

130-19

**CAMPUS CIUDAD DE MÉXICO**



**ESCUELA DE GRADUADOS EN INGENIERIA Y  
ARQUITECTURA**

**TESIS**

**SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS PARA REDES  
INALÁMBRICAS MÓVILES: LEVANTAMIENTO, DISEÑO,  
ACEPTACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y  
OPERACIÓN PARA EDIFICIOS CORPORATIVOS.**

**Para la obtención del grado de  
MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN DE LAS  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR:**

**MARIA DEL PILAR CAUDILLO ARIAS**

**ASESOR:**

**DR. ROGELIO BUSTAMANTE BELLO**



**TECNOLOGICO  
DE MONTERREY**

**Biblioteca**  
Campus Ciudad de México

**OCTUBRE 2013**

TESIS  
TK7871.6  
C38  
2013

CJV

b1228 1656

1234

**SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS PARA REDES  
INALÁMBRICAS MOVILES: LEVANTAMIENTO, DISEÑO,  
ACEPTACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, OPTIMIZACIÓN, Y  
OPERACIÓN PARA EDIFICIOS CORPORATIVOS.**

**POR:**

**MARIA DEL PILAR CAUDILLO ARIAS**

**TESIS**

**Presentada a la Escuela de Graduados en Ingeniería y  
Arquitectura**

Este trabajo es requisito parcial para obtener el grado de Maestro en  
Administración de Telecomunicaciones

**INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**OCTUBRE 2013**



Monterrey, Nuevo León a 15 de Octubre del 2013.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
PRESENTE.-**

Por medio de la presente hago constar que soy autor y titular de la obra denominada "SISTEMA DE ANTENAS DISTRIBUIDAS PARA REDES INALÁMBRICAS MÓVILES: LEVANTAMIENTO, DISEÑO, ACEPTACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y OPERACIÓN PARA EDIFICIOS CORPORATIVOS", en los sucesivo LA OBRA, en virtud de lo cual autorizo a el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (EL INSTITUTO) para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución, distribución pública y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios al objeto de EL INSTITUTO, dentro del círculo de la comunidad del Tecnológico de Monterrey.

El Instituto se compromete a respetar en todo momento mi autoría y a otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de la obra.

De la misma manera, manifiesto que el contenido académico, literario, la edición y en general cualquier parte de LA OBRA son de mi entera responsabilidad, por lo que deslindo a EL INSTITUTO por cualquier violación a los derechos de autor y/o propiedad intelectual y/o cualquier responsabilidad relacionada con la OBRA que cometa el suscrito frente a terceros.

---

Maria del Pilar Caudillo Arias

AUTORA

III

## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es revisar las fases que se deben llevar a cabo para implementar un sistema de antenas distribuidas DAS, en base a mi experiencia propongo las siguientes: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización y operación.

La necesidad de tener señal en el interior de los edificios tiene como consecuencia que los usuarios de telefonía móvil, quienes requieren de una señal adecuada para que los dispositivos tales como los teléfonos inteligentes (iPhone, BlackBerry, etc.) o tabletas, tengan un desempeño adecuado para la recepción de voz y datos. El tráfico que se genera dentro de los edificios tiene una proporción para voz como del 60% y para datos puede alcanzar hasta un 90%, de aquí surge la necesidad de incrementar la capacidad, la calidad de señal y el tráfico generado por la demanda, está cambiando la ingeniería que los operadores aplican a sus diseños para dar servicio a los usuarios.

El conocimiento en el diseño e implementación de sistemas en interiores debe pasar de ser un conocimiento empírico a una actividad profesional, tomando en cuenta las bases de ingeniería en RF, convirtiendo los diseños de redes macro, a micro, sistemas de antenas distribuidas, *femto* y pico celdas para servir a un gran número de usuarios en interiores.

Este documento podrá ser utilizado como base del conocimiento para entender las opciones de equipos, componentes y procedimientos para implementar sistemas en el interior de edificios corporativos, estos conocimientos nos permitirán analizar cómo han evolucionado los sistemas de antenas distribuidas tomando como caso de estudio el edificio "Torre Mayor" en el cual podremos observar cada etapa de las fases (levantamiento, diseño, aprobación, implementación, optimización y operación), cómo se llevaron a cabo en los 8 años que lleva implementado, qué procedimientos y herramientas han sido utilizadas para hacer pruebas y optimizar el sistema para su buen funcionamiento con todos los operadores celulares y todas las tecnologías celulares en el mercado Mexicano. El sistema instalado en el edificio puede ser considerado una red en interiores tan grande como una ciudad, dando servicio aproximadamente a 10,000 personas diariamente.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	IV
LISTA DE TABLAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del problema.....	3
1.2 Objetivo general.....	4
1.2.1 Objetivo particular .....	4
1.3 Restricciones.....	4
1.4 Metodología y organización del trabajo.....	5
1.5 Métodos .....	5
1.6 Producto final .....	6
1.7 Contribución esperada .....	6
CAPITULO 2. MARCO TEORICO .....	7
2.1 Sistemas de telefonía celular o red macro .....	8
2.1.1 Desarrollo de la red celular .....	8
2.1.2 Microceldas .....	10
2.1.3 Celdas mixtas.....	12
2.2 Funcionamiento de un sistema celular.....	13
2.2.1 Ruido.....	18
2.2.2 Interferencia .....	19
2.3 Reutilización de frecuencia .....	22
2.4 Sectorización.....	23
2.5 Transferencia entre celdas.....	23
2.5.1 Transferencia suave entre celdas .....	23
2.5.2 Reubicación .....	25

2.5.3	Transferencia entre frecuencias .....	25
2.5.4	Transferencia entre sistemas .....	26
2.6.	Historia de la telefonía celular .....	26
2.6.1	La primera generación (analógico) .....	26
2.6.2	Segunda generación (digital) .....	26
2.6.3	Generación 2.5 .....	27
2.6.4	Tercera generación (WCDMA, UMTS) .....	28
2.6.5	Generación 3.5 .....	29
2.6.6	Cuarta generación (4G) .....	31
2.7	Aspecto del sistema radio celular .....	33
2.8	Planeación de red .....	34
2.9	Estrategias del mercado celular en México .....	36
2.9.1	Tendencias del mercado celular .....	36
2.9.2	Estrategias en la industria inalámbrica .....	36
2.9.3	Estrategia de operadores para servicios en interiores (DAS) .....	37
2.9.4	Estrategias de dueños de inmuebles .....	39
2.9.5	Tecnologías 3G en el mercado Mexicano .....	39
CAPITULO 3.	COBERTURA EN INTERIORES. ....	40
3.1.1	Repetidores .....	43
3.1.2	Componentes y elementos de un sistema de extensión de cobertura. .	49
3.2	Femtoceldas o Picoceldas .....	65
3.2.1	Picoceldas .....	65
3.2.2	Femtoceldas .....	66
3.3	Sistema de Antenas distribuidas (DAS) .....	67
3.3.1	Clasificación de los sistemas .....	68
3.3.2	Reglas generales para sistemas en interiores .....	72
3.3.3	Procedimiento para toma de decisión de instalar un DAS .....	73

3.3.4 Fases para implementar un sistema DAS .....	75
3.3.4.1 Levantamiento.....	75
3.3.4.2 Diseño .....	89
3.3.4.3 Aceptación .....	100
3.3.4.4 Implementación.....	102
3.3.4.5 Optimización .....	109
3.3.4.6 Operación.....	117
CAPITULO 4. CASO DE APLICACIÓN: EDIFICIO CORPORATIVO.....	119
4.1 Etapas de implementación en Torre Mayor .....	120
4.1.1 Levantamiento y selección de equipo .....	129
4.1.2 Diseño .....	134
4.1.3 Aprobación .....	136
4.1.4 Implementación.....	136
4.1.5 Optimización .....	137
4.1.6 Operación.....	137
CAPITULO 5. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....	138
5.1 Diseño.....	139
5.2 Análisis de Instalación.....	146
5.2 Análisis de Optimización .....	149
5.2.1 Análisis de ruido por medio de estadísticas: .....	149
5.2.2 Análisis de ruido.....	149
5.2.3 Análisis de Capa 2 y 3.....	154
5.2.4 Caso de contaminación de pilotos.....	162
5.2.5 Problema de accesibilidad debido a ruido en elementos pasivos .....	165
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....	172
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	179
REFERENCIAS.....	187

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Tecnologías inalámbricas y aplicaciones	3
Tabla 2.1 Comparativo de HSPA y CDMA 2000 1xEv	30
Tabla 2.2 Velocidad de datos tomadas con una antena omnidireccional de 10dBm en un área abierta	31
Tabla 2.3 Utilidad por descarga	36
Tabla 3.1 Pérdidas de acuerdo al tipo de cable coaxial de cobre corrugado	52
Tabla 3.2 Pérdidas de acuerdo al medio ambiente.	91
Tabla 3.3 Valores de propagación por frecuencia y medio ambiente	92
Tabla 3.4 Comparativo de herramientas de diseño	99
Tabla 3.5 Consumo eléctrico	101
Tabla 3.6 Ejemplo de lista de materiales	103
Tabla 3.7 Parámetros a revisar en la optimización	110
Tabla 3.8 Tabla de KPI's en una red celular	111
Tabla 4.1 Sectorización propuesta	132
Tabla 4.2 Sector 1 con WRH	133
Tabla 4.3 Cálculo de pérdidas en función del número de potencias (antes del cambio)	134
Tabla 4.4 Cálculo de pérdidas con nuevas tecnologías repetidor compacto	135
Tabla 4.5 Cálculo de pérdidas con nuevas tecnologías equipo alta potencia	135
Tabla 5.1 Datasheet equipo Deltanode	141
Tabla 5.2 Fórmulas para productos IM	146
Tabla 5.3 Parámetros de optimización para HSPA	159
Tabla 5.4 Solución de problemas por piso para Torre Mayor	162

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Concepto de diseño celular de una red macro	8
Figura 2.2 Sistema celular básico	9
Figura 2.3 Propagación de una onda de radio	11
Figura 2.4 Separación de celda con cuatro diferentes frecuencias	13
Figura 2.5 Modelo de reflexión	16
Figura 2.6 Difracción causada por un elemento sólido	17
Figura 2.7 Efecto de dispersión	17
Figura 2.8 Interferencia cocanal	20
Figura 2.9 Reúso de frecuencias	20
Figura 2.10 Interferencia por canal adyacente	21
Figura 2.11 Transferencia entre celdas	24
Figura 2.12 Procedimiento de reubicación de SNRS	25
Figura 2.13 Elementos de red GSM	27
Figura 2.14 Arquitectura GPRS – EDGE	27
Figura 2.15 Interfaz GPRS-EDGE con Internet	28
Figura 2.16 Evolución tecnológica celular	31
Figura 2.17 Ubicaciones del espectro LTE en diferentes partes del mundo	32
Figura 2.18 Sistemas de acceso OF-DMA y SC-FDMA	33
Figura 3.1 Aplicaciones con repetidores	43
Figura 3.2 Coberturas de túneles y edificios en zonas alejadas	46
Figura 3.3 Cobertura rural con repetidores	46
Figura 3.4 Aplicaciones con repetidores: Carreteras, edificios, trenes	47
Figura 3.5 Repetidores de traslación de frecuencia	47
Figura 3.6 Aplicación de repetidores en interiores: Metro	48
Figura 3.7 Elementos de un repetidor, señal tomada del aire <i>off air</i>	49
Figura 3.8 Antena omnidireccionales	50
Figura 3.9 Antenas direccionales	50
Figura 3.10 Comparación de línea coaxial para la prueba de VSWR	53
Figura 3.11 Aplicación de cable radiante en túnel	54
Figura 3.12 Cable de fibra óptica	55
Figura 3.13 Fibra monomodo	56
Figura 3.14 Fibra multimodo	56
Figura 3.15 Representación gráfica de WDM	58
Figura 3.16 Cuarto técnico de unidad maestra 13 sectores y 51 enlaces a unidades remotas.	61
Figura 3.17 Diagrama de Sectorización	62
Figura 3.18 Unidad Maestra: BIU, FOI, POI	63
Figura 3.19 Unidad Remota 20 Watts	64
Figura 3.20 Picocelda instalada en avión	65





Figura 4.7 Diagrama SDU y repetidores	130
Figura 4.8 Diagrama de cabeza de Radio WHR	130
Figura 4.9 Sectorización del edificio	131
Figura 4.10 Equipamiento propuesto con SDU	132
Figura 4.11 Equipamiento propuesto con WHR	133
Figura 5.1 Datasheet equipo PowerWave	140
Figura 5.2 Cobertura edificio en etapa 4 con equipo 2 Watts solo CDMA	142
Figura 5.3 Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para CDMA 850 adicionando GSM y HSPA	143
Figura 5.4 Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para HSPA adicionando GSM y CDMA	143
Figura 5.5 Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para GSM adicionando CDMA y HSPA	144
Figura 5.6 Predicción de cobertura usando equipo WRH 20 Watts con CDMA, HSPA y GSM 850	144
Figura 5.7 Predicción de cobertura usando equipo WRH 20 Watts con HSPA, GSM y CDMA 850	145
Figura 5.8 Predicción de cobertura usando equipo WRH 20 Watts con GSM, HSPA y CDMA 850	145
Figura 5.9 Productos de intermodulación de tercer orden	146
Figura 5.10 Equipo de medición PIM Summitek	148
Figura 5.11 Mala instalación y falso contacto	148
Figura 5.12 Ruido reportado en Radiobase	150
Figura 5.13 Comportamiento de ruido desconectando y conectando sistema DAS	151
Figura 5.14 Niveles de señal RSCP ( <i>Received Signal Code Power</i> ) donde los niveles óptimos son dentro del rango de 0 a -70 dBm en UMTS 850	152
Figura 5.15 Niveles de ruidos son reflejados en el EcNo que es la relación UMTS 850	152
Figura 5.16 Niveles de ruido comprometen la velocidad de datos CQI ligado con la tecnología HSPA en <i>Downlink</i>	153
Figura 5.17 Problemas de accesibilidad en datos	154
Figura 5.18 Solicitudes AS RL en el móvil	154
Figura 5.19 Interfaz RRC	155
Figura 5.20 Resultados de RRC mediante la herramienta de RF tools	156
Figura 5.21 Falla de conexión a la red	157
Figura 5.22 Eventos registrados del móvil	157
Figura 5.23 Quantity CPICH EcNo y Update en el móvil	158
Figura 5.24 Eventos de señalización del móvil	158
Figura 5.25 Códigos de error observados en el análisis	159
Figura 5.26 Niveles de RSCP caso piso 10	163

Figura 5.26 Niveles de EcNo caso piso 10	163
Figura 5.27 Niveles de RSCP caso piso 10	163
Figura 5.28 Niveles de RSCP caso piso 10	164
Figura 5.29 Estadísticas de propagación sitio Toledo DFW4821	164
Figura 5.30 Niveles de RSCP antes del protocolo	165
Figura 5.31 Niveles de EcNo antes del protocolo	166
Figura 5.32 Pilotos (SC) antes del protocolo	166
Figura 5.33 Velocidades de datos antes del protocolo ( <i>throughput</i> )	167
Figura 5.34 Diagrama de parámetros del recorrido antes del protocolo	167
Figura 5.35 Desglose de eventos reportados de capa 2 y capa 3	168
Figura 5.36 Protocolo de pruebas de accesibilidad	169
Figura 5.37 Niveles de RSCP después de la prueba	169
Figura 5.38 Niveles de EcNo después de la prueba	170
Figura 5.39 Pilotos presentes (SC) después de encontrar la falla	170
Figura 5.40 Velocidad de datos ( <i>throughput</i> ) después de encontrar la falla	171

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la rápida evolución de contenidos y oficinas móviles por las tecnologías de tercera y cuarta generación que ofrecen las compañías celulares, los edificios deben estar preparados para incluir tecnologías inalámbricas que requerirán sus clientes.

Las tecnologías celulares han evolucionado en 10 años de analógico al digital, permitiendo así, que se puedan obtener datos y consultar Internet de una manera móvil muy eficiente, utilizando las tecnologías (WCDMA, 1xEV-DO, EDGE, HSPA y LTE). Los edificios necesitan infraestructura para poder tener estos servicios, considerando la posibilidad de integrar más tecnologías y servicios en un futuro.

Por ejemplo, hoy podemos decir que Torre Mayor fue el primer edificio en tener una infraestructura que permite ofrecer señal celular en el 100% del inmueble, mediante un sistema multioperador de antenas distribuidas.

Cuando hablamos de comunicaciones inalámbricas, un edificio puede ser una barrera para que las señales lleguen a ser las adecuadas para el buen funcionamiento de los dispositivos inalámbricos (teléfonos celulares o computadoras). Los materiales de acero y concreto utilizados en las estructuras del edificio absorben la energía de las señales de radio, "la señal de 5 barras" que se observan en la pantalla de los celulares en la mayoría de los casos proviene del exterior, por lo que rápidamente se transforma en una señal débil en los interiores, haciendo que los dispositivos no funcionen correctamente escuchando eco, entrecortado y perdiendo las llamadas. En el caso de datos es imposible conectarse a Internet o recibir correos electrónicos.

Por lo tanto, los usuarios están acostumbrados a tener una mala señal en la mayoría de los edificios, lo que los lleva a buscar el mejor lugar en donde el teléfono tiene una buena recepción, esperando obtener señal sin perder las oportunidades de negocios por la mala o nula recepción. En la actualidad los teléfonos celulares no son únicamente para hacer llamadas, sino que se han convertido en "oficinas móviles" haciendo que los usuarios esperen que estos dispositivos funcionen en todo el inmueble.

Irónicamente, para obtener señal en interiores es necesario instalar una infraestructura que utiliza cables, antenas y amplificadores para distribuir la señal inalámbrica con los niveles requeridos para el buen funcionamiento de los teléfonos celulares, utilizando un sistema de antenas distribuidas (DAS). El dueño del inmueble va a poder ofrecer a sus inquilinos una infraestructura que tiene la capacidad de ser multi-tecnología y multi-operador, permitiendo que todos los operadores celulares tengan la posibilidad de compartir dicha infraestructura teniendo menor impacto visual, ocupando menor espacio en el inmueble, así como menos tiempo para su mantenimiento.

Por lo tanto, el mundo de tecnologías inalámbricas no es estático, evoluciona constantemente. Los inmuebles deben contar con un sistema flexible que pueda proporcionar servicios inalámbricos y aplicaciones [B].

En la tabla 1.1, podemos observar las tecnologías y aplicaciones que se ofrecen en el mercado

Tecnología	Aplicaciones inalámbricas
<b>WLAN</b>	Aplicaciones de datos alta velocidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laptops y tabletas</li> <li>• Aplicaciones de voz sobre-WLAN (telefonía IP)</li> <li>• Cámaras de seguridad</li> <li>• Sistema de manejo en el edificio</li> <li>• Ubicación de personas y activos</li> </ul>
<b>Servicios multi-celulares</b>	Aplicaciones móviles de voz y datos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicaciones de voz interna/externa</li> <li>• Teléfonos inteligentes (BlackBerry, iPhone, etc.).</li> <li>• Aplicaciones de datos 3G</li> </ul>
<b>Seguridad (Radios de 2 vías)</b>	Radios de intercomunicación
<b>Hospitales</b>	Aplicaciones específicas para la industria de la salud como telemetría inalámbrica para el monitoreo remoto de variables vitales como el pulso, la presión, etc.

Tabla 1.1 - Tecnologías inalámbricas y aplicaciones. [B]

### 1.1 Definición del problema

La demanda de los servicios inalámbricos es una progresiva necesidad. El creciente uso de dispositivos inteligentes hace indispensable contar con un sistema de antenas distribuidas o al menos un repetidor radiando en el interior de un inmueble. Este concepto permite por lo tanto tener una buena señal y un mejor desempeño de la red porque no solo es un problema de cobertura (señal) sino también de capacidad. En el caso de un sistema multi-operador (como el caso presentado en este documento "Torre Mayor") permite el ahorro de todas las empresas involucradas lo cual se convierte en una alternativa eficiente para el operador y el inmueble.

## **1.2 Objetivo general**

Se presentan las opciones de repetidores y soluciones DAS, considerando sus evoluciones dependiendo de las tecnologías presentes implementadas en el caso presentado "Torre Mayor", así como las fases de implementación de acuerdo a la ocupación y evolución tecnológica.

### **1.2.1 Objetivo particular**

Elaborar un procedimiento que explique paso a paso los elementos a tomar en cuenta para el levantamiento, diseño, aprobación, implementación, optimización y operación de un sistema DAS en edificios corporativos.

La experiencia de 5 años como líder en el mercado Mexicano y Latinoamericano de la empresa Unwired Solutions de México, S.A. de C.V. me permitió elaborar un documento para conocer los diferentes elementos que servirán como base a los especialistas en el ramo para seguir un procedimiento que explicará lo siguiente:

Los principios de RF, la historia de la telefonía celular, las tecnologías 3G y 4G, fundamentos del diseño en interiores, la explicación de los componentes y las diferentes opciones que existen para solucionar un problema de cobertura o capacidad, aplicaciones, tendencias de los operadores celulares en México y finalmente un procedimiento que los llevará paso a paso describiendo los elementos a tomar en cuenta en el diseño de un sistema DAS y sus posibles variantes, lo cual se presentan en un caso práctico: Torre Mayor.

## **1.3 Restricciones**

- a) Este trabajo se concretará en presentar 6 fases para un proyecto de sistema de antenas distribuidas: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización y operación.
- b) Este trabajo se acotará a tecnologías celulares en uso en México.

## **1.4 Metodología y organización del trabajo.**

En esta investigación se utilizarán los hechos y experiencias analizando el caso del inmueble presentado como del sistema DAS instalado, experiencias con los operadores celulares respecto a sus preferencias y necesidades de señal en interiores. Se analizarán las opciones que existen en el mercado, así como las tecnologías a ser implementadas en un sistema multi-operador y multi-tecnología.

## **1.5 Métodos**

Los métodos que serán utilizados durante el desarrollo de esta tesis son los siguientes:

- Presentación del procedimiento 6 fases:
  1. Levantamiento
  2. Diseño
  3. Aceptación
  4. Implementación
  5. Optimización
  6. Operación
  
- Presentación de las herramientas y equipos que se utilizan:
  - Sistemas especializados de diseño y propagación in-building.
  - Equipo de medición para realizar "walk test" y análisis de KPI's para determinar las tecnologías que requieren mejora de señal.
  - *Sitemaster*: Equipo de medición de señales VSWR.
  - OTDR: Equipo de medición de fibra óptica.
  - *Power generator*: Generador de potencia óptico.

➤ Caso de estudio Torre Mayor.

- Presentación del proyecto (Implementado en 6 etapas).
- Análisis de “*walk test*” realizados en el sistema implementado antes y después de la implementación de la última etapa.
- Análisis de la optimización realizada posterior a la implementación de la última etapa.

### **1.6 Producto final**

Se obtendrá un documento que analiza y describe el procedimiento para poder realizar la implementación de un sistema DAS en todas las fases, tomando como referencia el sistema implementado en Torre Mayor.

### **1.7 Contribución esperada**

- a) Proporcionar una metodología para el diseño de sistemas inalámbricos en interiores.
- b) Presentar las herramientas para la implementación de un sistema DAS.
- c) Analizar el caso “Torre Mayor” en sus 5 etapas de implementación.
- d) Analizar los resultados presentados en el proceso de diseño, instalación y optimización, obteniendo recomendaciones para proyectos y trabajos futuros.



## CAPITULO 2. MARCO TEORICO

Una vez definida la estructura haremos un breve recorrido por la historia de las comunicaciones inalámbricas, que comenzó con la postulación de las ondas electromagnéticas por James Cleck Maxwell durante el año de 1860 en Inglaterra, posteriormente la demostración de la existencia de estas ondas por Heinrich Rudolf Hertz en 1880 en Inglaterra y finalmente la invención del telégrafo inalámbrico por Guglielmo Marconi.

Durante 1890 eminentes científicos como Jagdish Chandra Bose de India, Oliver Lodge en Inglaterra y Augusto Righi de la Universidad de Bologna en Italia, se encargaron del estudio de los fundamentos naturales de las ondas electromagnéticas. La noción de la transmisión de información sin el uso de cables fue visto por los ancestros como algo mágico.

En 1896 la primera patente de comunicaciones inalámbricas fue concedida a Guglielmo Marconi en el Reino Unido, desde aquel momento, el número de desarrollos en el campo de las comunicaciones inalámbricas tomaron ese sitio.

Los servicios telefónicos móviles analógicos fueron introducidos en Estados Unidos en 1946, dando servicio a 25 ciudades principales. En cada una había una estación base compuesta por un transmisor de alta potencia y un receptor sensible, localizados en el centro, en la cumbre de una colina o en una torre, que abarcaba un radio aproximado de 30 millas en torno a la estación base [S].

En 1974, la FCC asignó 40 MHz adicionales de ancho de banda para el radio servicio celular, de 825 a 845 MHz, y 870 a 890 MHz, en 1975, la FCC otorgó a la AT&T el primer permiso para operar un radio servicio celular en desarrollo, en 1983, la FCC asignó 666 canales telefónicos móviles de 30 kHz semi-dúplex a la AT&T para formar el primer sistema telefónico celular en Estados Unidos llamado AMPS [S].

