Interferencias por Filtrado Espacial.

HSR.

Receptor de Alta Sensibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

[1] C. Bertin; Análisis de tecnologías emergentes para comunicaciones inalámbricas, wireless local loop, 2002. (BMFCI B544a 2002)

[2] H. Contreras; CDMA, base y evolución, 2000.(BMFCI C764c 2000)

[3] D. Vásquez; Análisis teórico-práctico de redes inalámbricas 802.11x y su implementación en base a WI-FI, 2003. (BMFCI V335a 2003).

[4] Manuel Belmar, Filtrado Espacial. (Tesis UACH)

[5] H. Campanella, A. Comas, Y. Alba; Antenas inteligentes con aplicación en SDMA.

[6] R. Albornoz; Antenas Inteligentes; Escuela de Ingeniería Electrica; Universidad de Carabobo.

[7] R. Martínez, R. Osorio; Estudio sobre las Prestaciones de Antenas Inteligentes en Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación (UMTS); Universidad Politécnica de Madrid.

[8] "Antenas Inteligentes" , http://lant.ing.uc.edu.ve, Año 2004

[9] Ermanno Pietrosemoli, "Redes Inalambricas de area Local".

[10] Talesa Sesé Paules, César Caballero Gaudes, Enrique Masgrau Gómez, " Conformación Robusta de Haz en Arrays de Antenas", Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones, Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón, I3A Universidad de Zaragoza.

[11] Per H. Lehne and Magne Pettersen, "An Overview of Smart Antenna Technology for Mobile Communications Systems"

[12] Aleksandar Nesic, Dusan Nesic, " A New Class of Electromagnetically Coupled Printed Antenna Arrays "

[13] Yikun Huang, Ph.D **"**Beamforming Antennas for Wireless Communications", November 2003.

[14] Oscar Moreno Jimenez, Ignacion Javier Franco Martin, " Introducción a la Tecnología de Antenas Inteligentes. Aplicación a UMTS ".

[15] Michael W. Thelander, Signals Research Group, "**WiMAX** Oportunidades y desafíos en un mundo Inalámbrico", Julio 2005.

[16] Martin Cooper, Chairman and Chief Executive Officer ArrayComm, Inc. Marc Goldburg, Ph.D, Research Team Leader ArrayComm, Inc. "Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple Access"

[17] G.J.K. Moernaut and D. Orban, "The Basics of Antenna Arrays", www.orbanmicrowave.com

[18] John Edwin Rico Fernando Gonzáles Sarmiento "Antenas Inteligentes", Estudiantes Ing. Electrónica Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

[19] Óscar Alarcón García, Miguel Angel Tarrason Morón, "Estudio de Técnicas de Resolución de Usuarios para Incluir Antenas Inteligentes en Sistemas WLAN", Universidad Politecnica Catalunya.

[20] Ramón Martínez, Davide Trosa, Leandro de Haro, Miguel Calvo, "Estudio Preliminar de Prestaciones de Antenas Inteligentes para UMTS", Grupo de Radiación. Departamento de Señales Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid.

[21] Guital C., Muñoz E., Fierro M., "Antenas Inteligentes y su desempeño en redes Wireless". XII Congreso Internacional de Telecomunicaciones SENACITEL 2006, Valdivia, Chile.

[21] www.lant.ing.uc.edu.ve/FILES/

[22] www.epsig.uniovi.es/teleco-calidad/curso0506/Intensificacion

[23] www.coit.es/pub/ficheros/t19_resumen_ericsson_94211506.pdf

[24] www.redfue.es/guiabp/images/PDF/CDTI/DYCTEL.PDF

[25] www.datafon.com.ar/notas/smart-antennas.html

[26] www.intel.com/espanol/technology/magazine/archive/2004/sep/wi09041.pdf

[27] www.iec.csic.es/ursi/articulos_villaviciosaodon_2001/articulos/122.pdf

[28] www.interexport.cl/mexico.htm

[29] www.familia.cl/cultura/wimax/wimax2.htm - 9k

[30] www.cinvestav.mx/publicaciones/anuario03/comunicaciones.pdf

[31] www.freewebs.com/jojaqui/antelnte.pdf