En los últimos años el volumen de los datos está excediendo el tráfico de voz, el uso de internet móvil y las aplicaciones multimedia están acelerando el proceso [M].

## 2.1 Sistemas de telefonía celular o red macro

### 2.1.1 Desarrollo de la red celular

El concepto básico del teléfono celular es sencillo, la FCC (Federal Communication Commission) definió originalmente las áreas geográficas de cobertura del radio celular basándose en cifras modificadas del censo de 1980. En el concepto celular, cada área se sigue subdividiendo en células de forma hexagonal que encajan entre sí, formando una estructura panal. Se escogió de forma hexagonal porque proporciona una transmisión más eficiente, al aproximarse a la forma circular y al mismo tiempo eliminar los huecos inherentes a los círculos adyacentes. Una célula se define por su tamaño geográfico, y por el tamaño de su población y pautas de tráfico; estas son definidas por el proveedor celular, a cada área geográfica se le asigna una cantidad fija de canales celulares de voz. El tamaño varía dependiendo de la cantidad de usuarios, por ejemplo como se puede observar en la figura 2.1, las macro células suelen tener un radio de 1 a 15 millas y potencias de salida de 1 a 20 watts. Las microcélulas suelen tener un radio desde algunos pies hasta varios cientos de pies, con niveles de potencia de salida de 0.1 a 1 watt [S].

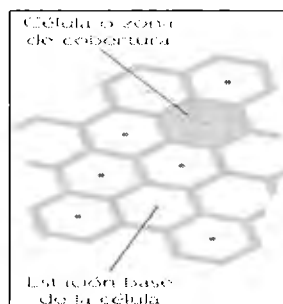


Figura 2.1 - Concepto de diseño celular de una red macro [S]

Los sistemas de telefonía celular básicamente consisten en conectar una terminal móvil con algún otro usuario. Esto se hace usualmente a través del PSTN (el cual es básicamente el sistema telefónico). Los componentes básicos que conforman al sistema son celdas, MTSO y unidades móviles (celulares).

Hablando específicamente de un área de servicio es el MTSO o "mobile telephone switching office" el encargado de establecer el enlace. El área en donde es proporcionado el servicio es denominada como CGSA (*Cellular Geographic Serving Area*), dicha área es dividida en celdas geográficas más pequeñas las cuales son idealmente hexagonales con un diámetro de 6.4 a 12.8km.

Un equipo típico de unidad móvil, o celular, consiste en una unidad de control, un transmisor-receptor (*transceiver*) y una antena. La unidad de control está integrada por un auricular, un teclado para proporcionar los comandos de control para el enlace telefónico, e indicadores auditivos y visuales (bocina, pantalla). El *transceiver* permite la transmisión y recepción de subida y bajada *full duplex* entre el celular y las celdas. Esto lo podemos observar en la figura 2.2; maneja un ERP (potencia radiada efectiva) de 6 Watts.

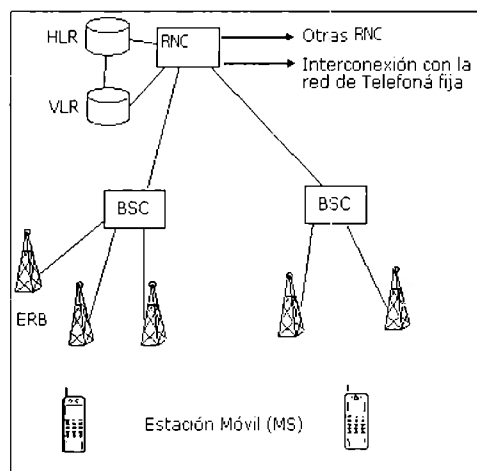


Figura 2.2 - Sistema celular básico [V]

Se observa como varios dispositivos que proveen el intercambio telefónico se encuentran conectados hacia el RNC, el cual proporciona la interfaz necesaria

para establecer la conectividad con las BSC. Así, el RNC es el responsable de proporcionar la conmutación y el control entre el grupo de celdas, esto se logra a través de canales de datos de control [S].

### **2.1.2 Microceldas**

Las microceldas son usadas en los sistemas celulares, de tal manera que el tamaño y el costo son reducidos. Las BS son pequeñas y no tan costosas, pero estas no son diseñados para redes celulares ni para aquellos que suministran alta capacidad. Las microceldas muestran deterioros poco importantes en la propagación, como reflexiones y demoras en la señal [S].

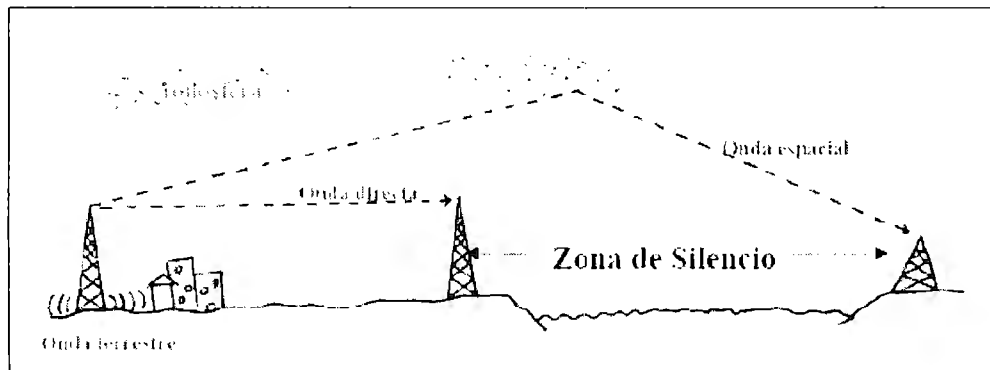
Las macroceldas convencionales son interconectadas a centros móviles típicamente configurados inicialmente con las facilidades de una vía de transmisión estándar, como lo es de 1.5 Mbits/seg (estándar norteamericano, T1) o 2 Mbits/seg (estándar europeo, E1) de enlace.

La interconexión de microceldas es y será completamente diferente. Algunas microceldas son esencialmente sitios de radiación remota, donde los RF o IF de señales de radio móviles son transmitidos a través de un enlace óptico, o un enlace de radio punto a punto para una distribución puntual de microondas que actúa como el centro físico de una microcelda.

Situando una BS en los sistemas de primera y segunda generación, involucra el uso relativo de herramientas de planeación, para predecir la cobertura de radio de la posición de una BS con errores de pérdida de ruta que a menudo exceden 20 dB y usualmente requieren soportar la propagación de las medidas y encontrar propiedades que permitan rentar espacios para el despliegue de la BS. Las herramientas de predicción para las microceldas son más exactas, por la condición de que la antena de las BS que deben estar montadas por debajo del horizonte de la ciudad. La propagación de la microonda en la microcelda es

esencialmente determinada por la topología de las calles y edificios, además de que varía si las calles son irregulares [N].

La propagación es un término importante que se refiere al conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas de radio que se propagan del transmisor a receptor como lo muestra la siguiente imagen.



**Figura 2.3 - Propagación de una onda de radio [N]**

Dentro de los tipos de propagación tenemos:

- Onda de Superficie:  $f < 30\text{MHz}$ . Largo alcance y gran estabilidad. Influye mucho el tipo de terreno en la propagación. Ej: Radio AM
- Onda Ionosférica:  $3 < f < 30\text{MHz}$ . La onda se refleja en las capas ionizadas de la atmósfera. Gran alcance con poca estabilidad. Ej: Radioaficionados, comunicaciones militares.
- Onda Espacial:  $f > 30\text{MHz}$ . A través de la troposfera. Suele exigir visión directa (LOS). Ej: radioenlaces, telefonía móvil, difusión de televisión terrestre y satélite.
- Onda Directa: enlace transmisor con receptor directamente.
- Onda Reflejada: enlace a través de una reflexión en el suelo
- Ondas de Multitrayecto: varias reflexiones de la señal alcanzan el receptor.

- Onda de Dispersión Troposférica: con frecuencias  $f > 30\text{MHz}$ . Por reflexiones difusas en discontinuidades. Alcanza una distancia más allá del horizonte.

### **2.1.3 Celdas mixtas**

Hay muchos tipos de celdas cuyo tamaño y forma están determinados por los niveles de potencia de radiación, la ubicación de la antena y el desarrollo físico de la región, determinando la ubicación de las microceldas por las inmediaciones de la topología de las calles y los edificios.

Ubicando las BS en la azotea de los edificios más altos, se produce una macrocelda. Los nodos de la celda suministran una gran capacidad de radio en el nodo de la red, un tipo de celda telepunto. Las picoceldas de pocos metros de diámetros se ubican en un cuarto del edificio. En cambio para celdas en un área rural grande, megaceldas, lo hacen a lo largo como celdas satelitales ( $>500\text{ Kms}$ ).

Teniendo sistemas celulares multidimensionales, multiniveles y celdas multi-tamaño profundamente compuesta por planes complejos de frecuencias, un ancho de banda particionado puede ser adoptado. Por ejemplo las microceldas pueden dar mayor ancho de banda, si son capaces de operar con una alta capacidad y soportar grandes variedades de servicios.

Las macroceldas pueden usarse en diferentes bandas de frecuencias, en cambio, las microceldas pueden tener una única banda para prevenir que interfieran con móviles en las calles. Se debe hacer un buen plan de frecuencias para las microceldas de oficinas en los edificios adyacentes y dentro del edificio.

## 2.2 Funcionamiento de un sistema celular

El sistema empleado para las comunicaciones celulares originalmente fue nombrado AMPS (sistema telefónico avanzado) y fue desarrollado por los laboratorios Bell en 1979. Actualmente AMPS está basado en un canal espaciado de 30kHz, el cual mediante modulación, permite que las bandas en las celdas sean divididas para permitir la competencia. Teniendo 30 kHz como ancho de banda, se obtienen 416 canales, de los cuales 21 canales son usados para propósitos de control, y los 395 canales restantes quedan disponibles para usuarios finales.

Sin embargo, lo que comúnmente se acostumbra es asignar de 10 a 50 canales de frecuencias para cada celda; en donde el número de frecuencias utilizadas depende del tráfico de carga y la probabilidad de bloqueo. Así, se mantiene una potencia radiada por cada celda relativamente baja logrando cubrir toda el área de la celda mediante el empleo de una antena de cierta altura. Esto permite el reuso de frecuencias en un mismo canal mientras no se tengan celdas adyacentes con la misma CSGA con poca o nula interferencia cocanal, tal y como se puede observar en la figura 2.4 [T].

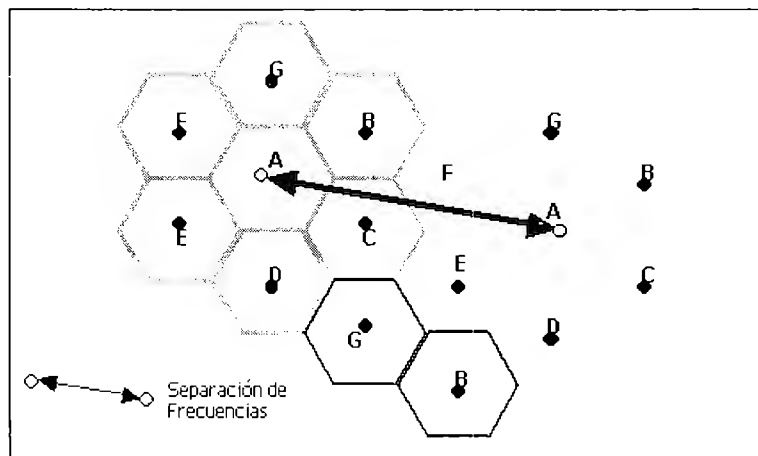


Figura 2.4 - Separación de celda con cuatro diferentes frecuencias [T]

Cuando se posee una correcta administración del reuso de frecuencias, es posible mantener miles de conversaciones simultáneas dentro de una CSGA. El concepto básico de reuso de frecuencias consiste en que un usuario es asignado a algún canal disponible, pero con el incremento de usuarios en un determinado CGSA una celda puede sobrecargarse. Para solucionar este problema, la celda es subdividida en celdas más pequeñas, teniendo cada una su propia estación base. Estas subdivisiones de celda usan una potencia de transmisión más pequeña al emplear antenas de menor altura, permitiendo el reuso de más frecuencias. Esta subdivisión puede proseguir hasta el límite de 1 milla (1.6km) de radio.

En resumen, la tecnología radio celular consiste en subdividir un área geográfica relativamente grande en secciones más pequeñas llamadas celdas, para aplicar un concepto de reuso de frecuencias (el mismo de conjunto de frecuencias o canales se puede asignar a mas de una celda, siempre y cuando éstas estén a una cierta distancia de separación) para incrementar dramáticamente la capacidad de un canal de telefonía móvil [T].

Dividiendo la red celular en celdas se tienen ventajas y retos.

➤ Ventajas:

- Reuso de Frecuencia: Es para que las celdas no se interfieran entre ellas, ya que por la separación entre ellas se puede reutilizar la frecuencia en una celda lejana (de acuerdo al diseño) aumentando la eficiencia del espectro y la eficiencia de la red celular.
- Crecimiento de la capacidad: La red celular puede iniciar con pocas celdas, y como se vaya presentando el crecimiento se puede dividir cada celda en celdas más pequeñas.
- Movilidad: Se logra declarando hadover entre las celdas para continuar con la movilidad.



➤ Retos:

- Estructura de la red: Cuando se diseña la red de forma hexagonal con 3 o 6 sectores, se debe estar seguros que se cubre dicha área solamente.
- Movilidad: Para cumplir con la movilidad se debe declarar el handover entre celdas, para que dicha llamada continúe de forma ininterrumpida.
- Control de potencia: En la señal de subida *uplink* del teléfono a la estación base, el reto es que servir a un teléfono que esté cerca o a otro que esté a 20km de distancia, así que se introduce el control de potencia para que la señal de subida *uplink* y señal de bajada *downlink* no generen problemas de *overpower* en el extremo que recibe y la interferencia [T].

Los principales fenómenos que degeneran la eficiencia del radioenlace son la reflexión, la difracción, el "*scattering*" y la atenuación, entre otros. En la vida real, es casi imposible contar con un diseño inmobiliario libre de estos problemas, los cuales producen puntos muertos o "*dead spots*" en donde la señal es virtualmente inexistente.

Dichos términos pueden ser entendidos de la siguiente manera:

- Reflexión: cuando una onda electromagnética, tal y como se observa en la figura 2.5, que se propaga es afectada por un objeto que posee dimensiones más grandes a comparación de la longitud de onda de la onda propagada. Se presenta al chocar con la superficie de la tierra así como en paredes y edificio.

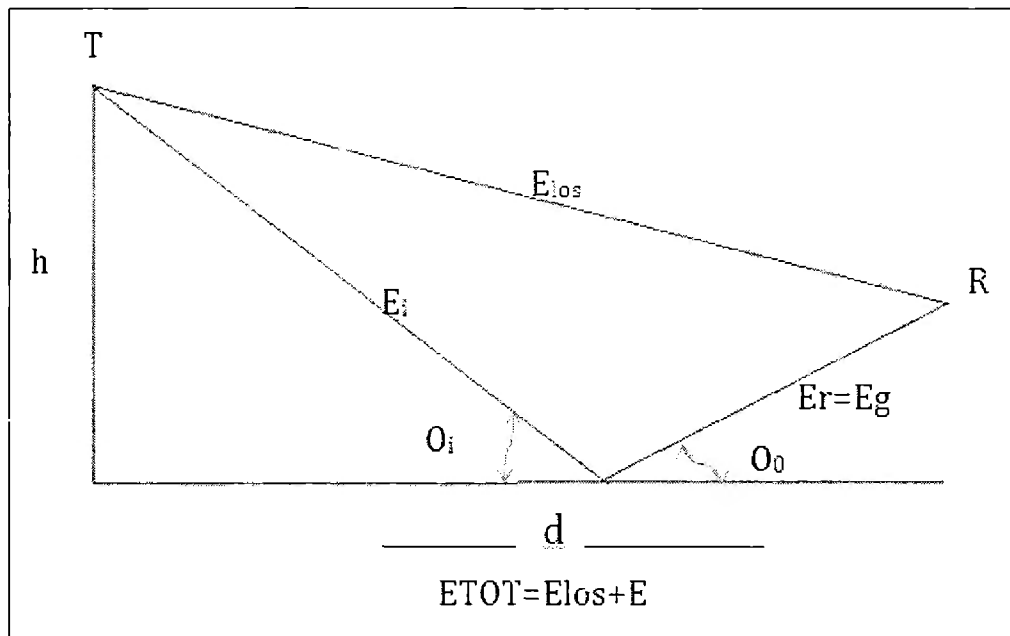


Figura 2.5 - Modelo de reflexión [Q]

En el modelo de reflexión de piso ("Two-ray"): En un canal de radio móvil, un patrón directo entre la estación base y el teléfono móvil es representado en la ecuación referida en la figura 2.5, basado en óptica geométrica y considera el camino ("path") directo y un patrón de propagación reflejada entre el transmisor y el receptor. Este modelo es razonablemente exacto para predecir la potencia de señal en distancias de varios kilómetros para sistemas de radio móviles que utilizan torres de telecomunicación altas (mayores de 50mts), así como para línea de vista de microceldas en medio ambiente de ciudad.

En la mayoría de los sistemas de comunicación móvil la separación máxima Transmisor-Receptor es al menos un poco más de 10 kilómetros asumiendo el terreno plano [Q].

- Difracción: cuando el trayecto de la señal de radio entre el transmisor y el receptor es obstruida por una superficie con irregularidades filosas observado en la figura 2.6, nos da como resultando en la dispersión y curvado de las ondas.

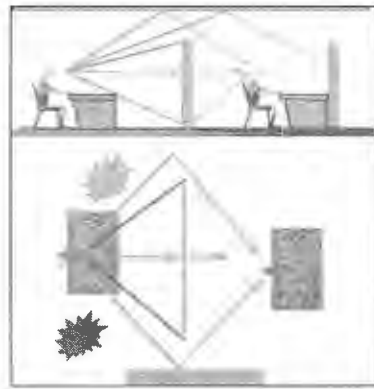


Figura 2.6 - Difracción causada por un elemento sólido [Q]

- *Scattering*: Es el efecto que se presenta cuando una onda se ve forzada a desviarse de su trayectoria original como se puede observar en la figura 2.7 debido a la falta de uniformidad del medio por el cual viaja.

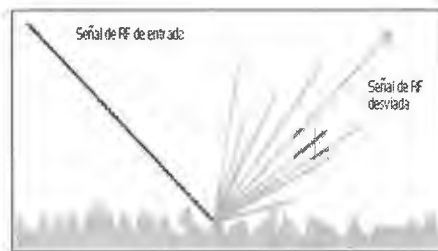


Figura 2.7 – Efecto de dispersión [Q]

- Atenuación: Un modelo de propagación incluye variaciones causadas por obstáculos, este modelo provee flexibilidad que reduce la desviación estándar entre las mediciones y las predicciones que tienen un patrón de pérdida de alrededor de 4dB [Q].
- Otro concepto que se aborda es la multi-trayectoria "*multi-path*", el cual ocurre cuando se tiene más de un trayecto disponible para la propagación de la señal de radio. Esto es producto de la combinación de todos los efectos de propagación, en donde el nivel de la señal actual recibida es la suma vectorial de cada una de las señales incidentes provenientes de cualquier dirección; ya sea que las señales se sumen o se sustraigan [Q]

- Absorción: depende de su frecuencia, es una pérdida de potencia que ocurre cuando la señal de RF choca con un objeto y ésta se pierde dentro del material debido a que no logra pasar a través de éste, ni es reflejada ni curvada alrededor del mismo [S].
- Eficiencia de truncamiento: Al tener dos o más proveedores de servicio se presenta una degradación inherente en el servicio. En primera el número de canales disponibles tiene que dividirse entre el número de portadoras, es decir, si se tienen 666 canales, 333 canales son asignados a cada uno. Asimismo la probabilidad de bloqueo aumenta a más de 0.002, la cual sería en el caso de un sólo proveedor. De la misma forma si se considera un promedio de tiempo de llamada de 1.76 minutos, el número de llamadas por ahora atendidas disminuye con más de una portadora presente [Q].

### 2.2.1 Ruido

El comportamiento del ruido es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta en el diseño de una red de radio. Este factor limita principalmente la calidad de la señal y las tasas de información para un sistema determinado. En general, mientras más grande sea la señal respecto al ruido, definiendo el SNR (*Signal to Noise Ratio*) como esta razón, se tendrán mejores tasas de transmisión y recepción en un radio enlace [Q].

#### ➤ Ruido térmico

El ruido es una característica inherente en cualquier sistema de comunicación ya que cualquier medio que conduce electricidad genera este fenómeno debido a la vibración de los electrones a una cierta temperatura. De esta forma, la potencia del ruido tiene una relación directamente proporcional con la temperatura de un cierto material conductor. Debido a esto, a este tipo de ruido se le conoce como ruido termal y se caracteriza por la distribución a lo largo de todas las frecuencias de su densidad espectral de potencia.

### ➤ Factor de ruido

El factor de ruido se define como la razón de la relación señal a ruido a la entrada de un sistema y la relación señal a ruido a la salida de este sistema. Para un amplificador, este factor es equivalente a la cantidad de ruido introducida por éste, además del ruido presente en su entrada. La figura de ruido o (*noise figure*) es el factor de ruido expresado en dBm ( $10\log(\text{noise factor})$ ) y es uno de los factores más importantes en el diseño de los radio enlaces ya que limita fuertemente las tasas de información a manejar.

### ➤ Ruido de planta

El ruido de planta se define como la cantidad de ruido presente en un sistema activo, como lo es un amplificador. Este ruido es la combinación del ruido térmico a un ancho de banda determinado más el factor de ruido que se puede considerar como ruido que introduce el sistema activo.

Es importante notar que a pesar de que los amplificadores degradan la relación señal a ruido, su uso es de gran importancia ya que permiten la adecuada recepción de la señal en aquellos puntos donde la cobertura es muy débil. De preferencia, los amplificadores deben de estar cercanos a las entradas del sistema de tal forma que las pérdidas por elementos pasivos como los cables no sean muy significativas [Q].

### **2.2.2 Interferencia**

Existen diferentes tipos de interferencia, las cuales pueden ser analizadas tanto en el caso de exteriores como interiores. Sin embargo para fines de este proyecto nos enfocaremos en los tipos que se presentan en interiores para poder comprender cuáles son los problemas a los que nos enfrentamos en un inmueble.

➤ Interferencia cocanal

Como se mencionó anteriormente, la idea fundamental de éste método consiste en asignar un canal particular de frecuencia  $f_1$ , usado en un área geográfica  $C_1$  con cobertura de radio  $R$ , a otra celda con la misma cobertura ubicada a una distancia  $D$  como podemos observar en la figura 2.8.

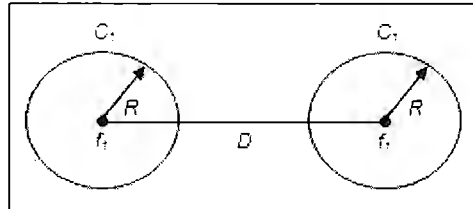


Figura 2.8 - Interferencia cocanal [S]

El reuso de frecuencia puede incrementar la eficiencia del uso del espectro drásticamente como lo podemos observar en la figura 2.9. Sin embargo, si el diseño del sistema no es adecuado cuando se presenta lo que se denomina interferencia cocanal.

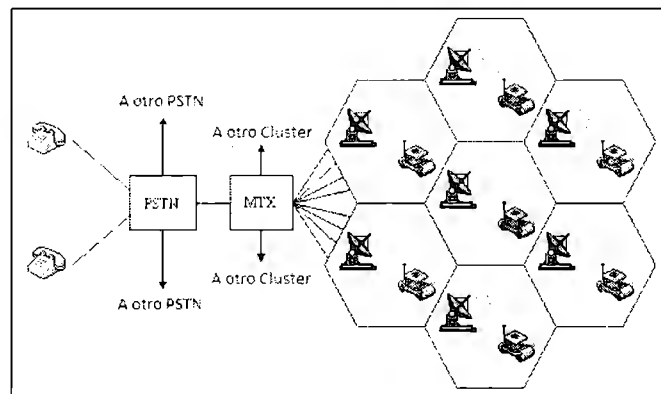


Figura 2.9 - Reuso de frecuencias [V]

Sin embargo aún con antenas direccionales se presenta interferencia cocanal, esto es debido a que un sitio de servicio puede interferir con la celda que se encuentra directamente frente a ésta, aunque dicha interferencia sólo se presenta en una fracción del sector asignado.

➤ Interferencia por canal adyacente

Se presenta cuando las transiciones de canales adyacentes interfieren entre sí. Es el resultado de filtros imperfectos en los receptores, que permiten la entrada de frecuencias cercanas al receptor, se puede reducir al mínimo si se usa un filtrado preciso en los receptores, y también haciendo asignaciones cuidadosas de canal [S].

La Interferencia de canal adyacente como se observa en la figura 2.10, es causada debido a que parte de la potencia de una portadora es capturada por un equipo móvil sintonizado a la frecuencia de una portadora adyacente. La causa de esta interferencia radica en un mal filtrado entre canales. En realidad es un término que engloba dos conceptos: interferencia del siguiente canal e interferencia del canal vecino. El primero consiste en la interferencia que el siguiente canal provoca en el canal de operación, mientras que el segundo se enfoca en la interferencia provocada por más de un canal. La siguiente figura se observa un esquema simplificado de qué es lo que ocurre en este tipo de interferencia.

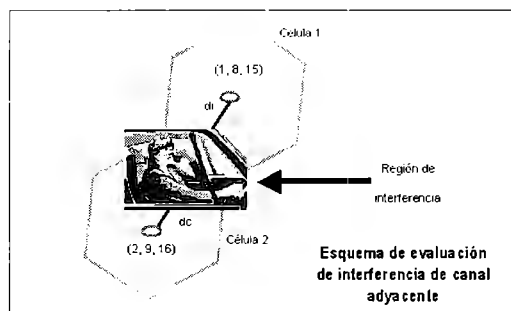


Figura 2.10 - Interferencia por canal adyacente [V]

NOTA: La diferencia entre la interferencia cocanal y la de canal adyacente radica en que la primera se presenta en la misma banda de frecuencias que la señal útil, mientras que la segunda se presenta en una banda distinta [S].

➤ Interferencia por canal compartido

Con la reutilización de frecuencias varias células usan el mismo conjunto de frecuencias. Dos células que usan el mismo conjunto de frecuencias se llaman células por canal compartido, y a la interferencia entre ellas también. A diferencia del ruido térmico no se puede reducir sólo con aumentar la potencia de transmisión porque al aumentar la potencia de transmisión en una célula aumenta la posibilidad de que la transmisión interfiera con la transmisión de otra célula. Para evitarlo se deben separar los canales compartidos a una determinada distancia mínima. No es proporcional a la distancia entre ellas, sino más bien a la relación de la distancia entre el radio de la célula, y éste es proporcional al radio de transmisión. Se adicionan radios sólo disminuyendo la potencia de transmisión por célula, haciendo las células más pequeñas y adicionando nuevas células.

### **2.3 Reutilización de frecuencia**

La reutilización de frecuencia es el proceso en el cual se puede asignar el mismo conjunto de frecuencias (canales) a más de una célula aún cuando las células estén alejadas por cierta distancia. Al reducir el área de cobertura de cada célula se invita a la reutilización de frecuencia. Las células que usan el mismo conjunto de canales de radio pueden evitar la interferencia mutua, siempre que esté alejada la distancia suficiente. A cada estación base de célula se le asigna un grupo de frecuencias de canal, distintas de los grupos de las células adyacentes, y se escogen las antenas de la estación base para lograr determinada distribución de cobertura (huella) dentro de su célula. Sin embargo, mientras un área de cobertura esté limitada a las fronteras de una célula, se puede usar el mismo grupo de frecuencias de canal en una célula distinta, siempre que las dos células estén separadas lo suficiente entre sí [S].



## **2.4 Sectorización**

En un sistema celular se puede disminuir la interferencia por canal compartido si se reemplaza una sola antena con varias antenas direccionales, irradiando cada una hacia un área específica. A estas áreas se les conoce como sectores, y la disminución de la interferencia por canal compartido aumentando al mismo tiempo su capacidad mediante antenas direccionales se llama sectorización [S].

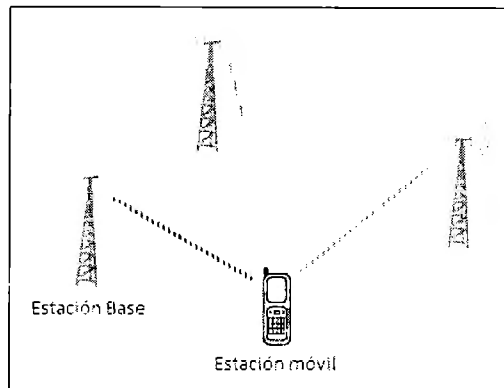
En algunas ocasiones y dependiendo de las necesidades de capacidad en un sistemas DAS se sectoriza en varias áreas el inmueble. Se necesita extender la cobertura no sólo por capacidad y para eso se utilizan equipos repetidores y otros componentes[B].

## **2.5 Transferencia entre celdas**

Los teléfonos celulares pueden mantener la conexión con la red celular cuando se mueven de una celda a otra, el procedimiento que se sigue para cambiar de una estación base a otra es llamado "*handover*" (HO) o "*handoff*", es posible que un HO sea sólo cambio de recursos en la misma radiobase.

### **2.5.1 Transferencia suave entre celdas**

En un *soft handover* (SHO) el equipo del usuario (UE) se conecta de forma simultánea a la estación base así que recibe señales de bajada *downlink* de varias estaciones base, como lo puede observar en la figura 2.11.



**Figura 2.11 - Transferencia entre celdas [V]**

El SHO es normalmente usado en las áreas límite de la celda, donde se empalma (*overlap*) con otra celda, sin la posibilidad de tener SHO, la estación base que se comunica con el UE tendría que transmitir a una potencia mayor causando niveles altos de interferencia del sistema.

Cuando va a ocurrir un SHO las celdas a ser medidas se dividen en: activo, monitoreado y detectado. Cada una tiene sus propios requerimientos de cómo efectuar las mediciones.

- Activo: incluye aquellas estaciones base involucradas en un SHO con el UE, cuando la transmisión de la estación base es detectada en el umbral de adición "*threshold addition*" entra en el estado SHO. Estas modificaciones son solicitadas por la red por medio de mecanismos de señalización. Otro parámetro es el "*drop threshold*", que previene que se remueva la estación base del seteo activo.
- Monitoreado: incluye aquellas estaciones base que han sido identificadas como posibles candidatos para HO pero no han sido adicionadas al seteo activo.

- Detectado: incluye todas las estaciones base que el UE ha encontrado mientras monitorea el medio ambiente de radio y que no han sido incluidas en la lista de vecinos [V].

### 2.5.2 Reubicación

Procedimiento de reubicación o SRNS (*Serving Radio Network Subsystem*) es cuando la ruta conexión del UE cambia si el UE y los Nodos B participantes pertenecen a la misma RNC están en la misma zona de SHO. Sin embargo, si el UE se mueve de posición y el Nodo B pertenece a otro RNC combinando la señal ésta es enviada al GGSN pasando el control al RNC2 como se observa en la figura 2.12.

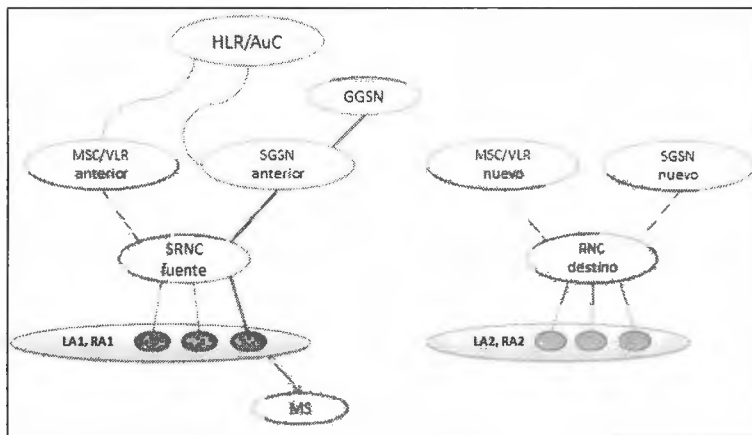


Figura 2.12 - Procedimiento de reubicación de SNRS [V]

### 2.5.3 Transferencia entre frecuencias

HHO es mejor conocido como un transferencia entre frecuencias. El UE detiene su transmisión en una frecuencia antes de moverse a la otra y comenzar a transmitir nuevamente, esto es frecuente en teléfonos duales que manejan UMTS/GSM (FDD/TDD).

#### **2.5.4 Transferencia entre sistemas**

Para la transferencia (*handover*) entre dos tecnologías de acceso de radio diferentes, el UE debe de medir la calidad de la nueva celda/operador, debe hacerlo al paralelo de seguir midiendo el canal anterior, haciendo mediciones en otro sistema que está teniendo problemas [G].

### **2.6. Historia de la telefonía celular**

#### **2.6.1 La primera generación (analógico)**

El inicio de la primera generación se dio a principios de los 80's llamada NMT, principalmente ofreciendo servicios de voz. Todas las tecnologías que existían eran incompatibles entre sí. Aunque no fue el comienzo de la era de la comunicación móvil, existían sistemas de radio móviles, no eran celulares ya que la capacidad era muy reducida y la movilidad era limitada; no existían estándares técnicos de NMT. Posteriormente se evolucionó a las tecnologías TACS y AMPS aunque no era posible hacer *roaming* y no se hacía un uso efectivo del espectro y de las frecuencias. Posteriormente se desarrollaron otros estándares utilizados únicamente en un país como C-Netz en Alemania del Este y Radiocomm 2000 en Francia [G].

#### **2.6.2 Segunda generación (digital)**

La segunda generación comienza a utilizar la transmisión digital de radio. La división analógica/digital y sus características principales son: mayores capacidades, los canales divididos simultáneamente por varios usuarios "división por código o por tiempo", estructuras celulares jerárquicas cubiertas por macro, micro y picoceldas para mejorar la capacidad del área de cobertura [G]. Existen 4 grandes estándares: GSM, AMPS Digital (D-AMPS), CDMA y PDC.

Los principales elementos de una red GSM se pueden observar en la figura 2.13:

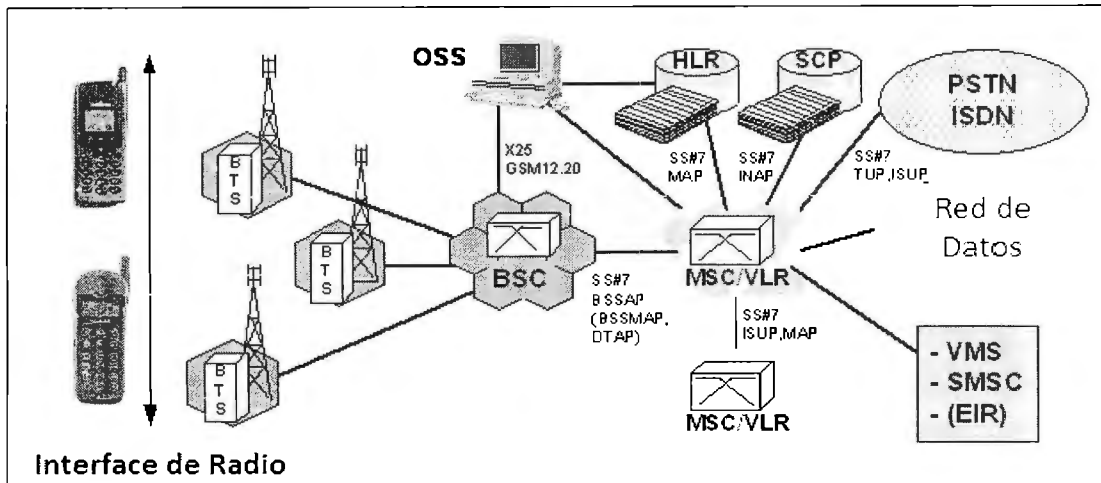


Figura 2.13 - Elementos de red GSM [V]

El sistema es capaz de proveer voz y datos a una velocidad de servicio hasta 9.6 kbps.

### 2.6.3 Generación 2.5

La generación 2.5 comprende todas las evoluciones de las tecnologías utilizadas en la 2ª generación, incluye casi todas las capacidades de las tecnologías de la tercera generación: HSCSD, GPRS y EDGE. Los elementos e interfaz para GPRS-EDGE se pueden observar en la figura 2.14 y 2.15 respectivamente.

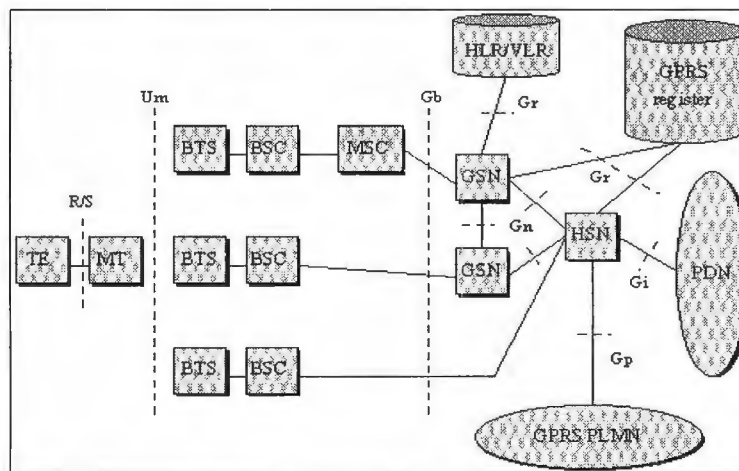


Figura 2.14 - Arquitectura GPRS-EDGE [6]

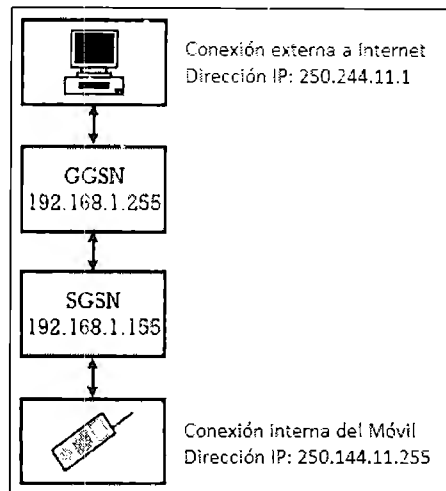


Figura 2.15 - Interfaz GPRS-EDGE con Internet [6]

#### 2.6.4 Tercera generación (WCDMA, UMTS)

En Agosto del 2000 existían 372 redes GSM en el mundo, sirviendo a 367.1 millones de usuarios [G].

##### ➤ CDMA con su evolución EV-DO

EV-DO, abreviado a menudo EV, es un estándar de telecomunicaciones para la transmisión inalámbrica de datos a través de redes de telefonía celular evolucionadas desde IS-95 o cdmaOne. EV-DO está clasificado como un acceso de banda ancha.

En EDGE el alto volumen de movimiento en datos es posible en la actualidad, pero aún no la transferencia de paquetes sobre el aire, pues ésta se comporta como una llamada de circuito de *switch*, por consiguiente se decide tener una red que no fuera distinta aunque se utilizara en diferentes partes del mundo. De esta forma nació 3G, que en Europa fue llamada UMTS liderada por ETSI.

WCDMA por definición el ancho de banda fue definido de 5Mhz. Provee velocidades de datos de 144 a 384 kbps, hasta 2 Mbps en buenas condiciones, además puede resolver multi-trayectorias y anchos de banda más pequeños para mejorar el desempeño [G].

#### ➤ UMTS

El Sistema Universal de Telecomunicaciones móviles es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación (3G, también llamado W-CDMA), sucesora de seguir un camino evolutivo para llegar a brindar servicios considerados de tercera generación. Aunque inicialmente estaba pensada para su uso en teléfonos móviles, la red UMTS no está limitada a estos dispositivos, pudiendo ser utilizada por otros.

Sus tres grandes características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada, la cual además le permite transmitir audio y video en tiempo real y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas, por lo que dispone de una variedad de servicios muy extensa. UMTS permite introducir muchos más usuarios a la red global del sistema, y además permite incrementar la velocidad a 2 Mbps por usuario móvil [T].

Aún con las velocidades que ofrecen las tecnologías 3G, un usuario típico de UMTS puede experimentar velocidades de 100 k/bits. Esto es aceptable para la mayoría de las aplicaciones, incluyendo voz, e-mail, video corto o aún videos largos, pero para las aplicaciones que están surgiendo, tales como música en línea, no es suficiente.

#### 2.6.5 Generación 3.5

##### ➤ HSPA

*High Speed Packet Access* es un evolución de la tecnología W-CDMA que puede ser desplegado en redes 3G existentes utilizando los mismos canales, esto es muy útil para el operador celular ya que puede utilizar altas velocidades en

datos alcanzando velocidades de transmisión de 8-10 Mbps (hasta 20 Mbps para sistemas MIMO), incluye AMC, MIMO y HARQ que cuenta con una rápida búsqueda de celda y diseño avanzado [T]. En la tercera versión soporta aprovisionamiento IP, en la quinta generación hasta 10 Mbps; los sistemas MIMO trabajan en la sexta versión, que soportarán mayores velocidades de hasta 20 Mbps. Es la evolución de la versión 99 de WCDMA [22].

	HSDPA	1xEV-DV
<b>Tamaño de trama (Downlink)</b>	2ms TTI (3 slots)	1.25, 2.5, 5, 10ms. Tamaño variable de trama (1.25ms por slot)
<b>Canal de retroalimentación de calidad del canal</b>	500 Hz (2ms)	800 Hz (1.25ms)
<b>Modulación y codificación</b>	QPSK, 16-QAM	QPSK, 8-PSK, 16-QAM
<b>ARQ Híbrida</b>	Redundancia incremental (IR)	Redundancia incremental asincrónica
<b>Factor de propagación</b>	SF=16 usando UTRA OVSF, Canalización de códigos	Longitud de código Walsh 32
<b>Control de aproximación de canal</b>	Canal dedicado apuntando a canal compartido	Canal de control común

Tabla 2.1 - Comparativo de HSPA y CDMA 2000 1xEv [22]

Ventajas de utilizar HSPA en interiores:

- Mejores servicios de datos.
- Las nuevas generaciones de Laptops pueden estar equipadas con tarjetas HSPA o Wi-Fi.
- Los costos por Mb son menores que en UMTS y EDGE.
- Mayor facilidad de conexión que para Wi-Fi ya que los usuarios no tendrán que autenticarse con la clave de acceso, para HSPA existen algoritmos que automáticamente conectará los equipos.
- Mejor desempeño que Wi-Fi. El desempeño puede ser mejor debido a que las velocidades no dependerán de la señal de regreso del ADSL como con los AP's de Wi-Fi.



Velocidades de HSPA	Radio de Cobertura
480 Kbps	47m
720 Kbps	37m
1.8 Mbps	33m
3.6 Mbps	29m
7.2 Mbps	20m
10 Mbps	15m

Tabla 2.2 - Velocidad de datos tomadas con una antena omnidireccional de 10dBm en un área abierta [22]

### 2.6.6 Cuarta generación (4G)

La siguiente generación, mejor conocida como 4G se basa en IP inalámbrico y proveerá servicios multimedia como audio, video y juegos. La visión de la ITU-R de los sistemas de comunicación inalámbrica es que se está acordando una integración de tecnologías, conocidos como sistemas heterogéneos B3G.

El objetivo es proveer servicios adecuados al usuario dependiendo de la movilidad y disponibilidad, enfrentando retos tales como handover/handoff o movilidad, calidad de servicio (QoS), seguridad y eficiencia en el costo; todo esto debe ser resuelto sin modificar los estándares existentes como se muestran en la siguiente figura [M].

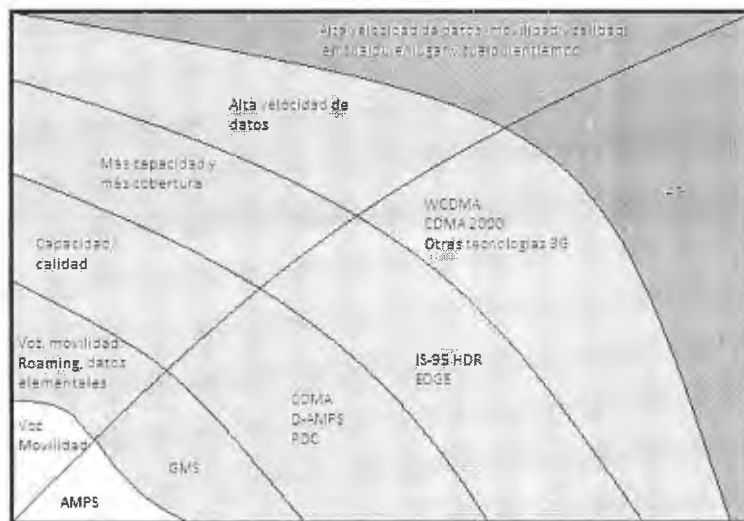


Figura 2.16 - Evolución tecnológica celular [M]

➤ LTE (*Long Term Evolution for UMTS*)

Es uno de los últimos pasos en la serie de sistemas de telecomunicaciones que han aparecido en el mercado como podemos observar en la figura 2.16, sin embargo es el esfuerzo más reciente para tener un sistema global.

La disponibilidad oblicua de las comunicaciones amigables con el usuario, en conjunto con la familiaridad del consumidor con la tecnología, la confianza y el esfuerzo que empezó en GSM culmina con el desarrollo del sistema conocido ahora como LTE de UMTS [R].

La primera versión de LTE provee velocidades pico de 300 Mb/s, un retraso en la red de radio de menos de 5ms, un incremento significativo en la eficiencia del espectro comparado a los sistemas celulares previos, un diseño de arquitectura de red plana que reduce costo. LTE soporta FDD y TDD, así como una gran variedad de anchos de banda para poder operar en diferentes ubicaciones en el espectro como podemos observar en la figura 2.17.

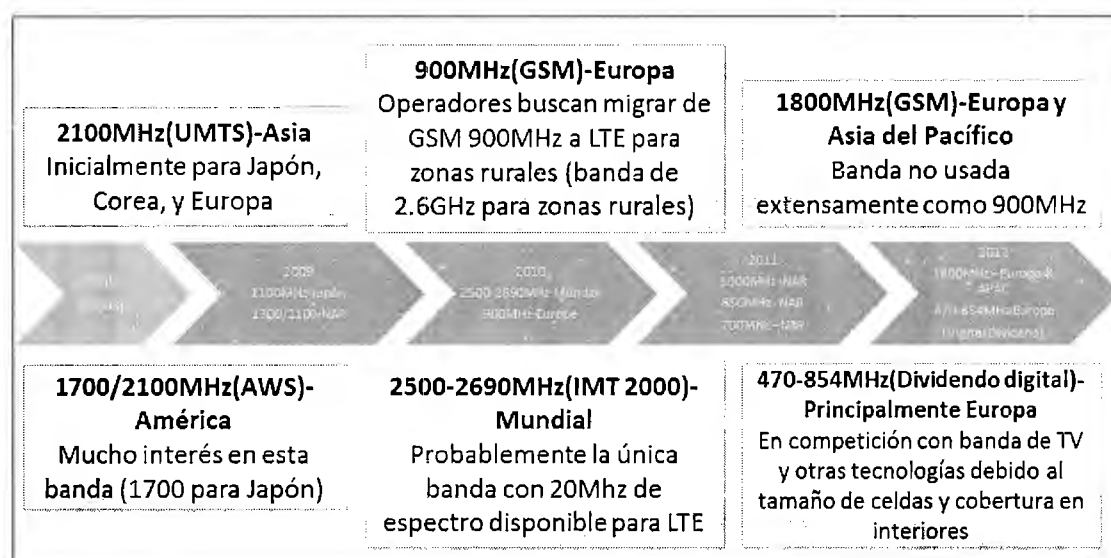


Figura 2.17 - Ubicaciones del espectro LTE en diferentes partes del mundo [R].

LTE también contempla la evolución paulatina de los sistemas 3GPP previos tales como el TD-SCDMA y WCDMA 2000. LTE también constituye un paso mayor en la cantidad de ventajas que tienen los sistemas de cuarta generación en sus planes originales.

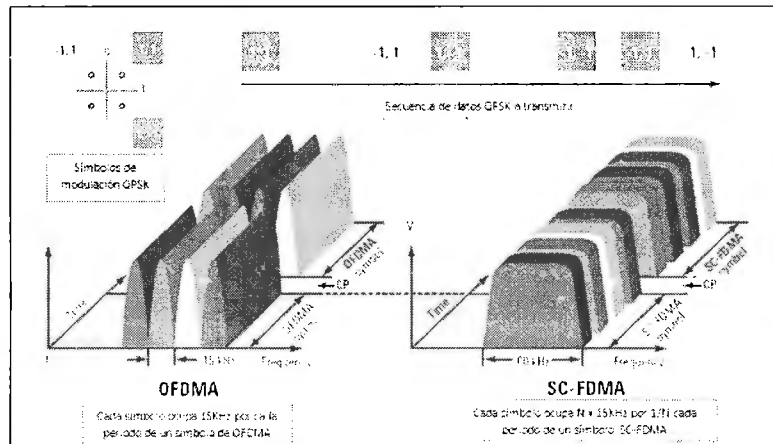


Figura 2.18 - Sistemas de acceso OF-DMA y SC-FDMA [R]

## 2.7 Aspecto del sistema radio celular

Existen dos componentes principales en los sistemas móviles de radio. El primero es la interfaz de radio, la cual permite que los usuarios establezcan comunicaciones vía radio desde una estación móvil (MS) a otro componente, y el segundo es una red fija que se interconecta con una red pública de teléfonos *switchheada* (PSTN) o una red de servicios integrados (ISDN). Los sistemas de comunicación de radios móviles privados han estado presentes durante todo este siglo, esto ha sido ejemplificado por la marina, la policía y los servicios militares. Lo que hace complejo a los radios celulares públicos, es la estructura de control para ubicar una estación móvil MS, si está haciendo una llamada y que el equipo móvil este encendido.

Los mecanismos de control hacen posible que a través de los protocolos se facilite el registro de las estaciones móviles en la red, facilitando las llamadas "set-

*up*” y *“clear-down*” entre los *switches* de las MS y las estaciones base (BS) así estén viajando, controlando el nivel de energía irradiada, proporcionando seguridad (en algunos sistemas), y ejecutando un gran número de otras funciones vitales.

Sin embargo, el número de usuarios que la red puede soportar, depende fundamentalmente de una interfaz de área común (CAI) sobre la cual se comunican los usuarios. La capacidad de los usuarios depende de muchos factores, pero el punto principal es la cantidad de espectro asignado por los reguladores, el tamaño del área de cobertura del radio desde una BS, y la cantidad de interferencia que el enlace de un radio particular pueda tolerar [O].

## **2.8 Planeación de red**

Es la tarea más importante para los operadores celulares ya que consume mucho tiempo y recursos, siendo la mayor inversión y la base de la operación de las redes celulares. Esta tarea no es continua ya que las redes siempre evolucionan y crecen. La calidad en el proceso de planeación de la red tiene influencia directa en las ganancias del operador. Algunos conceptos a considerar son:

- La intensidad del tráfico: es medida en Erlangs. Un Erlang es equivalente a una llamada que dure una hora. Así que el tráfico puede calcularse de la siguiente forma:

(Numero de llamadas (por hora) \* duración promedio de llamada (en segundos)) / 3,600. Si el resultado es menor de 1 Erlang la unidad a utilizar es mErlang (=1.001 Erlang).

- Densidad de tráfico (*traffic density*) mide el número de llamadas por kilómetro cuadrado (Erlang/km<sup>2</sup>). Este valor es utilizado para llamadas de voz de circuito switchado (*circuit switched*). Para servicios de datos la densidad de tráfico es medida usando Mbps/km<sup>2</sup>.

- Eficiencia espectral (*spectral efficiency*) definida por el tráfico que puede ser manejado en el area por ancho de banda:  $\text{Intensidad de tráfico (Erlang)} / (\text{Ancho de banda} \times \text{area}) = \text{bps} / (\text{Mhz} \times \text{km}^2)$
- La probabilidad que la red de radio no llegue a el parámetro QoS objetivo (Outage).
- Carga de la red (*cell loading*). Indica la ocupación de la celda, se da como un porcentaje de la capacidad máxima.
- Factor de carga (*loading factor*) define la cantidad de interferencia cargada en la celda por las celdas adyacentes. Se mide por la potencia recibida por la estacion base proveniente de otras celdas, la potencia recibida por los celulares dentro de la celda, cualquier potencia recibida de fuera de la propia radiobase es considerada como interferencia.

Estos conceptos nos deben servir de base para ser considerados cuando se decide implementar un sistema de extensión de cobertura celular utilizando repetidores o sistemas DAS, ya que si no se consideran podría ser que esta implementación no funcione.

Por ejemplo, en un edificio ubicado en reforma se debe considerar que los sitios adyacentes tendrán tráfico al tope de su capacidad (*cell loading*), factor de carga importante y se decide implementar un Repetidor, este no va a funcionar por lo que se tendrán que analizar otras opciones. Las opciones a considerar podrían ser : Sistemas de antenas distribuidas, picoceldas, femtoceldas, microceldas o sistemas pasivos. Cada una de estas opciones tiene ventajas y desventajas en costos, capacidades, tecnologías, etc. Por lo que se debe hacer un análisis detallado para saber qué solución se implementará en cada inmueble.

## 2.9 Estrategias del mercado celular en México

### 2.9.1 Tendencias del mercado celular

En México existen cuatro operadores celulares, tres están ofreciendo ya servicios de 3G, el cuarto está desplegando su red de 3G y hay ya un operador celular que lanzará servicios de 4G en México. Para estas tecnologías, los requerimientos de señalización de los equipos y el requerimiento de mayor capacidad está obligando a los operadores celulares a considerar el diseño en interiores como una estrategia de servicio y diferenciación. Los usuarios finales están ya detectando y reportando problemas de falta de señal.

### 2.9.2 Estrategias en la industria inalámbrica

Los sistemas en interiores excederán los 15 billones de dólares en ganancias para el año 2013, serán una parte clave para el desarrollo potencial de los servicios móviles, cada región y operador tiene diferentes tecnologías, condiciones competitivas y utilización de los servicios móviles. Afortunadamente existe un amplio rango de soluciones y equipos para servir a tan diversas condiciones. Las diferencias entre las diferentes soluciones para interiores son analizadas no solamente desde el punto de vista del cliente, también desde el punto de vista de los proveedores de equipo, los operadores, dueños de inmuebles y edificios [1].

En el mundo hay una carencia de personas preparadas de forma profesional capaces de realizar este trabajo, debemos continuar capacitando profesionales capaces de cubrir las demandas que continuarán presentándose, al necesitar una mayor demanda de datos por los usuarios de forma creciente, ya que un teléfono inteligente consume en tráfico lo que 30 equipos y una laptop equivale a 450 teléfonos utilizando redes 3G [22].

Aplicaciones	2009	2010	2013
Descargas	25 billones	45 billones	21.6 billones
Utilidad	42 billones	67 billones	29.5 billones

Tabla 2.3 - Utilidad por descarga [22]

El principio de la telefonía inalámbrica fue basado en la necesidad de la comunicación humana actualmente las tabletas han tenido una demanda creciente, el 300,000 iPad's fueron vendidos el primer día que salieron al mercado y 250,000 iBooks se vendieron los primeros dos días, las aplicaciones para estos dispositivos están creciendo en todos los ámbitos desde juegos, hasta aplicaciones médicas mHEALTH, aplicaciones para pagos mMoney [B].

### **2.9.3 Estrategia de operadores para servicios en interiores (DAS)**

#### ➤ América móvil

América móvil, la gigante de telecomunicaciones propiedad de Carlos Slim, propietaria de Telcel en nuestro país tiene programados 1,000 proyectos indoor.

Se aprobaron 5 empresas para llevar a cabo los trabajos y "Unwired Solutions" fue una de las empresas seleccionadas. Se deberán llevar a cabo 6 fases para la implementación de cada proyecto:

- Levantamiento
- Diseño
- Aceptación
- Implementación
- Programación de equipos y Optimización
- Operación y mantenimiento

En el primer trimestre del 2011 la empresa decide formar un área especializada en diseño, implementación, optimización y control de proyectos en interiores "*in-building*", por ejemplo en AT&T esta área cuenta con 800 empleados y atiende 2000 proyectos por año. [20]

➤ Iusacell

Iusacell, el operador CDMA pionero de la tecnología 3G en el 2004, ahora nos volverá a sorprender con una tecnología aún más avanzada que la que actualmente manejan en México el resto de operadores, dicha tecnología es HSPA+.

Con la tecnología HSPA+ que Iusacell está implementando, se ha mostrado en otras redes con Vodafone que HSPA+ será una de las evoluciones que veremos pronto y que sin duda representa una mejora sustancial sobre las actuales redes celulares disponibles en México, incluyendo la Red EvDO basada en CDMA, también de Iusacell.

Para poder lograr los objetivos de velocidades de datos Iusacell tiene una estrategia de cobertura de sitios estratégicos para instalar sistemas de antenas distribuidas (DAS), picoceldas, *femtoceldas* y sistemas Wi-Fi (para descargar sus redes). [IX]

➤ Telefónica Movistar

Telefónica Movistar tiene ya operando su red 3G, incluyendo HSPA+. Tiene una estrategia limitada para instalar sistemas de antenas distribuidas y repetidores ya que por los pocos clientes que tiene no tiene problemas de capacidad solo de cobertura, las soluciones que está implementando utilizan mayormente repetidores o soluciones que cubren solo una parte del inmueble. [7]

➤ Nextel de México

Nextel invirtió 1,400 millones de dólares al obtener 30Mhz de espectro radioeléctrico y que ello lo coloca entre los competidores en el mercado de las telecomunicaciones en México. En total suma alrededor de 50Mhz.

Con este espectro Nextel estará participando en el servicio 3G ofrecerá internet de alta velocidad; en los servicios de telefonía celular y muchas otras



alternativas que aumentarán la competencia entre operadores y redundarán en menores precios para los consumidores [11].

Nextel tiene 31 proyectos estratégicos en los que implementará sistemas pasivos conectados a RRU's de Huawei. Una vez finalizados dichos proyectos se desarrollarán de 100 a 400 proyectos más.

#### **2.9.4 Estrategias de dueños de inmuebles**

Los dueños de inmuebles en México no tienen una estrategia tecnológica de cobertura en interiores, en algunos desarrollos importantes se tiene un departamento dentro de la administración que se hará cargo de controlar la seguridad en el edificio solamente.

Empresas como Unwired Solutions hacen esfuerzos muy importantes para capacitar a los empresarios inmobiliarios para que la planeación a corto, mediano y largo plazo en el rubro de telecomunicaciones sea una realidad y se tenga una visión completa de los requerimientos de los operadores, capacidades necesarias para la operación y servicios que se pueden dar, y que serán un diferenciador y una ventaja competitiva para ellos [B].

#### **2.9.5 Tecnologías 3G en el mercado Mexicano**

Los operadores celulares están utilizando las siguientes tecnologías para ofrecer servicios de 3G son:

Iusacell : CDMA 1x EvDo 850, GSM 850, HSPA 850. GSM 1900 Mhz.

Telcel: GSM 850, UMTS 850, GSM1900 EDGE 1900, LTE (AWS)

Telefónica: GSM 1900, UMTS 1900.

Nextel: iDEN 800, UMTS ( 1.7 / 2.1 GHz AWS) [IX]

## CAPITULO 3. COBERTURA EN INTERIORES.

Con las bases presentadas en el capítulo anterior nos podemos empezar a revisar los temas de la cobertura en interiores (indoor), tomando en cuenta que las tecnologías celulares han sido diseñadas para cubrir la red macro principalmente, en la actualidad cubrir el interior de los edificios es un reto importante, se deben considerar algunos aspectos cuando se requiere dar cobertura en el interior de edificios:

- a) La distancia de propagación es más corta
- b) La velocidad de movimiento es menor
- c) Cada edificio tiene condiciones de propagación diferentes
- d) Si es utilizada la misma frecuencia que la red macro, la capacidad depende de la pérdida de penetración del edificio.
- e) Dificultad con cambio entre celdas (*hand-off*)

Para poder evitar los problemas mencionados anteriormente, existen dos formas de lograr la penetración de la señal hacia el interior de los edificios:

1. Forzar la señal de RF a penetrar.

Se utilizan grandes potencias en la radiobase y altas ganancias en las antenas para tratar de lograr la penetración en los edificios, la principal ventaja es que no se necesita iniciar negociaciones con los dueños de los edificios, no existe la necesidad de instalar infraestructura (cable, antenas, fibra óptica, etc.). La gran desventaja es la baja confiabilidad en la cobertura y poca capacidad, ya que estará tomando la capacidad del exterior, sin tenerla dedicada para los altos requerimientos de las tecnologías de tercera y cuarta generación.

2. Guiar la energía hacia el interior de los edificios.

Para poder lograr esto es necesario instalar antenas dentro de los edificios para cubrir las áreas requeridas, esto se puede lograr instalando equipos repetidores o microceldas/macroceldas.

Las microceldas son equipos pequeños y menos costosos que hacen las veces de las radiobases (BTS) de tamaño pequeño, poca capacidad que a diferencia que los equipos Repetidores si proporcionan capacidad.

El diseño en interiores se puede alimentar de microceldas o macroceldas ambas son radiobases (BTS o nodo B) pero la diferencia es la forma de interconexión a la red, el tamaño y la capacidad que pueden proporcionar al sistema.

Es importante pensar en el futuro y la convergencia, se debe analizar la evolución de los teléfonos hacia dispositivos más parecidos a computadoras, este elemento es de lo más importante en el diseño de sistemas DAS ya que se debe considerar que los dispositivos celulares se convertirán en computadores personales, y estos dispositivos deben tener la posibilidad de conectarse a las redes disponibles 3G y 4G de los operadores en México [F].

Las tecnologías de segunda generación como GSM hicieron posible que el tráfico de voz se pudiera llevar a lo inalámbrico, el número de teléfonos móviles en la actualidad, excede el número de líneas fijas en el mundo, la penetración mundial excede el 70% en países con avanzados mercados inalámbricos, el manejo de capacidades de datos de los sistemas de segunda generación son limitados, sin embargo los sistemas de tercera generación permiten mayores velocidades de servicio transmitiendo y recibiendo imágenes y video, estos sistemas de tercera generación son referidos como UMTS. WCDMA es la principal tecnología de tercera generación.

Entender la tercera generación es importante para poder diseñar las redes considerando todas las tecnologías existentes en el mercado y sus principios, los fundamentos que impactan las redes inalámbricas, revisar los estándares inalámbricos, desarrollos tecnológicos, ofreciendo información de los sistemas 3G y WLAN's que están transformando las comunicaciones en los años siguientes, incluye las tecnologías inalámbricas de voz, datos, *paging*, sistemas de banda

ancha (*broadband*) inalámbricos y fijos. Tomando en cuenta los principios de la asignación de canales, cambios de celda (*handoff*), eficiencia del "*trunking*", interferencia, reutilización de frecuencias, capacidad de planeación [G].

La integración de este tipo de funciones en los celulares tales como Samsung, Apple, Motorola y algunos otros tendrán un impacto real en la venta de descargas, venta de contenidos, el mercado crecerá de forma considerable llegando a los miles de millones de usuarios potenciales [V].

Las motivaciones técnicas para instalar un sistema DAS pueden ser mala cobertura, necesidad de mejorar la calidad en el servicio, aumento de capacidad, mayores velocidades de datos y descargar la macro entre otras.

Las motivaciones de negocios por parte de los operadores son: Maximizar la utilidad de la red y minimizar el costo de producción del tráfico, el costo de producir una llamada por minuto (CM) y un Megabyte transmitido en la red son cruciales para el cálculo de las utilidades [T].

Para poder maximizar la utilización de la red se pueden seleccionar 3 tipos distintos de extensión:

1. Repetidores
2. Femtoceldas o Picoceldas
3. Sistemas de antenas distribuidas (DAS)

### **3.1 Repetidores y componentes pasivos.**

Los repetidores y componentes pasivos ayudan a llevar a cabo una extensión de la cobertura celular exterior, se debe tener cuidado en su implementación, ya que en caso de tener la red macro saturada no será un elemento a ser implementado.

### 3.1.1 Repetidores

Los equipos repetidores extienden la cobertura existente con las BTS's (radiobases) o red macro, esto puede ser en interiores o exteriores.

Las aplicaciones en las cuales se pueden utilizar estos equipos son:

- Cobertura en interiores (*In-building*)
- Túneles
- Sistemas subterráneos como metro
- Barcos
- Trenes
- Aviones
- Coberturas rurales o agujeros de señal



Figura 3.1 – Aplicaciones con repetidores [IV]

El rango de frecuencia que se puede cubrir es: De 150 KHz a 3000 MHz y las tecnologías: AM, VHF, FM, UHF, SMR, iDEN, CDMA, PCS, P25, Tetra, UMTS, AWS [IV].

Se debe ser muy cauteloso al seleccionar la instalación de un Repetidor ya que en caso de no hacer un análisis por medio de las fases: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización, operación y mantenimiento en donde se deben considerar varios aspectos, entre ellos la capacidad de los sitios donadores y adyacentes el sistema no servirá y podrá provocar ruido a la red.

### 3.1.1.1 Términos básicos de repetidores

El término repetidor se originó con la telegrafía y se refería a un dispositivo electromecánico utilizado para regenerar señales telegráficas, este término siguió utilizándose en telefonía y comunicación de datos.

Los repetidores son amplificadores bi-direccionales por sus siglas (BDA) con capacidades de filtrado, son utilizados para mejorar la señal celular en exteriores e interiores cuando hace falta, reciben una señal donadora y la retransmiten a la llamada área de servicio con un nivel mayor de acuerdo a la potencia del amplificador, ya que no tiene señal de RF debido a la lejanía o a una obstrucción. Además se utilizan también para aumentar la capacidad en proyectos como estadios, edificios corporativos, departamentos, centro comercial, etc. Por medio de antenas distribuidas, en caso necesario se puede re-distribuir la capacidad de acuerdo a horarios de las diferentes ubicaciones y su demanda, esto se logra modificando en el equipo principal (*head end*) la distribución de los sectores en el distribuidor de fibra [IV].

### 3.1.1.2 Clasificación de repetidores

Los repetidores en general, los podemos dividir en dos grandes grupos: analógicos y digitales

- Repetidores analógicos: Amplifican una señal de entrada, independientemente de su naturaleza pueden ser alimentados por una BTS o por antena donadora. Existen dos tipos de repetidores analógicos:
  - Banda selectiva
  - Canal selectivo
- Repetidores digitales: amplifica, le da forma o potencia o cualquiera de estas combinaciones dándole salida (retransmisión) digital sobre una frecuencia específica, tienen filtros digitales programables de acuerdo a los

rangos de frecuencia que se quieran programar. Transmiten y reciben en un paquete sobre la misma frecuencia, a diferencia de los otros que transmiten en una frecuencia y transmiten en otra.

Debido a que los repetidores trabajan con la señal física actual, no interpretan los datos transmitidos, solo los repiten como su nombre lo indica [IV].

### **3.1.1.3 Filtros en repetidores**

Hay dos formas básicas de construir repetidores celulares: los de amplificación directa y los que utilizan filtros.

- Amplificación directa: el tratamiento de señales lleva en cuenta que las frecuencias involucradas no sufren conversión dentro del repetidor. Entre las ventajas se menciona la simplificación del proyecto, una menor generación de ruido intrínseco y son más baratos, tienen la desventaja que se amplifica toda la banda específica.
- Repetidores que utilizan filtros: se hace el filtraje específico en base a la banda o segmento de ella. Por la elección de la portadora adecuada de modulación se puede convertir cualquier banda o canal para la banda, el número de filtros necesarios para la estandarización del ancho de banda independiente de la frecuencia.

Los filtros son una parte muy importante en los repetidores, ya que estos solamente amplifican lo que reciben. Para poder seleccionar sólo la señal a ser amplificada, es necesario que cuenten con filtros efectivos para poder eliminar las señales no deseadas, dejando pasar sólo lo que es necesario para el buen funcionamiento del sistema. Existen tres tipos de filtros utilizados en repetidores [22]:

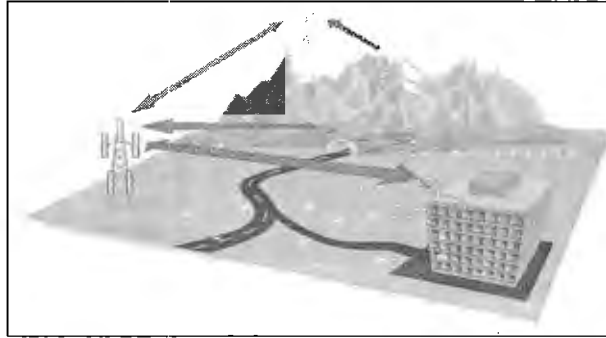
- a) Filtros de cavidad
- b) Filtros SAW

### c) Filtros Digitales

#### 3.1.1.4 Aplicaciones con repetidores

##### ➤ Exteriores

Los repetidores son utilizados en exteriores para poder dar cobertura en poblaciones lejanas, tal y como lo podemos observar en la figura 3.2.



**Figura 3.2 - Coberturas de túneles y edificios en zonas alejadas [IV]**

Los repetidores son ampliamente utilizados en coberturas rurales, se toma la señal desde un sitio remoto que no está utilizando toda su capacidad, se extiende la cobertura por medio del repetidor y puede dar señal a pequeñas ciudades, se puede observar un ejemplo en la figura 3.3.



**Figura 3.3 - Cobertura rural con repetidores [IV]**

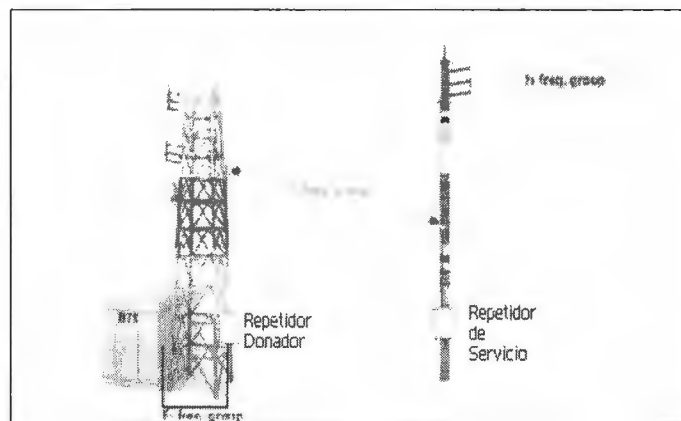
En otras ocasiones se puede utilizar la capacidad de un sitio exterior para dar servicio a carreteras que no tienen señal ya que se encuentran obstruidas por montañas, en interiores que no necesitan alta demanda y en trenes que tiene equipos repetidores especiales que buscan sitios aleatorios en el recorrido como lo observamos en la figura 3.4.





**Figura 3.4 – Aplicaciones con repetidores: Carreteras, edificios, trenes [IV]**

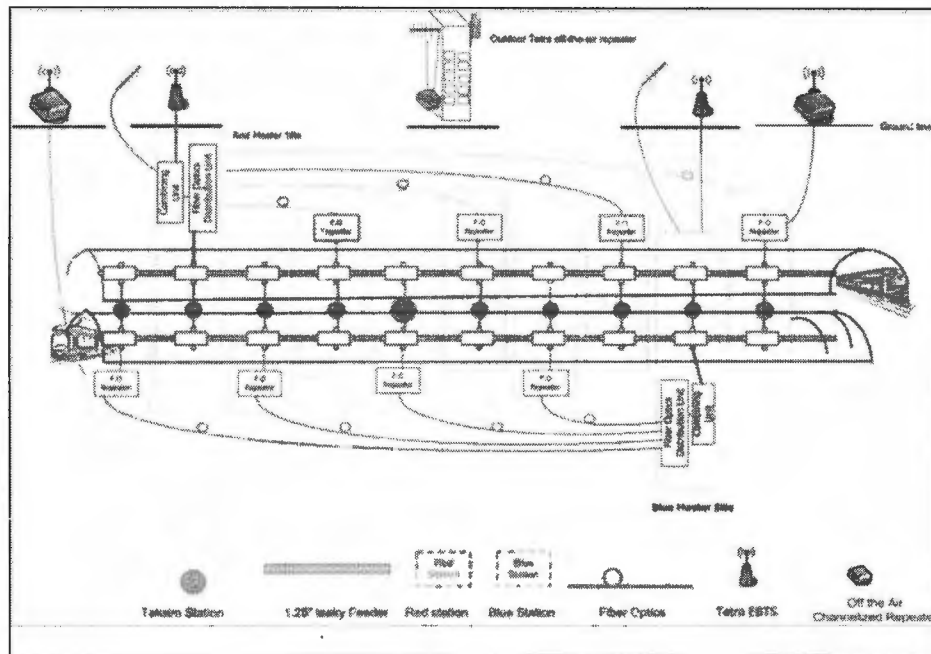
Existe otro tipo de repetidores para ciertas aplicaciones en las que no se permiten una torre de tal altura que otorgue aislamiento entre la antena donadora y de servicio, estos equipos son llamados de traslación de frecuencia que toman la señal en una frecuencia y la transmiten en otra como podemos observar en la figura 3.5.



**Figura 3.5 - Repetidores de traslación de frecuencia [IV]**

➤ Interiores

Los equipos repetidores se pueden instalar en el interior de edificios, túneles, estacionamientos subterráneos y sistemas de transporte metro entre otros, con el objetivo principal de dar cobertura y/o aumentar la capacidad.



**Figura 3.6 - Aplicación de repetidores en interiores: Metro [IV]**

Para poder dar cobertura en el interior de un inmueble, túnel, etc. Se pueden utilizar otra metodología: donadora tomada del aire "off air" podemos observar dicha aplicación en la figura 3.6 repetidores de fibra óptica. En México cada uno de los operadores celulares tiene instalado un sistema con antena donadora para todas las estaciones del sistema.

➤ Repetidores señal tomada del aire (*off air*)

La cobertura con repetidores se puede lograr poniendo una antena donadora en el exterior apuntando a un sitio con una señal de mínimo -70 dBm, de ahí se baja la señal con un cable coaxial hasta el lugar donde se necesita mejorar la señal, se instala un repetidor de acuerdo a las necesidades determinadas por el cálculo de pérdidas (*link budget*) y se coloca una o varias antenas donadoras para dar señal en el interior del inmueble. Se debe analizar muy bien la aplicación pues no todos los sitios son adecuados para instalar repetidores, ya que el ruido exterior o la capacidad del sitio donador puede ser determinante para decidir si se puede instalar.

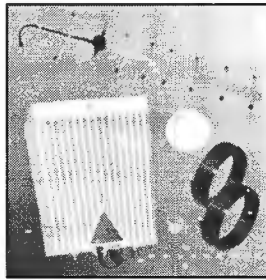


Figura 3.7 - Elementos de un repetidor, señal tomada del aire *off air* [IV]

➤ Repetidores de alimentación por fibra óptica

La cobertura con equipos de fibra óptica puede ser tomada del aire (*off air*), como el caso mencionado en el punto anterior. La segunda opción es alimentar el equipo con una microcelda o macrocelda como parte de un sistema DAS.

Este tipo de instalación nos permitirá alcanzar mayores distancias, instalar varios equipos a una misma radiobase o microcelda permitiendo distribuir la capacidad a diferentes pisos, edificios, zonas de un inmueble o para otras aplicaciones como túneles, metros, entre otras [IV].

### 3.1.2 Componentes y elementos de un sistema de extensión de cobertura.

En todos los sistemas mencionados anteriormente y en los sistemas que se mencionan en los puntos posteriores (DAS, picoceldas y femtoceldas), se utilizan elementos pasivos para poder distribuir la señal.

Estos elementos pasivos deben ser seleccionados con detenimiento ya que las pérdidas deben ser consideradas en el cálculo de pérdidas o link budget para que el desempeño sea el adecuado y de acuerdo al diseño.

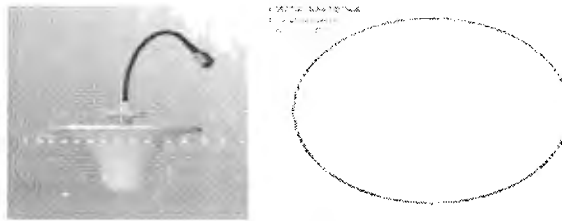
#### 3.1.2.1 Elementos pasivos.

➤ Antenas

- Antenas Omnidireccionales

La señal electromagnética de la antena radia de forma simétrica desde la fuente a todas las direcciones y la potencia transmitida es igual en todas las

direcciones, de acuerdo a la aplicación es importante revisar la frecuencia que cubre la antena y el patrón de radiación, podemos observar un ejemplo en la figura 3.8.



**Figura 3.8 - Antenas omnidireccionales [IV]**

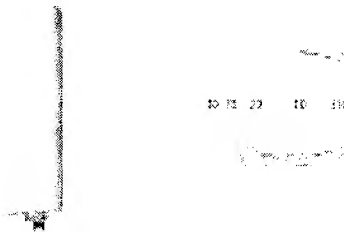
Una antena omnidireccional es una antena que irradia ondas de radio de manera uniforme en todas las direcciones en un plano, con la potencia radiada decreciente con un ángulo de elevación por encima o por debajo del plano, cayendo a cero en el eje de la antena.

Las antenas omnidireccionales son ampliamente utilizadas para radio difusión, y en los dispositivos móviles que utilizan la radio como teléfonos celulares, radios FM, redes inalámbricas.

Por lo tanto en coberturas *indoor* de redes celulares se utilizan para cubrir oficinas de mediano tamaño, áreas abiertas de menor obstaculización, recepciones, salones de eventos, áreas de elevadores, etc.

- Antenas direccionales.

La señal electromagnética radia de una forma significativamente más alta hacia una dirección específica y con una potencia mucho mayor hacia ahí.



**Figura 3.9 - Antenas direccionales [IV]**

Existen variaciones en las antenas direccionales, esto se puede observar en el patrón de radiación y se seleccionará el tipo de antena dependiendo

de la aplicación, se debe observar la ganancia, apertura horizontal y vertical.

Una antena direccional es capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de una manera casi puntual, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor o desde la fuente deseada y evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas. Las antenas direccionales proporcionan mucho mejor rendimiento cuando se desea concentrar gran parte de la radiación en una dirección deseada.

Por lo tanto una antena directiva o unidireccional puede ser utilizada para coberturas *indoor* en pasillos, áreas abiertas de gran tamaño, cubos de escaleras de forma horizontal, cubos de elevadores, etc.

Es importante mencionar que las características de cada antena y la decisión para la colocación de algún tipo de estas antenas están basadas en la información de diseño, inmueble, obstáculos, pérdidas de instalación. De ahí que existan de diversas ganancias y poder compensar dichas pérdidas, para lograr mayor cercanía al diseño realizado. Para coberturas *indoor* estos dos tipos de antenas son las más comunes a posicionar de acuerdo a la necesidad que presente el área a cubrir.

Entre las características que se deben de tomar en cuenta para la elección de las antenas están:

- Ganancia
- Polarización
- Patrón de radiación
- USLS (*Upper Side Lobe Suppression*)
- FTBR (*Front to Back Ratio*)

En general entre los diferentes tipos de antenas tenemos:

- Panel o direccional
- Omnidireccional

- Polarización dual
- Remotas con distribuidor de fibra óptica
- *Camuflaje* (tipo plafón, en tubo)
- Cable radiante
- Smart antena (4 encapsuladas en 1)

➤ Cable coaxial

El cable coaxial es utilizado muy frecuentemente en sistemas DAS pasivos y activos, lo más importante al respecto es considerar las pérdidas de acuerdo al tipo de cable y las distancias, estos parámetros determinaran el tipo de cable que se debe utilizar. Las pérdidas las podemos observar en la tabla 2.3 de acuerdo a distancia, tipo de cable y frecuencia.

Pérdida por cada 100m(dB)			
Tipo de Cable	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
1/4"	13	19	20
1/2"	7	10	11
7/8"	4	6	6.5
1 1/4"	3	4.4	4.6
1 1/2"	2.4	3.7	3.8

**Tabla 3.1 - Pérdidas de acuerdo al tipo de cable coaxial de cobre corrugado [VI]**

En el cálculo de pérdidas (*link budget*) se debe determinar el tipo de cable a utilizar, esto dependerá de las distancias entre los equipos, el número de antenas, las divisiones que se harán al sistema y la facilidad en la instalación e infraestructura. Por lo general en sistemas DAS se utiliza el cable de 1/2" y 7/8" en la tabla anterior se puede observar la pérdida a ser considerada por frecuencia y calibre del cable.

Para cada tipo de cable existe uno o varios conectores distintos, para aplicaciones celulares los que se utilizan con mayor frecuencia son los N, DIN y SMA. En sistemas DAS se utiliza cable corrugado de cobre y cable de aluminio. El

tipo de conector se definirá de acuerdo a la terminación de los equipos que son utilizados en el sistema como pueden ser antenas, divisores, repetidores, etc.

El cable de cobre fue utilizado casi siempre en los sistemas celulares, sin embargo el precio del metal llevo a tener precios muy altos por lo que industria comenzó a buscar alternativas, ofreciendo ahora cable de aluminio en todos los calibres, sin embargo el cable de cobre es más robusto, siendo más fácil de instalar y teniendo menos posibilidades de falla, es más caro por ello se debe considerar en el caso de negocio ambas opciones.

Es muy importante hacer pruebas de VSWR (retorno de señal) después de haber instalado el cable y los conectores para verificar que funcione correctamente y no cause ruido al sistema, estas pruebas deben ser entregadas en el protocolo y deben formar parte de la documentación del sistema.

En la siguiente gráfica vemos una comparación de dos pruebas de VSWR para dos líneas. Del lado izquierdo vemos los resultados positivos de la prueba VSWR para una línea coaxial de 1/2" estando dentro del límite permitido (27 dB) de la prueba para no causar interferencia dentro del sistema, del lado derecho vemos una prueba de otra línea coaxial de 1/2" dañanada pues las pruebas realizadas muestran que el valor de *return loss* en dB no está dentro del límite permitido que determina que una línea no presentará interferencias en el sistema.

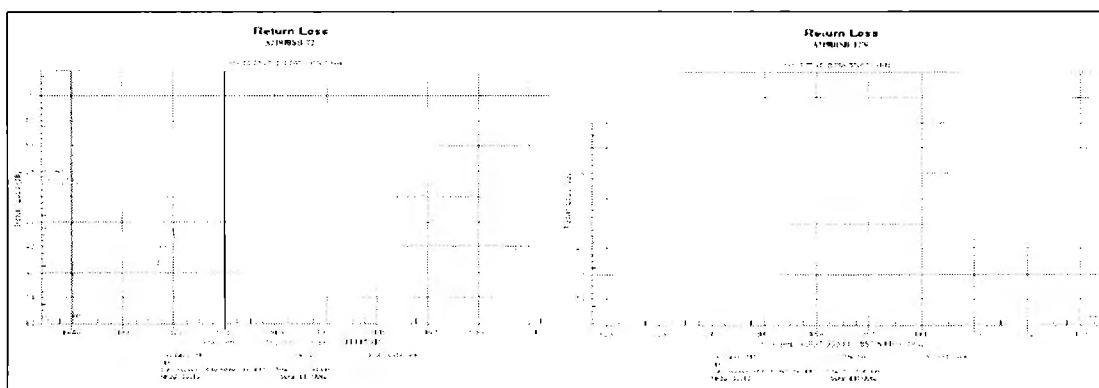


Figura 3.10 - Comparación de línea coaxial para la prueba de VSWR [IX]

➤ Cable Radiante

Para solucionar los inconvenientes que se pueden presentar en instalaciones en túneles o áreas de difícil instalación para antenas se puede utilizar el cable radiante "*leaky feeder*" que es utilizado para comunicar túneles y se asemeja a un cable coaxial con pequeños orificios para radiar en forma transversal las señales de radiofrecuencia lo largo del cable como si este fuera una antena muy larga. Se puede observar una instalación con cable radiante en la figura 3.11.



**Figura 3.11 - Aplicación de cable radiante en túnel [VI]**

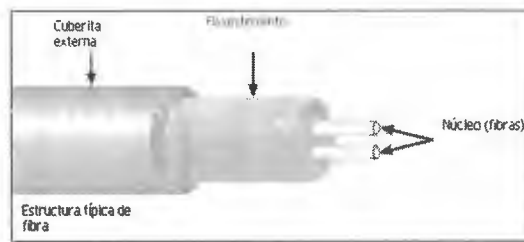
Este cable no puede ser utilizado en distancias muy largas por lo general no más de 100m, además el mantenimiento que se le debe dar es mayor que a las antenas o al cable coaxial.

➤ Fibra óptica.

La fibra óptica se comenzó a utilizar desde hace 25 años. La industria ha desarrollado una gran variedad de componentes activos y pasivos, técnicas de transmisión que son únicas.



El cable de fibra óptica está formado por hilos de cristal (núcleo) rodeadas de cubierta de cristal protegidas de PVC (revestimiento) como se puede observar en la figura 3.12.



**Figura 3.12 - Cable de fibra óptica [VI]**

Los elementos ópticos que contiene cualquier sistema de comunicaciones por fibra óptica son:

- Fuentes ópticas: Son los transductores que transforman las ondas de voltaje y corriente guiadas en ondas luminosas.
- Fibras ópticas: Son el medio de transmisión las guías de onda luminosa.
- Empalmes: Son las uniones permanentes y entre secciones de fibra óptica.
- Conectores: Son uniones removibles que se emplean generalmente para conectar al transmisor y al receptor con la fibra óptica.

#### Tipos de Conectores

- *SC Subscriber Connector*: comúnmente utilizado en sistemas multi-modo por su desempeño excelente. El conector se presiona para su conexión, es muy simple de utilizar.
- *APC Angle Polish Connector*: por su forma convexa tiene una mejor conexión, tiene una pérdida de menos de 0.3 dB, y una pérdida por retorno (*return loss*) de 40 dB o menor. Un ángulo de 8 grados es usado al final de la férula para crear el APC.

- Detectores ópticos: son transductores que transforman las ondas luminosas en ondas de voltaje y corriente y ondas electromagnéticas guiadas de radio.

*Compatibilidad del medio de transmisión.*

El medio de transmisión debe tener características que lo hagan compatible con los requerimientos que exigen los sistemas de comunicación, también se requiere compatibilidad con los otros sistemas que forman parte del mismo.

*Tipos de fibra*

➤ **Monomodo**

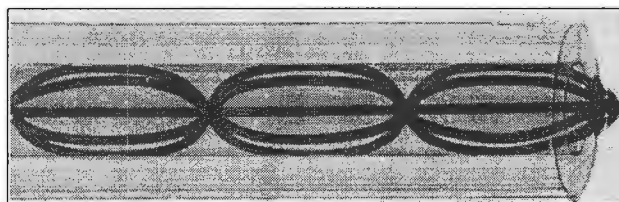
- Utilizada en comunicaciones a largas distancias
- Se transmite en el cable 8-10 / 125 $\mu$ m a la vez
- La señal que se transmite es luz láser
- Es la fibra utilizada en sistemas DAS



**Figura 3.13 - Fibra monomodo [VI]**

➤ **Multimodo**

- Soporta ondas múltiples (*broadband*)
- Viene en dos tipos.
- El diámetro del cable está entre 50 y 115 microns
- La fuente del cable multimodo es LED
- Usualmente se utiliza en comunicación de datos.



**Figura 3.14 - Fibra multimodo [VI]**

En el caso Torre Mayor se tiene instalada fibra monomodo, de 4 hilos. El sistema DAS instalado utiliza multicanalización WDM por lo que los equipos emiten colores distintos para enviar que la señal de las diferentes tecnologías y sectores tengan colisión óptica.

Los conectores utilizados son SC APC, se pueden conseguir con facilidad en el mercado. La fibra instalada desde el 2004 es pre-conectorizada por lo que al hacer el levantamiento se tuvo que considerar de forma muy cautelosa las distancias entre el equipo principal y los equipos remotos, instalando 20 posiciones de fibra cuando solo se utilizan 13, esto da oportunidad al sistema a tener crecimientos futuros.

Los motivos para utilizar fibra en lugar de cobre es:

- Distancias más largas. Se reduce el número de repetidoras debido a que se tienen pérdidas menores y el costo del sistema se reduce.
- Gran capacidad de información. Cuenta con mayores anchos de banda, así que se pueden enviar mayores cantidades de información sobre el mismo cable.
- Poco volumen, tamaño pequeño y poco peso.
- Inmunidad a la interferencia eléctrica ya que está hecho de materiales dieléctricos que no pueden conducir electricidad.
- Seguridad. Las emisiones de luz láser podrían representar un problema para los ojos.
- Seguridad de la señal. Alto grado de seguridad en la información.

El reto principal de la utilización de la fibra óptica es tener un medio de transmisión flexible, con poca pérdida a largas distancias sin una atenuación o distorsión significativas [J].

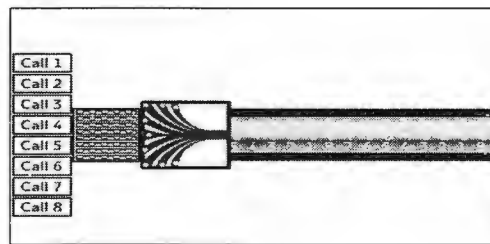
Las fibras en la década de los 80's solo manejaban tres ventanas ópticas, la primera entre el rango de 800-900nm, la segunda centrada en 1310nm y la tercera

entre el rango de 1480 y 1600nm. Posteriormente se comenzó a trabajar en los 1550nm en la cual se pueden transmitir datos a más altas velocidades.

Los elementos que componen un sistema de enlace óptico son: Transmisor, fibra óptica, receptor, dispositivos pasivos, amplificadores ópticos y componentes activos.

#### *Multicanalización de longitud por división de Onda (WDM)*

Es la tecnología que multiplica el número de canales/señales ópticas en una sola fibra usando diferentes anchos de onda o colores de luz láser se puede observar en distintos colores en la figura 3.15, ésta técnica permite la comunicación bi-direccional sobre un hilo de fibra y multiplica su capacidad.



**Figura 3.15 – Representación gráfica de WDM [VI]**

Algunos equipos más modernos para sistema DAS utilizan una sola fibra para enviar señales de diferentes frecuencias y tecnologías se utiliza fibra monomodo con tecnología WDM.

En otros proyectos de edificios corporativos se utilizan equipos que transmiten en diferentes longitudes de onda para que no exista colisión óptica y no se provoque ruido especialmente en la utilización de datos 3G y 4G.

#### ➤ Otros elementos pasivos

- *Splitter*: Es un divisor de potencia, y se utiliza para dividir la señal de un cable coaxial hacia una o más antenas.

Pérdida en el splitter =  $10\log (\# \text{ puertos}) + \text{pérdida por inserción (insertion loss)}$ .

Los divisores se utilizan cuando la señal se debe dividir de forma equitativa.

- *Tappers*: Son divisores de potencia, la diferencia es que se divide de una forma no balanceada, quiere decir que si se requiere anular la potencia hacia algún puerto o dividir la potencia hacia una ruta con menor potencia que hacia la otra se puede hacer con este dispositivo, es utilizado para lograr balancear la señal en ciertas aplicaciones. Esto se debe considerar en el cálculo de pérdidas para poder saber la potencia que emitirá cada antena. Existen divisores de potencia de :
- Atenuadores: Reducen la señal de acuerdo al valor del atenuador, los valores típicos son 1, 2, 3, 6, 10, 12, 18, 20, 30, 40 dB's. Estos dispositivos se utilizan comúnmente para proteger el equipo principal del DAS, ya que el equipo BTS o nodo B del operador emite desde 20 Watts hasta 60 Watts, el sistema DAS debe recibir solo una muestra por lo que el atenuador eliminará la potencia no necesaria para que el sistema trabaje de forma idónea.
- Cargas: Para cerrar cualquier puerto que no es utilizado para no tener fuga de potencia. En muchas ocasiones se utilizan cargas cuando se deja algún puerto con señal para hacer mantenimientos o en instalaciones temporales.
- Acopladores híbridos: Combinan la señal de dos fuentes separadas, ejemplo 800 y 1900 MHz. En un sistema DAS se pueden combinar señales hacia el sistema pasivo de antenas.
- Duplexores: Separa las señales TX/RX cuando estas vienen en un solo cable de la BTS. En algunas ocasiones las señales de transmisión y recepción son entregadas en un solo cable, a la entrada de algunos sistemas DAS deben ir separadas, el sistema de Torre Mayor las recibe de esa forma por lo se tienen instalados este tipo de dispositivos.

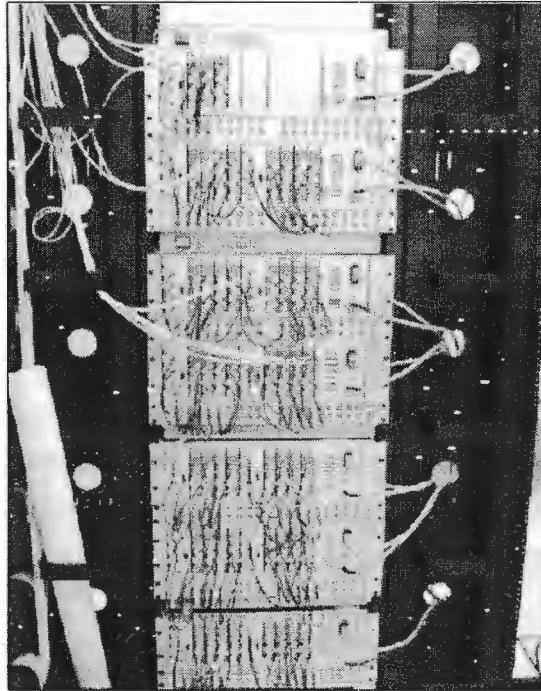
- Diplexores: Separa o combina las señales de varias frecuencias, por ejemplo 800 / 1900Mhz.
- Triplexores: Separa o combina las señales de varias frecuencias, por ejemplo 800 / 1900 / 2100Mhz.

Todos los componentes mencionados son componentes pasivos y forman parte de un Sistema de Antenas Distribuidas DAS. Al hacer el diseño se deben tomar en cuenta las características y especificaciones, para que estas sean consideradas para la instalación y al hacer el cálculo de pérdidas (*link budget*).

Cuando se instala un sistema DAS pasivo se debe poner especial importancia a utilizar pasivos libres de PIM (Intermodulación Pasiva), que son mucho más caros, de hecho, más de un 100%. Sin embargo si se adquieren e instalan, se puede ahorrar en costos de pruebas de VSWR, que se pueden eliminar casi por completo, sin embargo se debe tener personas capacitadas para la instalación de conectores, herramientas adecuadas dependiendo de cada marca de conector, así como la revisión de reportes y pruebas. Todos estos costos sumados podrían resultar con un costo total casi igual a la compra de conectores libres de PIM.

### 3.1.3 Elementos activos

*Elementos receptores de RF, combinación y distribución por medio de fibra óptica*



**Figura 3.16 - Cuarto técnico de unidad maestra 13 sectores y 51 enlaces a unidades remotas [IX]**

#### ➤ Unidad Maestra

Este módulo tiene la función de recibir las señales de las BTS o nodos. En algunas marcas de equipos las señales de transmisión (TX) y recepción (RX) se reciben por medio de cables separados, en otras marcas las reciben combinadas en un solo cable (TX/RX); además de la función de recibir combina todas las tecnologías y portadoras que los operadores entrega para ser distribuidas en el sistema DAS. El sistema distribuirá la señal combinada y convertida a luz por medio de fibra óptica por medio del módulo FOI de acuerdo a la cantidad de sectores que se hayan definido en el diseño del sistema como se puede ver en la figura 3.17.

RHG/WRH	Floor	Sector configuration	
RG01	55	Sector 3	
	54*		
	53*		
	52		
	51		
RG02	50		
	49		
	48		
	47		
RG03	46		
	45		
	44		
RG04	43		
	42		
	41		
	40		
RG05	39		Sector 2
	38		
	37		
RG06	36		
	35		
	34		
RG07	33		
	32		
	31		
WRH01	30		
	29		
	28		
	27		
	26		
	25		
	24		
	23		
WRH02	22	Sector 1	
	21		
	20		
	19		
	18		
	17		
	16		
	15		
WRH03	14		
	13		
	12		
	11		
	10		
	L9		
	L8		
	L7		
WRH03	L6		
	L5		
	L4		
	L3		
	R2		
	L2		
	L1		
	R1		
P1			
P2			
P3			
P4			

Figura 3.17 - Diagrama de Sectorización [IX]

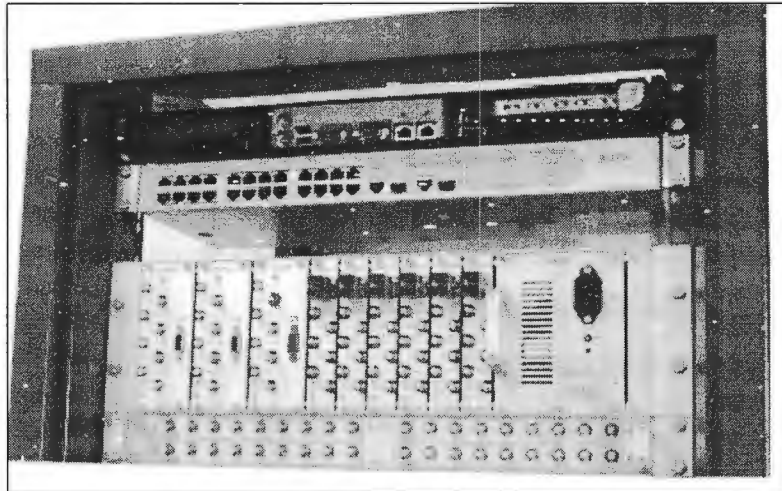
La unidad maestra está compuesta por:

- BIU's: Por sus siglas *Base station unit* que tiene la función de recibir la señal de *downlink* y *uplink* de cada BTS o Nodo B.
- POI: Por sus siglas *Point of Interconnect* tiene la función de combinar todas las señales para ser entregadas por al FOI para ser distribuidas por sector a



los remotos. La sectorización se decidirá de acuerdo a la capacidad necesaria en el complejo.

- FOI: Por sus siglas *Fiber Optic Interface* recibe la señal combinada del POI y la distribuye de acuerdo al diseño a los diferentes remotos por medio de fibra óptica soportando distancias de hasta 20 km, figura 3.18.

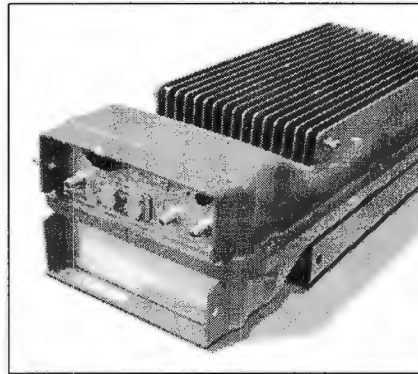


**Figura 3.18 - Unidad Maestra: BIU, FOI, POI [VII]**

Todos estos elementos recibirán la señal de RF de los diferentes operadores celulares en la tarjeta BIU (por frecuencia), las señales de todos se combinan en el POI, posteriormente la señal combinada es convertida a luz y distribuida por las tarjetas FOI hacia los puntos remotos del edificio por medio de fibra óptica monomodo. Es importante considerar que no se puede dividir la señal de fibra más de una vez, ya que la pérdida en el enlace óptico no considerado en el cálculo de pérdidas podría significar que la potencia en el sistema distribuido o ramal podría tener problemas de señal baja. Se debe considerar también la longitud de onda a ser utilizada para cada remoto ya que de lo contrario podría existir colisión óptica, teniendo como resultado un mal funcionamiento del sistema.

➤ **Unidades Remotas**

Tienen la función de recibir las señales combinadas de todos los operadores que viajan por la fibra óptica monomodo y convertirlas a RF para ser distribuidas por el sistema pasivo de antenas. Las unidades remotas pueden trabajar en diversas bandas 800, 900, 1800, 1900, 2100 MHz. (entre otras) figura 3.19.



**Figura 3.19 - Unidad Remota 20 Watts [VII]**

En el caso de Torre Mayor se tienen instalados equipos tri-banda 850/1900/2100 MHz para cubrir 800 MHz (iDEN) se utiliza un remoto separado que posteriormente es combinado.

La tecnología iDEN del operador Nextel utiliza equipos de otra marca (Powerwave) que es el sistema instalado en el 2005, no se actualiza ya que esta tecnología no se calcula esté en el mercado de 2 a 5 años máximo.

## 3.2 Femtoceldas o Picoceldas

### 3.2.1 Picoceldas

El uso de picoceldas es muy efectivo para sistemas en interiores de una forma barata para un solo servicio, es un dispositivo pequeño con una antena integrada diseñado típicamente para instalación en pared para oficinas pequeñas, tales como oficinas, centros comerciales, estaciones de trenes, metros, aviones etc.), la mayoría de las picoceldas utilizarán IP para comunicación con la central, esto hace que sea una solución rápida de implementar.

La señal de salida de la picocelda es suficiente para cubrir de 20 a 40m de distancia dependiendo de los requerimientos de servicio, en algunas ocasiones es necesario alimentación eléctrica o se puede alimentar por cable UTP que también servirá para la señal IP [T]

Podemos observar en las figuras 3.20 y 3.21 las aplicaciones, adicionan una capacidad pequeña donde no existe capacidad de la macro, pues está saturada. En redes celulares tales como GSM, tiene un costo muy bajo, muy fácil de instalar que se conecta con el BSC (*Base Station Controller*), las picoceldas son controladas y harán la función de hand-over, MSC (*Mobile Switching Center*) y GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). La conectividad entre las picoceldas se hace por medio de cable UTP Cat5 [XI].

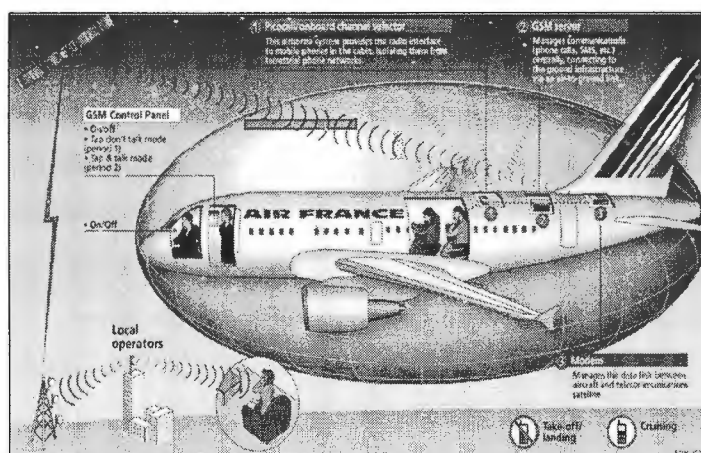
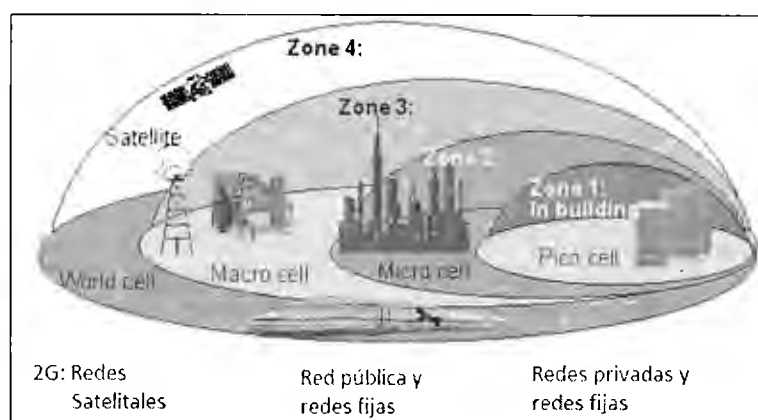


Figura 3.20 - Picocelda instalada en avión [XI]



**Figura 3.21 - Picocelda en interiores [XI]**

Como vemos en las dos figuras anteriores las picoceldas dan servicio de corto alcance y de poca capacidad utilizadas en ambientes de poca demanda como las picoceldas instaladas en los aviones.

El cliente debe tener una conexión a internet con al menos 2Mbits para que funcione el equipo.

### 3.2.2 Femtoceldas

Una femtocelda es una estación base en miniatura, que se integra con la red móvil mediante una conexión de banda ancha, generalmente ADSL. Cuando el usuario está dentro de la cobertura de la femtocelda puede acceder a la red móvil [54].

Cuando el usuario está dentro de la cobertura de la *femtocelda* puede acceder a la red móvil. La ventaja es clara en aquellas zonas donde la cobertura de las celdas ordinarias es mala o insuficiente, por ejemplo en zonas rurales e interiores, como podemos observar en la figura 3.22 Si se compara con otras fórmulas de convergencia fijo móvil, como la que utilizan terminales duales (3G + Wi-Fi). Las *femtoceldas* se caracterizan por emplear un terminal normal 3G [XI]. Se debe contar con un enlace de 20Mbits para que funcione el equipo.

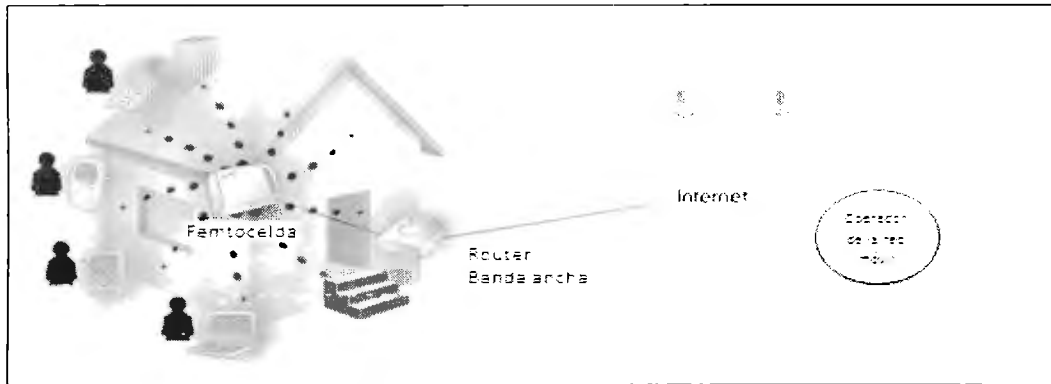


Figura 3.22 - Ejemplo de Femtocelda en interiores [XI]

### 3.3 Sistema de Antenas distribuidas (DAS)

Por sus siglas DAS (*Distributed Antenna System*) es un conjunto de elementos pasivos y activos (descritos en el capítulo anterior) que de acuerdo a las fases descritas: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización y operación. Esto determinará su implementación y puesta en marcha en las diferentes aplicaciones tales como: edificios, túneles, sistemas metro, minas, etc., para dar cobertura de acuerdo a las necesidades de los operadores. La figura 3.23 es una representación general de un DAS dentro de un edificio.

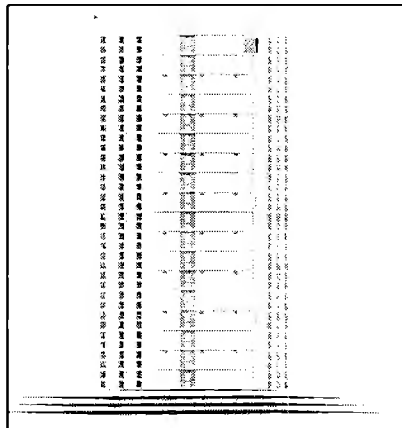


Figura 3.23 Sistema DAS activo en edificio [IV]

### **3.3.1 Clasificación de los sistemas**

Dependiendo del levantamiento, que nos arrojará información necesaria para determinar espacios asignados, lista de materiales, presupuesto del proyecto, opciones de equipos a utilizar, se tendrá la posibilidad de tomar la determinación si se implementa un sistema pasivo, activo o híbrido, si se tiene un caso de negocio que podrá tener un retorno de inversión de acuerdo a la cantidad de usuarios y clientes corporativos en el inmueble.

De acuerdo a la determinación de la información obtenida en el levantamiento se tiene la posibilidad de decidir si se implementa cualquiera de las siguientes opciones:

#### **3.3.1.1 Sistema Pasivo**

Es el sistema que compuesto por elementos pasivos tales como divisores, *splitters*, cable y antenas entre otros. Este sistema puede ser alimentado con una antena donadora y un repetidor o por una BTS's o Nodo B, en la actualidad se están instalando sistemas de esta forma ya que las BTS's han evolucionado a elementos m como mochilas que pueden estar instaladas de forma remota por fibra óptica en diferentes ubicaciones en el edificios, de esa localidad se puede distribuir por medio del sistema pasivo en varios pisos del inmueble. Sin embargo cuando se pretende instalar varias tecnologías y frecuencias no es la mejor opción, también se debe considerar crecimientos futuros o adiciones de tecnologías.

No se puede decir que un sistema pasivo sea una mala elección, un buen diseñador sabrá cuándo utilizarlo.

➤ Ventajas de un sistema pasivo:

- a) Puede ser instalado en medios ambientes poco favorables.
- b) Los diseños no son complicados.
- c) Componentes de diferentes proveedores pueden ser compatibles.

➤ Desventajas de un sistema pasivo:

- 1) No se puede monitorear.
- 2) No es flexible para aumentos de tecnologías o actualizaciones.
- 3) Altas pérdidas degradarán la calidad de los datos.
- 4) Es difícil balancear las señales en todas las antenas o tener niveles de cobertura uniformes.
- 5) Es necesario alimentarlo de BTS's o nodo B de alta potencia.

Los sistemas pasivos fueron ampliamente utilizados en sistemas GSM (2G), sin embargo para sistemas 3G y 4G los sistemas activos proporcionan el mejor desempeño en el enlace de radio y mayores velocidades de datos [IV].

### 3.3.1.2 Sistema Activo

El sistema activo es aquel que cuenta con una antena donadora o una radiobase como fuente de la señal, y para ser recibida, transmitida y combinada por medio de una unidad maestra (descrita en el capítulo anterior) cable coaxial y fibra óptica y en distintos puntos determinados de acuerdo al diseño se utilizarán equipos remotos para que la señal a ser distribuida llegue a distintos puntos del inmueble utilizando antenas omnidireccionales o direccionales para interiores.

Un sistema activo compensará la pérdida de los cables, *splitters*, etc. por medio de calibración interna y amplificadores, esto dará como resultado tener una señal uniforme en el edificio, este se puede monitorear en su totalidad, así que los problemas pueden ser detectados y reparados en algunas ocasiones hasta de forma remota, puede soportar una banda por operador, múltiples bandas o multi-operador con múltiples bandas.

Un sistema activo puro tiene muchas ventajas para la señal hacia arriba (UL), teniendo la primer señal hacia arriba (UL) en el remoto RU sin pérdidas hacia la estación base.

Un sistema activo puro requiere de -10dBm de potencia de entrada, así que no será necesario instalar radiobases grandes y costosas, una mini estación es suficiente, inclusive puede combinarse la potencia para dar servicio a la red macro, sin embargo se debe realizar un estudio de tráfico potencial para determinar la capacidad o número de radiobases necesarias.

Para el caso de sistemas multi-tecnología se debe diseñar de acuerdo al dominante más pequeño, por ejemplo para un sistema que soportará GSM, UMTS y WiMax para un radio de cobertura de GSM=24m, UMTS=21m, WiMax = 10m, se deberá diseñar de acuerdo a los requerimientos de WiMax.

➤ Componentes de un sistema activo de fibra:

- Unidad Maestra compuesta por módulo receptor BIU, módulo combinador y distribuidor de fibra FOI/ POI.
- Equipos Remotos ópticos o RF: Receptor de señal óptica que la convertirá a RF amplificando la señal, en el mercado se encuentran equipos con potencias desde 21 dBm hasta 20 Watts.
- Antenas: Recibirán la señal y será radiada
- Elementos pasivos: diplexores, *splitters*, *tappers*, *jumpers*, cable, conectores, etc.

Se puede hacer una cadena de repetidores ópticos para cubrir distancias grandes, esta solución se utiliza en túneles, minas, sistemas metro, carreteras.

Dentro de los sistemas activos existe un tipo específico conocido como soluciones HVAC, en este tipo de soluciones se deberá utilizar el sistema de aire acondicionado de los edificios, ahorra un 60% de los costos de instalación ya que



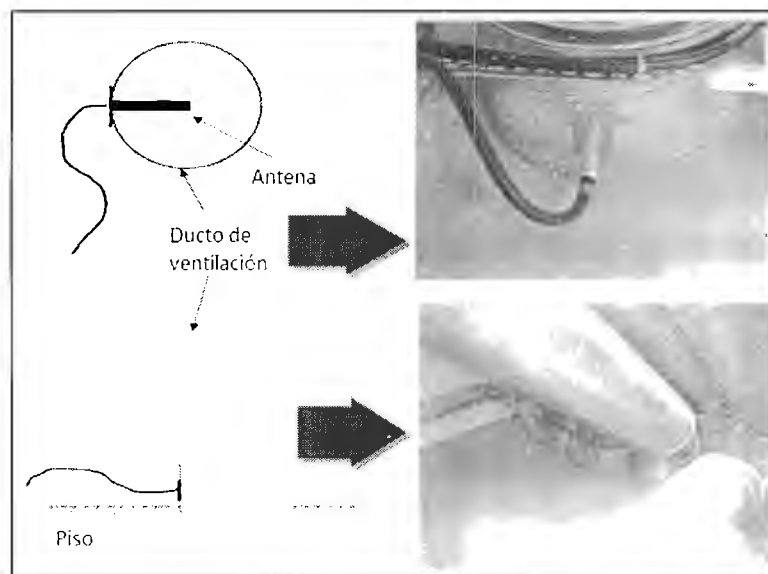
la guía de onda será el sistema de aire acondicionado ya instalado en el edificio como se puede observar en las figuras 3.24 y 3.25.



**Figura 3.24 - Ductos de aire acondicionado [X]**

El sistema HVAC se realiza instalando antenas directamente en los ductos de aire acondicionado, los ductos van hacia todas las partes del edificio, la implementación es rápida, fácil y no se interrumpe el trabajo de los habitantes del edificio, por lo general se puede trabajar en horario de oficinas, esto representa menores costos en la instalación.

La señal de RF se propaga de forma eficiente por los ductos metálicos y/o difusores.



**Figura 3.25 - Sistema HVAC [X]**

### **3.3.1.3 Sistema Híbrido**

Es una combinación entre el sistema activo y pasivo, se utilizan remotos de alta potencia, cable de fibra óptica y cable coaxial. El consumo eléctrico puede ser alto, ya que cada remoto requiere alimentación, mayor número de puntos de falla.

Las aplicaciones más comunes para el sistema híbrido son túneles o sistemas multioperador donde la potencia compuesta de RF de las unidades remotas deberá ser compartida por muchos canales.

### **3.3.2 Reglas generales para sistemas en interiores**

Especialmente para redes 3G y 4G se recomienda la instalación de un DAS en edificios corporativos, aeropuertos, centros comerciales y para ello se deben tomar las siguientes consideraciones [B]:

1. Aislamiento: Es definido como la diferencia entre la señal del interior y la del exterior y viceversa. Las oficinas de los altos ejecutivos por lo general están ubicadas cerca de las ventanas por lo que la señal dominante debe ser la interior, debe ser tomada en cuenta cuando se haga el diseño. En los casos donde se hayan instalado ventanas entintadas las cuales ayudan a aislar la señal del interior.
2. Niveles altos de interferencia en edificios altos. Se llegan a recibir señales de radiobases cercanas o lejanas (red macro) creando altos niveles de interferencia. Es importante tomar en cuenta que en algunos casos se deberá optimizar los sitios adyacentes al inmueble para no sobre-diseñar el sistema DAS.
3. En caso que el edificio sea muy grande y la capacidad necesaria en el edificio, se puede dividir en varias zonas de cobertura o sectores.
4. En la mayoría de los casos la instalación representa de un 40 a 60% de los costos totales del proyecto, por ello es conveniente que esta infraestructura sea compartida por varios operadores y servicios.

5. Se deben realizar pruebas de *walk test* para verificar que la cobertura esté de acuerdo al diseño y ajustar el modelo para optimizar la red interior.
6. Operación y mantenimiento. Se debe considerar que la mayoría de los sistemas DAS se instalan en edificios grandes, así que el monitoreo de dichas redes es un punto muy importante a ser considerado para poder detectar los problemas y corregirlos en tiempo y forma.

### **3.3.3 Procedimiento para toma de decisión de instalar un DAS**

El tráfico de datos se genera dentro de los edificios, en las grandes ciudades el 50% se genera en edificios y de ese porcentaje el 10% se genera en un tipo específico de edificios, estos edificios son referidos como huecos de señal (*hot-spots*) y pueden ser centros comerciales, aeropuertos y edificios de oficinas corporativas.

Lo primero y más importante para tomar la decisión es armar un caso de negocio antes de considerar el invertir en un sistema DAS, el operador debe utilizar herramientas estandarizadas para ello y métricas para calcular la utilidad monetaria por usuario en diferentes, segmentos y aplicaciones.

Para las tecnologías de 3G y 4G el PLPU es un factor importante ya que la potencia de la señal hacia abajo (*downlink*) en la radiobase está directamente relacionada a la capacidad, y si el PLPU es alto le quitará capacidad a la radiobase, esto se deberá considerar en el diseño para poder servir a los usuarios en interiores.

Si se instala un sistema DAS para los servicios 3G y 4G el PLPU será mejor ya que la radiobase no tendrá que luchar contra las pérdidas de penetración del edificio (20-50 dB), si no existe un sistema DAS la señal dependerá de las refracciones degradando la ortogonalidad de la señal.

El costo de producción de la llamada por minuto (CM) o Megabits (Mb) en 3G o 4G puede bajarse en un 50-70% utilizando un sistema DAS [T].

Aun con una cobertura de la macro y niveles en interiores de -65dB existen zonas en el edificio donde los usuarios no pueden utilizar los servicios, por ejemplo estacionamientos, elevadores, etc. Además de los niveles de señal, la capacidad es un punto importante a considerar, principalmente en inmuebles con alta concentración de usuarios [B].

Antes de tomar la decisión de invertir en un sistema DAS, se debe contestar las siguientes preguntas para tomar la decisión:

1. ¿La inversión hará un caso de negocio positivo?
2. ¿En cuánto tiempo se calcula el retorno de inversión?
3. El sistema seleccionado, ¿Considera aplicaciones futuras?
  - a. Mayores velocidades
  - b. Nuevos servicios
  - c. Nuevos operadores o tecnologías
  - d. Mayores capacidades
4. El sistema seleccionado ¿considera cambios futuros en el edificio?
  - a. Reconstrucciones
  - b. Extensiones en el edificio
5. ¿Existen problemas de saturación en la red macro?
6. ¿Cuáles son las razones estratégicas para proveer de cobertura?
7. Considerando edificios corporativos, ¿Existen cuentas importantes, los usuarios necesitan mayores capacidades, calidad, mayores velocidades?

Las redes 3G y 4G demandan planeación de red que considere sistemas en interiores.

Posterior de la evaluación y resolución de los puntos mencionados anteriormente se deberá proceder a llevar a cabo las 6 fases a detalle como se

describe más adelante en este documento, estas fases son: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, programación del equipo y optimización, y operación y mantenimiento para obtener un sistema DAS en óptimas condiciones.

### **3.3.4 Fases para implementar un sistema DAS**

La implementación de un sistema DAS está dividido en 6 fases principales:

1. Levantamiento
2. Diseño
3. Aceptación
4. Implementación
5. Optimización
6. Operación

#### **3.3.4.1 Levantamiento**

El levantamiento es la actividad en la cual se recolecta la información en planos, con equipo de medición y que se verificará de forma visual para poder tener la información completa. Con esta información se elabora un diseño que contemple la mayoría de los problemas u obstáculos para la implementación. Si se realiza un buen levantamiento las fases de diseño e implementación serán más fáciles y sin tantas modificaciones, se deben recopilar datos del inmueble, espacios para colocar los equipos, trayectorias del cableado, posición de antenas, etc. La inspección del edificio debe considerar la siguiente información:

- Planos con escala y legibles (preferiblemente en AUTOCAD)
- Niveles de RSSI en el exterior (mapa)
- Puntos de penetración macro (Planos)
- Ubicación de cuartos técnicos (Planos)

- Detalles de construcción (Planos)
- Opciones para la ubicación de la BTS (Planos)
- Necesidad de instalar escalerillas o *conduit*
- Posibles trayectorias (Planos)
- Opciones de instalación de antenas (Planos)

El equipo que se debe utilizar:

- Cámara fotográfica
- Planos impresos
- Apuntador láser para medir distancias o cinta métrica

En el levantamiento es conveniente que personal con experiencia de las áreas de diseño e implementación estén presentes para poder tomar decisiones o hablar con el representante del inmueble respecto a dudas en posibilidad de trayectorias o posición de antenas.

Una de las herramientas que existen en el mercado para el levantamiento es la denominada "*iBwave Mobile*" que nos permite hacer anotaciones (*pin point*), para concentrar toda la información del proyecto en una tableta o teléfono inteligente adicionando texto, fotos, videos y audio directamente en los planos del edificio.

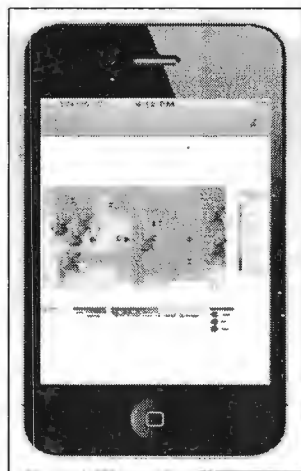


Figura 3.26 - Anotaciones en plano [II]

La herramienta funciona si se cuenta con licencias del programa iBwave. El procedimiento para usarla es bajar la aplicación en el dispositivo (tableta, teléfono inteligente) utilizando el módulo "Unity" que nos permitirá guardar planos, fotos, notas, etc. en tiempo real utilizando una conexión de internet o de 3G.



Figura 3.27 - Detalle de anotaciones [II]

Cada anotación *pin point* sobre una foto, plano, dibujo, etc., tendrá un detalle que podrá ser explicado y enviado a los diseñadores para que se comience el diseño con datos tomados en campo.

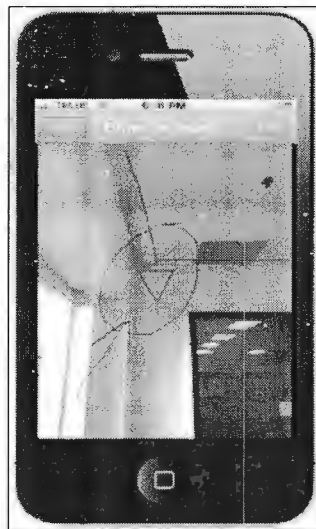


Figura 3.28 - Dibujos sobre fotos de ubicación de equipo a instalar [II]

Los dibujos sobre fotos, planos y comentarios pueden ser enviados en tiempo real a arquitectos, operadores, diseñadores para su aprobación y no se perderá tiempo en múltiples visitas [IX].

Dentro del procedimiento de Levantamiento se debe llevar a cabo la recolección de niveles de señal y parámetros de calidad *walk test*. Es el procedimiento por el cual se toman las mediciones de los parámetros de las tecnologías seleccionadas para recolectar datos de RF de los niveles del exterior y medio ambiente.

Para poder realizar mediciones, pruebas de cobertura, pruebas de servicio, pruebas de calidad en voz y datos *Indoor* y *Outdoor*, es necesario contar con un equipo de medición capaz de traducir lo que la interfaz (teléfono celular) entre la red y el usuario puede ver en el sistema de red celular, en el sistema de radio y calidad de servicios.

Existen varios proveedores dedicados a esta tarea, pero solo mostraremos dos equipos que proporcionan lo necesario para controlar y solucionar con más facilidad problemas en los servicios de la red celular y problemas en el sistema de la red celular. Entre las herramientas de medición tenemos:

- Equipo de medición TEMS INVESTIGATION de fabricante ASCOM
- Equipo de medición JDSU DATA COLLECTOR de fabricante Anritsu.
- ZK Cell Test (no se instala en computadora, es un dispositivo autónomo)

Estos tres equipos, son herramientas robustas que permiten probar servicios y visualizar de manera entendible o descifrada la comunicación entre un móvil y la red celular de antenas llamadas Radio bases, así como la comunicación desde y hacia las centrales celulares.

TEMS INVESTIGATION y JDSU son instalados en una computadora portátil con la posibilidad de realizar recorridos para recolectar datos que permitan la prueba y visualización de los servicios en una red. Interactúan con un teléfono



celular (*handset*) que el mismo proveedor recomienda para pruebas de voz, así como el tipo y características necesarias para lograr la comunicación con el software.

Los dispositivos recomendados por los proveedores para realizar las pruebas de voz son los siguientes:

- TEMS INVESTIGATION: Sony Ericsson W995 y Sony Ericsson Xperia para tecnología GSM y UMTS, Samsung Galaxy SIII para LTE y Samsung Omnia para CDMA.
- JDSU: Nokia N85 para GSM y UMTS y Motorola 1km para CDMA
- ZK: LG CU720 para GSM y UMTS, Motorola i617 para iDEN y Motorola V3m para CDMA.

Estas herramientas también son capaces de realizar pruebas de datos con una Datacard recomendada por el proveedor y proporcionar la misma información de señalización y comunicación que para voz. Para el caso de datos el proveedor recomendado es Sierra Wireless para Huawei para la tecnología HSPA y Novatell para tecnología EVDO.

Estos equipos permiten configurar el tipo de prueba a realizar, así como el servicio a probar de un operador existente. Se configura por tecnología a medir y tiene la capacidad de poder visualizar las diferentes tecnologías necesarias a la misma vez y en tiempo real, siempre y cuando se cuenten con las licencias necesarias para poder ver todas las tecnologías que el mismo proveedor vende a excepción del equipo ZK Cell Test.

La información obtenida en cada equipo de medición es la siguiente:

- a) ZK Cell Test: Proporciona información de capa 3 de comunicación de forma gráfica, con se pueden visualizar y tomar muestras de intensidad de señal, intensidad de ruido en el sistema, intensidad de transmisión del *handset*, realización de pruebas de voz y datos, detección de eventos fallidos como accesibilidad y rentabilidad en el sistema.

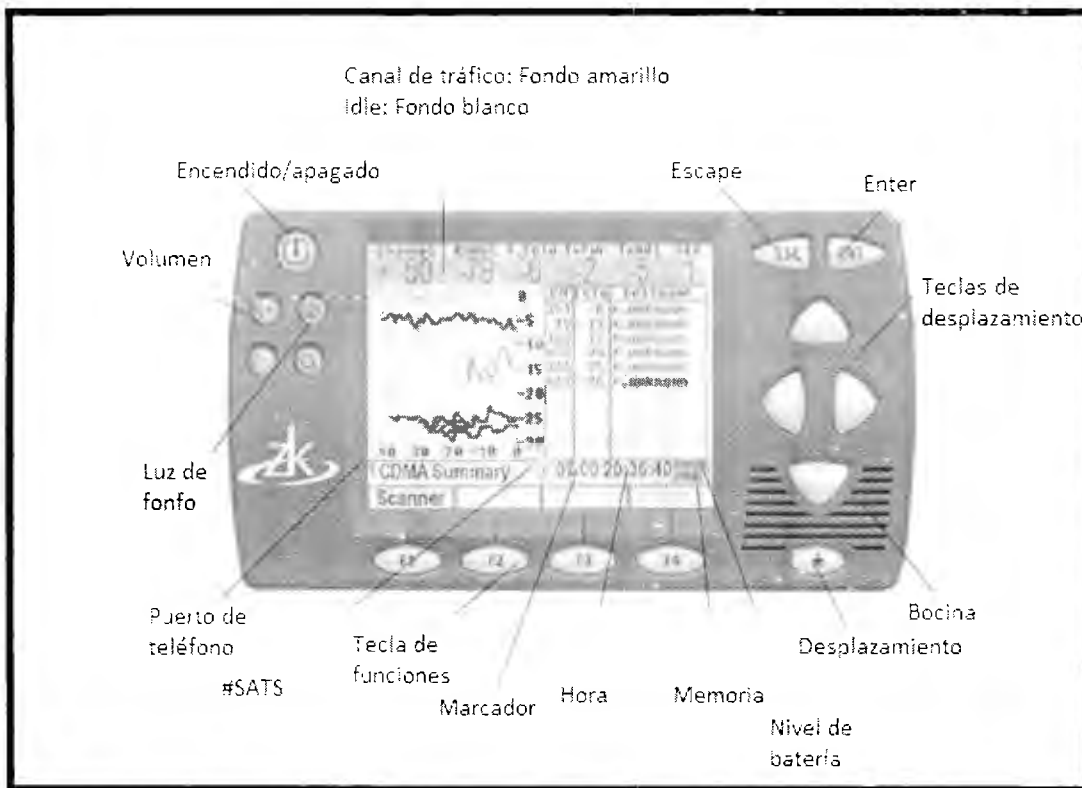
- b) TEMS INVESTIGATION ASCOM: Proporciona información de todas las capas de comunicación en el sistema, se puede visualizar en tiempo real intensidad de señal, intensidad de ruido en el sistema, intensidad de transmisión del *handset*, velocidades de transferencia de datos, parámetros de calidad para voz y datos, realización de pruebas de voz y datos, detección y análisis en tiempo real de eventos fallidos y problemas de accesibilidad y rentabilidad en el sistema.
- c) JDSU DATA COLLECTOR Anritsu: Proporciona información de todas las capas de comunicación en el sistema, se puede visualizar en tiempo real intensidad de señal, intensidad de ruido en el sistema, intensidad de transmisión del *handset*, velocidades de transferencia de datos, parámetros de calidad para voz y datos, realización de pruebas de voz y datos, detección y análisis en tiempo real de eventos fallidos y problemas de accesibilidad y rentabilidad en el sistema.

A continuación se muestra un ejemplo de configuración del equipo TEMS INVESTIGATION, JDSU DATA COLLECTOR y ZK Cell Test.

➤ ZK Cell Test

El ZK-MPS es un equipo de medición, sencillo de utilizar para personas que están familiarizados con el drive test, sirve para pruebas en interiores y exteriores. Permite monitorear de diferentes tecnologías a la vez, al recolectar información para post-proceso posterior. Entre las tecnologías que soporta se encuentra: EAMPS, CDMA, GSM, iDEN, CDMA 2000, EVDO, GPRS/EDGE, UMTS, HSPA y LTE. Es un equipo portátil al permitir el intercambio de baterías y memoria para realizar una gran cantidad de pruebas.

La interfaz depende de la tecnología que se está trabajando pero básicamente consiste en una pantalla donde se pueden observar los valores de los parámetros que están siendo adquiridos por el equipo. Esta interfaz se puede observar en la figura 3.29.



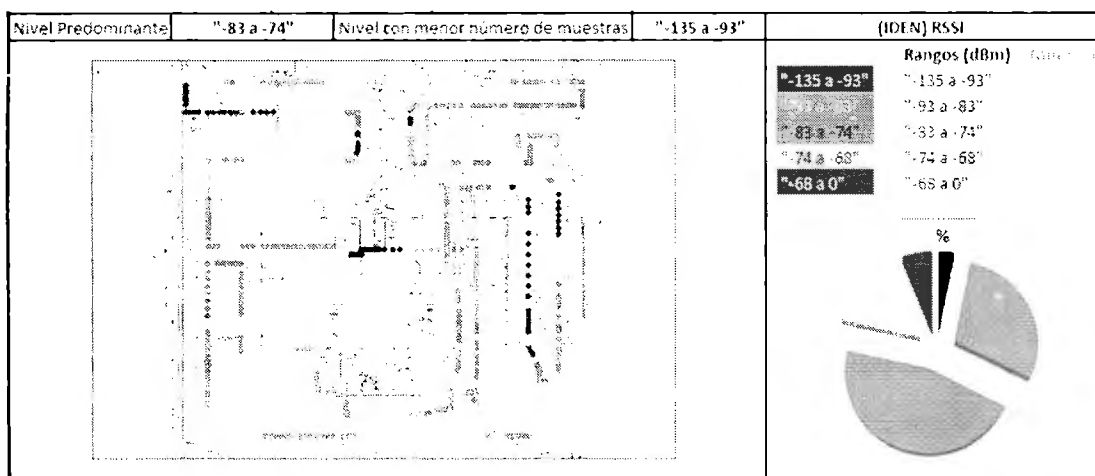
**Figura 3.29 - Pantalla del equipo ZK Cell Test [IX]**

El procedimiento a seguir para realizar un WT es el siguiente:

1. Encender ZK una vez conectada la batería y la consola portátil.
2. Verificar la conexión y comunicación correcta con el software en la pantalla de equipo.
3. Programar la tarea a realizar, si es llamada de voz o prueba de datos. Esto se realiza en la ventana de tareas dentro de la configuración de cada *handset* conectado en los 4 puertos USB disponibles.
4. Poner en marcha la prueba con opción inicio.
5. Con las flechas navegadoras se puede pasar de diferentes pantallas para visualizar los niveles de señal y las señalizaciones de manera gráfica y descriptiva.

6. Elegir agregar MAPA INDOOR para poder adicionar una imagen o mapa del inmueble o zona a probar esto debe ser en formato bmp.
7. Dentro de la pestaña de mapa si no se cuenta con GPS se puede indicar la posición con la opción ok de las flechas navegadoras de la pantalla de visualización del equipo.
8. Con esto se puede iniciar un recorrido en el cual se debe ir posicionando con las flechas navegadoras la posición correcta dentro del mapa y este reproducirá en pantalla el recorrido acorde a los niveles de señal seleccionados.

Después de recolectar la información se debe analizar. Se post proceso de la información para posteriormente analizar los parámetros de calidad KPI (*key performance indicators*). Algunos parámetros son: Calidad de señal: RSSI (iDEN y CDMA) como lo muestran las figuras 3.30 y 3.31.



**Figura 3.30 - Información post procesada: RSSI (iDEN) [IX]**

La imagen 3.30 muestra un recorrido realizado en un piso donde nos muestra los niveles de RSSI de -60 hasta -115dBm. El nivel de RSSI se diferencia por colores y podemos condensar la información en gráfica para su análisis como se muestra en la siguiente imagen:

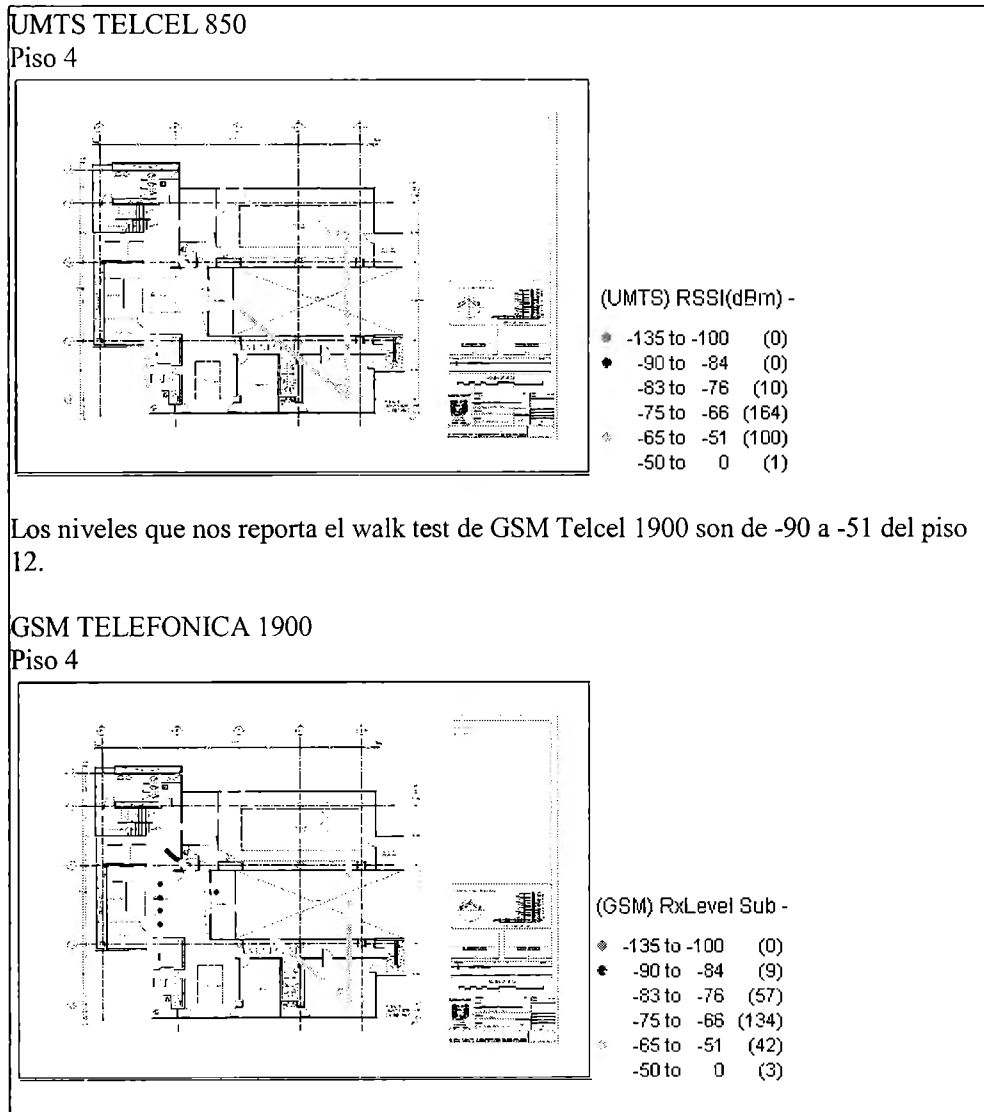


Figura 3.31 - Niveles de señal RSSI (UMTS) y RxLevel (GSM) [IX]

Al igual que para la tecnología iDEN el equipo ZK nos permite recolectar información de nivel de recepción para GSM (RxLevel) y UMTS (RSCP), ambos medidos en dBm. De igual forma se puede condensar la información en gráfica para su análisis y tomar como referencia para el diseño del sistema DAS como lo muestra la siguiente figura.

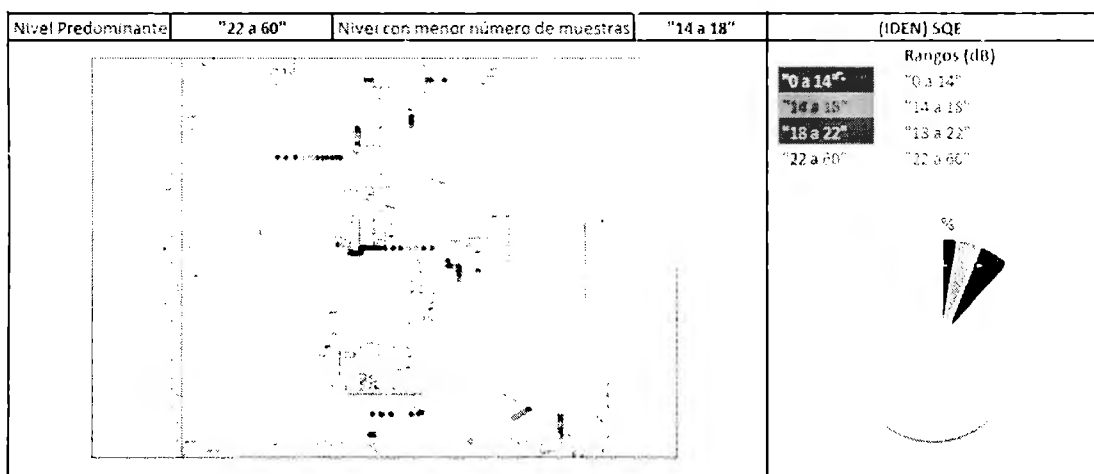


Figura 3.32 - Niveles SQE (iDEN) [IX]

Después de analizar la información: niveles de RSSI e interferencia, pilotos, etc. como podemos observar en las figuras ejemplo para iDEN y GSM 3.30, 3.31 y 3.32, se deberá determinar los niveles con los que se deberá diseñar el sistema, tabulando y determinando el exponente de *Path Loss*.

#### ➤ TEMS INVESTIGATION

El procedimiento para realizar un WT con TEMS INVESTIGATION es el siguiente:

1. Abrir software TEMS INVESTIGATION data collector con la licencia correspondiente ingresada en algún puerto USB de la computadora portátil.
2. Conectar teléfonos (*handsets*) de prueba en los puertos adicionales.
3. Verificar la conexión y comunicación correcta con el software en la ventana de configuración de equipo.
4. Programar la tarea a realizar si es llamada de voz o prueba de datos. Esto se realiza en la ventana de *command sequence*.
5. Poner en marcha la prueba.
6. Abrir las ventanas correspondientes a visualizar para la prueba. Por ejemplo para visualizar la señalización el TEMS cuenta con una pestaña inferior (*signaling*) que nos proporciona la información de comunicación en las diferentes capas. Los niveles de señalización se obtienen del ícono

superior *presentation* en el despliega toda la información de tecnologías que se podrán analizar de acuerdo a la licencia con que se cuente. Elegir la tecnología y abrir la opción de *servicing + neighbor* y mostrara todos los niveles de señal recibida así como la interferencia o ruido en el sistema. Mostrará también la cantidad de servidores atendiendo el servicio y el canal de comunicación que proporciona el servicio. Con esto se puede observar la calidad en los servicios de la red celular como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 3.33 – Parámetros desplegados en TEMS INVESTIGATION [IX]**

7. En la pestaña inferior del TEMS se elige MAP para poder adicionar una imagen o mapa del inmueble o zona a probar esto debe ser en formato bmp.
8. Dentro de la pestaña de mapa si no se cuenta con GPS se puede indicar la posición con la opción POINT que se muestra como un alfiler de icono.
9. Siguiendo todos los pasos anteriores se puede iniciar un recorrido en el cual se debe ir posicionando con el *point* la posición correcta dentro del mapa y este reproducirá en pantalla el recorrido acorde a los niveles de señal seleccionados. Los parámetros mostrados durante un recorrido se pueden visualizar en la siguiente imagen:





Figura 3.34 – Comportamiento de parámetros en *walk test* con TEMS INVESTIGATION [IX]

#### ➤ JDSU DATA COLLECTOR

El procedimiento para realizar un WT con JDSU DATA COLLECTOR es el siguiente:

1. Abrir software JDSU con la licencia correspondiente ingresada en algún puerto USB de la computadora portátil.
2. Conectar *Handsets* de prueba en los puertos adicionales.
3. Verificar la conexión y comunicación correcta con el software en la ventana de configuración de equipo.
4. Programar la tarea a realizar si es llamada de voz o prueba de datos. Esto se realiza en la ventana de propiedades.
5. Poner en marcha la prueba con ícono RUN en vivo.
6. Abrir las ventanas correspondientes a visualizar para la prueba. Por ejemplo para visualizar la señalización el TEMS, cuenta con una pestaña inferior (*signaling*) que nos proporciona la información de comunicación en las diferentes capas. Los niveles de señalización se obtienen del ícono superior "*presentation*" en el despliega toda la información de tecnologías que se podrán analizar de acuerdo a la licencia con que se cuente. Elegir la tecnología y abrir la opción de *servicing + neighbor* y mostrara todos los

niveles de señal recibida así como la interferencia o ruido en el sistema. Mostrará también la cantidad de servidores atendiendo el servicio y el canal de comunicación que proporciona el servicio. Con esto podemos observar la calidad en los servicios de la red celular.

7. En la pestaña superiores del JDSU elegiremos MAP INDOOR para poder adicionar una imagen o mapa del inmueble o zona a probar esto debe ser en formato bmp. Esto se visualiza en la siguiente figura.



**Figura 3.35 – Visualización de mapa en JDSU [IX]**

8. Dentro de la pestaña de mapa si no se cuenta con GPS se puede indicar la posición con la opción POINT que se muestra como un ancla de icono.
9. Siguiendo todos los pasos anteriores se puede iniciar un recorrido en el cual se irá posicionando con el *point* la posición correcta dentro de nuestro mapa y este reproducirá en pantalla el recorrido acorde a los niveles de señal seleccionados. La información del recorrido se puede observar en la imagen siguiente.

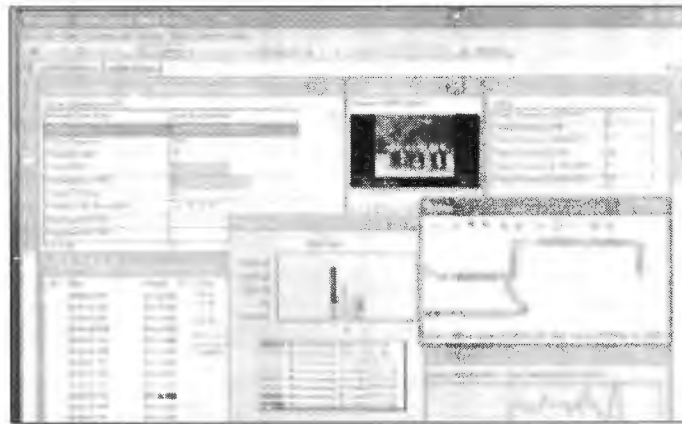


Figura 3.36 – Comportamiento de parámetros en *walk test* con JDSU [IX]

Estas herramientas de medición así como la información recolectada por los teléfonos (*handset*) por tecnología, es información indispensable para conocer la intensidad de señal de los operadores que proviene del exterior y con la cual se tendrá que competir garantizando un diseño en donde los niveles de cobertura dentro del inmueble sean mayores que la del exterior.

#### 3.3.4.2 Diseño

El primer paso después de analizar la información obtenida en la fase de Levantamiento se tendrá que seleccionar el tipo de solución a implementar.

Para hacer un buen diseño será necesario hacer una evaluación de la red considerando los siguientes puntos:

1. Desarrollo de la cobertura
2. Mejora de la cobertura (por medio de un DAS)
3. Mejora de la capacidad (por medio de un DAS y una BTS o nodo B)
4. Verificación de cobertura y estrategia del operador en sus redes 2G, 3G y 4G.

Existen varias opciones a seleccionar para instalar un sistema DAS en un edificio, el objetivo principal debe ser obtener niveles de señal distribuidos de

forma uniforme. Cada una de las opciones tiene ventajas y desventajas, dependerá de cada proyecto en particular.

Se debe seleccionar el sistema que pueda proporcionar la mayor potencia en la señal de bajada (*downlink*) en el punto de la antena, la menor figura de ruido, menores pérdidas en la señal hacia arriba (*uplink*), cobertura uniforme y buen aislamiento de la red macro. Todo esto sin dejar de lado el tiempo y costo de instalación, del equipo así como futuros crecimientos en capacidad, tecnologías y operadores, espacios en el edificio, facilidades de alimentación eléctrica, instalación de escalerillas necesarias para poder conducir los cables hacia los remotos o antenas.

El presupuesto juega un papel muy importante en la decisión del sistema a instalar, como fueron mencionados en los puntos anteriores se puede seleccionar entre las siguientes opciones:

- Repetidores
- Picoceldas o femtoceldas
- Sistema DAS
  - Pasivo
  - Activo
  - Híbrido

#### ➤ Procedimiento de Diseño

El diseño en interiores es una labor que se debe realizar de forma profesional, llevando a cabo todos los pasos que se mencionan anteriormente, teniendo los datos obtenidos en el levantamiento, *walk test* (para revisar la señal de la macro), pruebas con transmisor (para revisar la propagación de una antena en el interior) y

con todos estos datos se debe hacer un diseño preliminar y lo más importante el cálculo de las pérdidas (*link budget*) [B].

Se deben considerar los principios de pérdida de espacio o *path loss* como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{FSPL (Free Space Path Loss)} = 36.6 + 20\text{LOG}_{10}(\text{D}/5280) + 20\text{LOG}_{10}(\text{F}) \quad \text{Ec (1) [B]}$$

Donde: **D**= distancia (ft.)

**F** = Frecuencia (MHz)

La pérdida de espacio en el caso de espacios en exteriores se ha determinado como se observa en la tabla 3.2:

Medio ambiente	Pérdida por trayectoria (n)
Espacio libre	2
Área urbana celular/PCS	2.7 a 4.0
Sombra urbana celular/PCS	3 a 5

Tabla 3.2 - Pérdidas de acuerdo al medio ambiente [III]

En el caso de interiores existe un exponente que se aplica de acuerdo a las circunstancias de frecuencia, materiales, distancia, etc. como se observa en la figura 3.37:

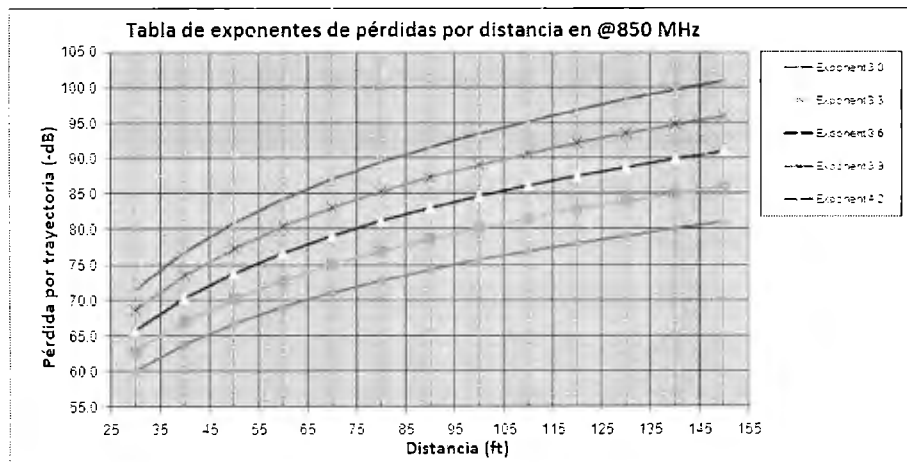


Figura 3.37 - Exponentes de pérdida en el espacio en interiores [18]

- Exponente 3.0: Medio ambiente abierto, bodegas, estacionamientos, centros de convenciones.
- Exponente 3.3: Medio ambiente semi-abierto oficinas semi-abiertas, centros comerciales, aeropuertos, etc.
- Exponente 3.6: Medio ambiente semi-denso oficinas nuevas, universidades, hospitales, hoteles, etc.
- Exponente 3.9: Medio ambiente denso edificios de gobierno antiguo, sótanos de hospitales y hoteles, etc.
- Exponente 4.2: Medio ambiente muy denso tales como refugios subterráneos, prisiones, bodegas, fábricas con superficies con mayores reflexiones.

Los exponentes de pérdidas por trayectoria "path loss" se observan en la tabla 3.3 y los más representativos a ser tomados en cuenta en interiores son [III]:

- Pérdidas por paredes: 10 dB a 15 dB
- Pérdidas por pisos: 12 dB a 27 dB

Construcción	Frecuencia (MHz)	n	6 dB
Tiendas al por menor	914	2.2	8.7
Tiendas de abarrotes	914	1.8	5.2
Oficina, pared gruesa	1500	3.0	7.0
Oficina, pared ligera	900	2.4	9.6
Oficina, pared ligera	1900	2.6	14.1
<b>Fábrica LOS</b>			
Textil/química	1300	2.0	3.0
Textil/química	4000	2.1	7.0
Papel/Cereales	1300	1.8	6.0
Metales	1300	1.6	5.8
<b>Casas Urbanas</b>			
Cubierta a la calle	900	3.0	7.0
<b>Fábrica OBS</b>			
Textil/química	4000	2.1	9.7
Metales	1300	3.3	6.8

Tabla 3.3 - Valores de propagación por frecuencia y medio ambiente [10].

La fórmula para calcular la pérdida y realizar el cálculo de pérdidas (*link Budget*) es la siguiente:

$$IBPL (In-Building Path Loss) = 36.6 + 10n \log_{10}(D/5280) + 20 * \log_{10}(F) \quad \text{Ec (2) [18]}$$

Donde: **D**= distancia (ft.)

**F** = Frecuencia (MHz)

**n** = Exponente *Path Loss*

Una vez instalado el sistema, se debe calibrar el modelo comparando los resultados de los *walk test* posteriores a la implementación y puesta en marcha, así como un análisis de ruido considerando posibles retrasos en la señal, como se puede observar en la figura 3.38 se debe hacer un análisis de las pérdidas y niveles que tienen las fibras desde la unidad maestra a los remotos [B].

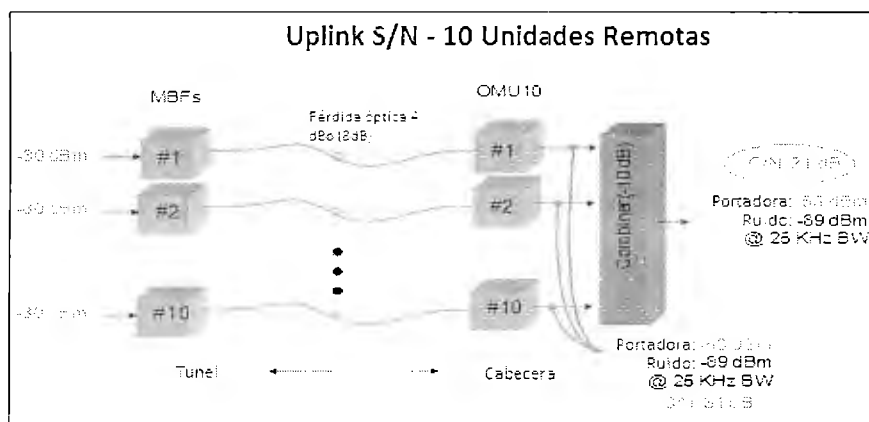


Figura 3.38 - Análisis de ruido en un DAS utilizando fibra [III]

➤ Herramientas de diseño

El uso de sistemas inalámbricos en interiores posee un gran reto en cuanto a diseño. El modelo básico de la propagación de ondas envuelve la llamada fuente de energía, viajando en todas direcciones en línea recta, llenando un volumen esférico de espacio con energía que varía en incremento de 20dB.

Idealmente el patrón de las ondas de radio debería ser directo, en la línea de vista (*line of sight*), sin reflexiones u obstrucciones entre la estación base y el móvil, sin embargo en el mundo real, especialmente en espacios urbanos y ciudades, la mayoría de las señales de RF son reflejadas o difractadas por el grupo (*clutter*) de los edificios, este fenómeno es llamado multitrayectoria (*multipath*) donde las señales se amplifican y se cancelan unas a otras, esta es la principal razón de la degradación ortogonal principalmente cuando se da servicio a usuarios en interiores de señales macro.

El diseño de redes celulares para interiores depende fuertemente de herramientas de apoyo que permitan hacer de este proceso uno más sencillo. Estas herramientas pueden ayudar a predecir de una manera más sencilla los aspectos referentes a la cobertura de la señal de radio así como el manejo de otros aspectos importantes como lo son los componentes, equipo y costos del proyecto de diseño

El uso de estas herramientas se puede convertir en un proceso complejo debido a la gran cantidad de información que hay que estar manejando y relacionando entre sí. El uso de programas con capacidades de integración que permita el manejo de varias herramientas sería de gran utilidad para la implementación de este tipo de proyectos.

Además de la utilización de herramientas se debe confiar en la experiencia de los diseñadores en RF para realizar menos cambios de último momento, la retroalimentación en tiempo real de los diseños es vital en la optimización de una red funcionando [T].



➤ Herramientas de dibujo de diagramas

Todos los diseños deben estar bien documentados, incluyendo los diagramas. Es esencial utilizar herramientas electrónicas de tal forma que permita almacenar y actualizar la documentación ya que las redes se optimizan y pueden cambiar.

Es recomendable tener un juego de diagramas del DAS en sitio, este debe contener todos los componentes y su ubicación en el edificio.

Es común que se utilicen herramientas simples y comunes en la elaboración de los diagramas. Los diagramas e ilustraciones pueden ser hechos usando Microsoft Visio es muy fácil de utilizar, y se puede crear fácilmente una plantilla propia que contiene los componentes del sistema DAS que se instalarán, para la aprobación de los operadores y dueños del edificio. Se puede también importar un formato del cuadro del plan de piso con el que se está trabajando, y dibujar componentes sobre él como lo muestra la figura inferior. Esto es un acercamiento muy fácil y puede ser útil si se hacen pocos diseños. Si se están diseñando sistemas en mayor escala, sería mejor considerar una herramienta más automatizada que pueda ayudar con el proceso total. Es común utilizar Auto CAD; esto puede ser ventajoso si se pueden conseguir los planos de piso en dicho formato.

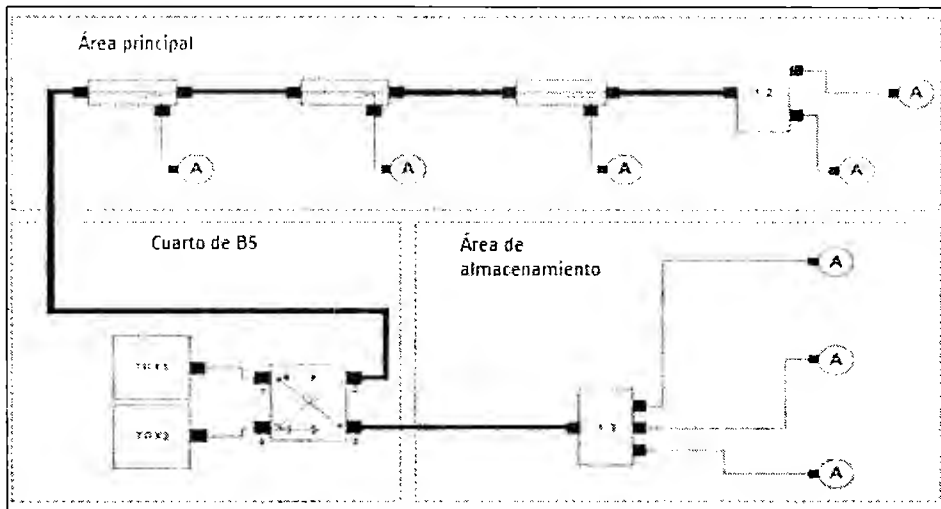


Figura 3.39- Diagrama DAS pequeño utilizando herramienta VISIO [IX]

➤ Programas de diseño

Existen algunas compañías que se encargan del desarrollo de este tipo de programas como lo son EDX, iBwave, entre otros. En el caso particular de los módulos iBwave, que fue utilizado para el desarrollo del caso presentado, este se caracteriza por sus capacidades de simulación, lo que permite una cierta automatización en el diseño, planeación y administración de la red inalámbrica interior así como de la predicción de su desempeño.

En el módulo de propagación existen diversos modos de predicción a escoger que van desde el *COST231* al 3D "*Dominant Path*", los cuales pueden ser evaluados para las diferentes bandas en varios formatos como mejor servidor, pérdidas de enlace o potencia de señal.

Se puede trabajar sobre de los planos en el diseño, el programa calcula automáticamente la cantidad de cable, pérdidas (*link budget*) y costos de instalación.

La herramienta es fácil de utilizar, ahorra muchos costos de planeación, y mantiene los errores al mínimo, debido a que toda la información está conectada,

si se actualiza un componente en el diagrama, el plano de piso, la simulación y las listas de equipo son actualizadas simultáneamente.

La opción de las herramientas que cada diseñador puede seleccionar debe ser relevante a sus necesidades individuales. Si se diseña solamente de tres a cinco proyectos de interior por año, puede ser que sea bueno utilizar las hojas de cálculo estándares para el cálculo de pérdidas y los programas de dibujo de diagramas simples para la documentación. Sin embargo, si se dedican a la planeación de radio de interior sobre una base y un diseño a tiempo completo en 20 o más sistemas por año, sería una buena inversión utilizar las herramientas automatizadas que pueden hacer el proceso de diseño más eficiente en costo y mejorar la calidad del trabajo.

Debemos recordar que para la documentación del diseño se debe también utilizar por otros participantes en el proyecto, así que toda la documentación debe ser clara y exacta. A continuación se presentan algunos ejemplos de herramientas básicas que pueden utilizarse [VIII].

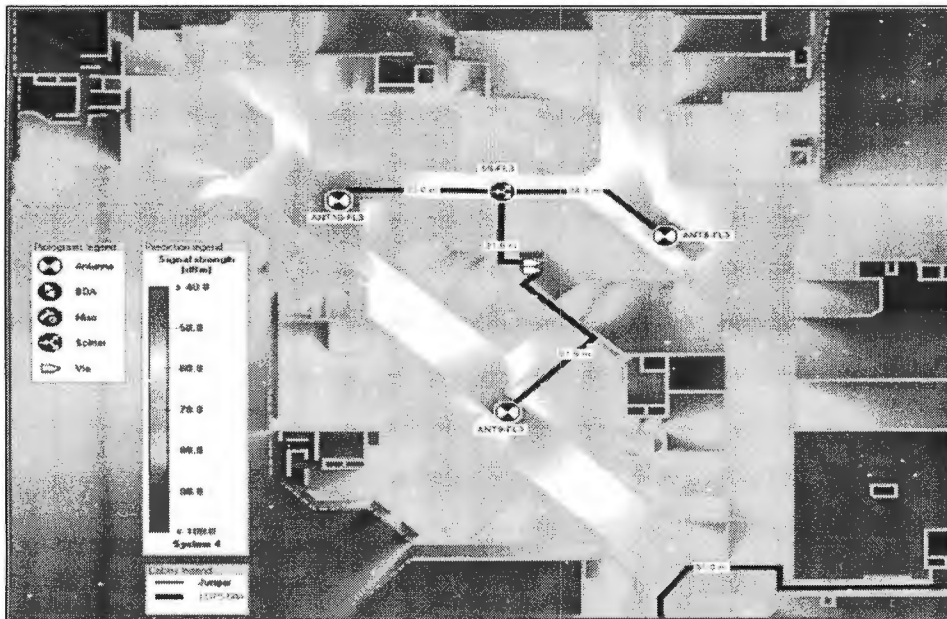
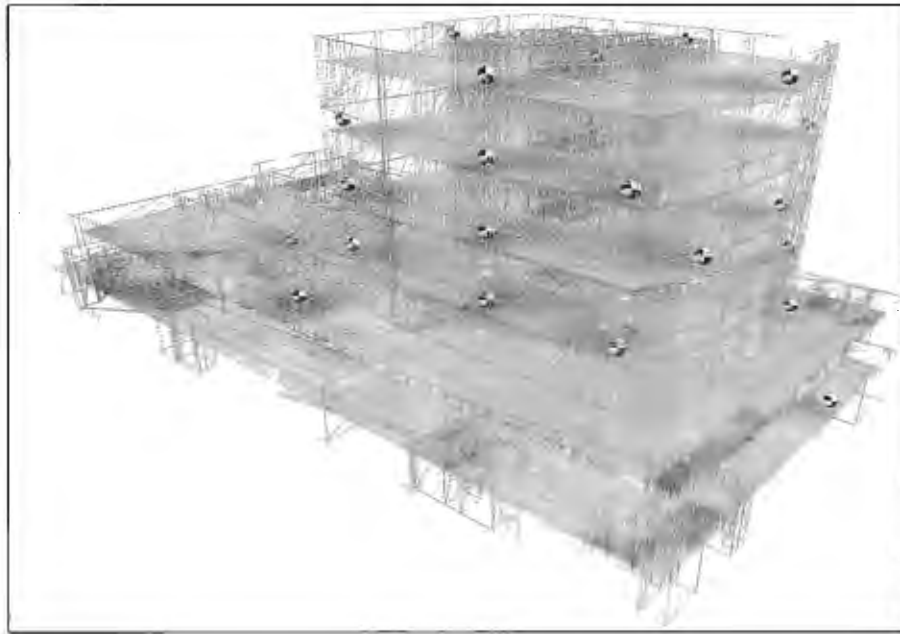


Figura 3.40 – Propagación normal en iBwave [IX]

Esta última imagen muestra la predicción de la propagación de las antenas colocadas de acuerdo a un diseño propuesto. La herramienta nos permite ver las leyendas de los parámetros mostrados así como los elementos utilizados en el diseño.



**Figura 3.41 - Propagación en tercera dimensión [IX]**

El módulo de Optimización sirve para poder hacer la comparación de comportamiento real vs el diseño, los niveles señal en el edificio especialmente cuando se tienen varias tecnologías en el edificio que puede representar un reto importante cuando se hace la optimización.

El diseño nos arroja dos documentos que servirán para las fases posteriores:

- Posición de equipos y trayectorias.

Este documento debe contener la posición de las antenas, equipo principal, equipos remotos y antenas así como la posición de la BTS (radiobase), este

servirá para negociar con los dueños del inmueble comprobando que las ubicaciones asignadas son factibles y aceptadas por las partes involucradas.

También serán definidas las trayectorias de la fibra óptica, utilización de escalerillas verticales, horizontales existentes o si se deberá instalar escalerilla, conduit extra que reflejará un costo importante en la implementación. Este documento deberá ser firmado por los involucrados.

➤ Propagación de RF

Este documento muestra las propagaciones por tecnologías a instalar para verificar que los niveles de señal sean los adecuados y definidos en el análisis de información de los “*walk test*” o “*drive test*” efectuados previamente.

➤ Implementación.

Éste contendrá la lista de materiales importante para cuantificar el proyecto, así como posición de los equipos (BTS, equipo principal, remotos, trayectorias de cable coaxial y fibra, así como las antenas y *splitters*). Será entregado al área encargada de hacer la implementación con la identificación de todos los equipos para su etiquetado, identificación y documentación [IX].

En general existen diversas herramientas usadas para el diseño de un DAS. En la siguiente tabla vemos la comparación de algunas herramientas usadas y lo que ofrece cada una de ellas.

	Facilidad de uso	Es visual	Simula propagación	Software Reconocido (inbuilding)	Precio
<b>EDX</b>	Muy fácil	NO	NO	POCO	MEDIO
<b>IBWAVE</b>	Medio	SI	SI	MUCHO	EXCESIVO
<b>Visio</b>	Muy fácil	SI	NO	POCO	ACCESIBLE
<b>Excel</b>	Muy fácil	NO	NO	NO	ACCESIBLE

**Tabla 3.4 – Comparativo de herramientas de diseño [III]**

Aunque iBwave es una herramienta excesivamente cara, es el único software en el mercado que nos permite simular la propagación y así tener un estimado del *link budget*.

### 3.3.4.3 Aceptación

Una vez que el diseño es aceptado se procederá a realizar una visita en el inmueble para negociar la posición de antenas, equipos, trayectorias de cableado, uso de escalerillas, normas de instalación, etc., esta tarea muchas veces es difícil de llevar a cabo ya que los arquitectos son muy cuidadosos del impacto visual que tendrán los equipos en el inmueble.

El documento entregado a los arquitectos del inmueble debe contener:

- ✓ Descripción del inmueble
- ✓ Descripción de solución
- ✓ Detalle y características de equipos a instalar
- ✓ Ubicación de equipos

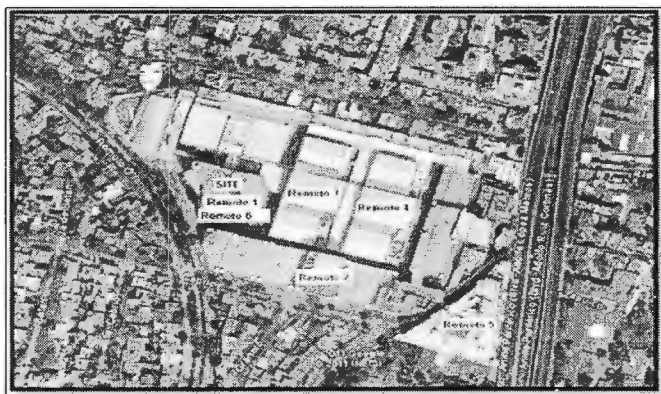


Figura 3.42 – Vista geográfica de la ubicación equipos [IX]

- ✓ Fotografías de ubicación de antenas



Figura 3.43 - Ubicación de antena en plafón [IX]

- ✓ Diagrama isométrico de trayectorias de fibra

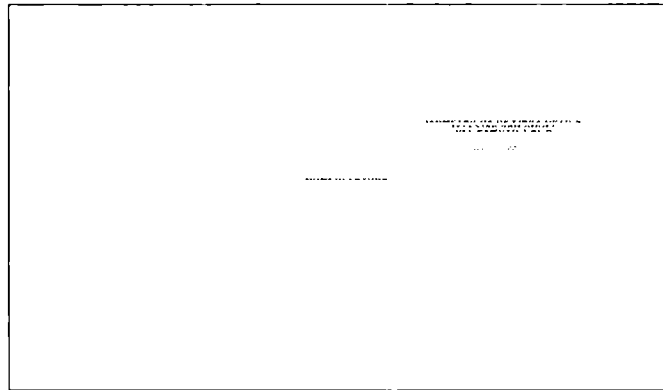


Figura 3.44 - Diagrama isométrico [IX]

- ✓ Consumo eléctrico

Modelo	Descripción	Número de equipos	Potencia unitaria	Potencia
DWG 301	BGW, BMU Gateway Linux PC WAN/LAN connection	1	95	95
DCS 301	Gabinete Ethernet Switch 24 puertos	1	20	20
DBI 308	BIU 800 MHz	5	11.5	57.5
DBI 319	BIU 1900 MHz	2	20	20
DOI 302	FOI 1550/1310nm	3	17.25	51.75
			<b>Total</b>	<b>244.25W</b>

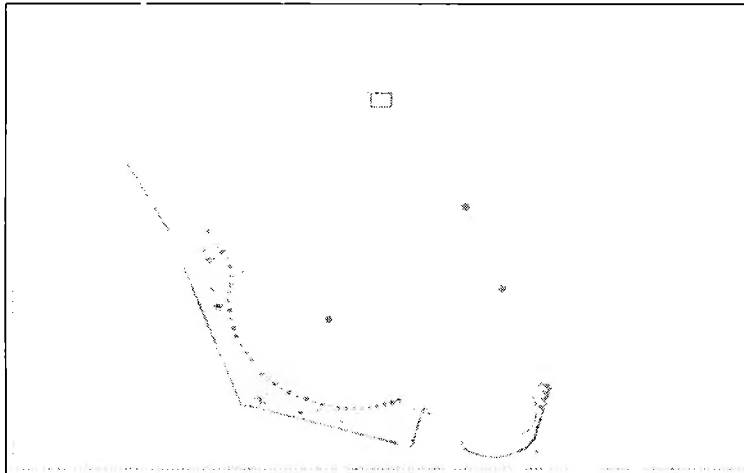
Tabla 3.5 - Consumo eléctrico [IX]

- ✓ Planos de trayectorias fibra



Figura 3.45 - Trayectoria de fibra sobre escalerilla [IX]

- ✓ Planos de trayectorias cable y ubicación de antenas



**Figura 3.46 – Planos con trayectoria de cable y ubicación de antenas [IX]**

El documento será el acuerdo oficial firmado con el dueño del edificio y administración, este servirá como base para la fase de implementación, especialmente cuando la instalación la llevará a cabo otra empresa de la que realizó el diseño.

#### **3.3.4.4 Implementación**

La instalación representa entre un 40 a un 60% del tiempo y costo de un sistema DAS, ya que depende de los permisos, accesos, facilidades, ocupación del edificio, etc.

Se debe considerar que cada inmueble tendrá sus reglamentos y horarios de trabajo, por ejemplo en una instalación como el Metro el horario de trabajo sería de 11 PM a 4 AM, esto impacta en los costos del proyecto, por eso es muy importante considerar todos estos aspectos desde el levantamiento para poder cuantificar y planear.

Del diseño se debe obtener el documento denominado lista de materiales como se puede observar en la tabla 3.6 o por sus siglas en inglés "BOM" (*Bill of Materials*), la lista de materiales que servirá de guía para elaborar el presupuesto,



órdenes de compra, control del inventarios y para los instaladores, ellos deben seguir al pie de la letra las especificaciones detalladas en dicho documento.

Type	Manufacturer	Model	Description	Inventory#	Qty	Unitary DDP	Total DDP
Fiber BDA	Andrew	TFAH-US4B-14	[ION-B] - ION BriteCell - High Power Remote Unit for Cell700 / Cell850 / AWS / Ext. PCS1900 - Universal Mains 85-265 Vac	N/A	29	\$5,936.00	\$ 172,144.00
Fiber BDA	Andrew	TFAH-US6B-14	[ION-B] - ION BriteCell - High Power Remote Unit for Cell700 / Cell850 / AWS / Ext. PCS1900 - Universal Mains 85-265 Vac	N/A	30	\$4,876.00	\$ 146,280.00
Misc.	Andrew	TSUN4	[ION-B] - Plug-in Supervision Unit for Andrew's Optical Distribution Systems	N/A	1	\$1,945.74	\$ 1,945.74
Misc.	Andrew	TPRN 14	[ION-B] - ION BriteCell- Universal Mains 85-264 Vac Power Supply - 12 Slots (1HE x 7TE each)	N/A	5	\$1,165.79	\$ 5,828.94
Fiber BDA Hub	Andrew	TFLN 2504/4 (AUX)	[ION-B] - ION BriteCell - 698-2700 MHz - Master Optical TRX - 4 Optical Links - SC/APC - Implemented Auxiliary Channel	N/A	17	\$2,390.30	\$ 40,635.10
Misc.	Andrew	TBP74		N/A	21	\$ 11.71	\$ 245.97
Splitter	Andrew	TLCN8-W	[ION-B] - Wideband 8-Way RF Splitter/Combiner - Separate Paths - SMA-Female Connector	N/A	6	\$ 837.14	\$ 5,022.81
Filter	Andrew	TPOI-P85/17/19E	[ION-B] - ION BriteCell - Passive Multiband Point of Interface - Cell850 / AWS / PCS1900 Ext	N/A	15	\$2,067.00	\$ 31,005.00

\$403,107.56

**Tabla 3.6 - Ejemplo de lista de materiales [IX]**

El documento generado y aprobado en la fase de aceptación que determina trayectorias de cables, posición de antenas y equipos será la base, cualquier modificación en lo determinado en ese documento debido a obstáculos, requerimientos de último minuto por parte de los inquilinos de cada piso deberán ser reflejados en "cambios al diseño", documentados y aprobados nuevamente.

Dos documentos que serán generados en la fase de implementación y serán generados por el departamento o empresa que lleve a cabo la instalación, cualquier cambio debe ser aprobado por la administración del edificio así como por el área de RF.

Los documentos son los siguientes:

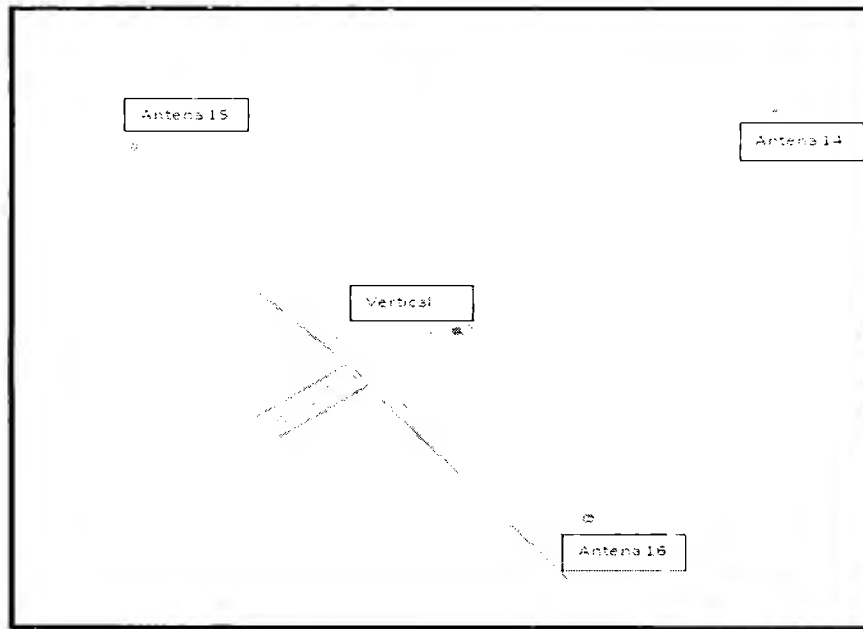
- Reporte semanal de avance de obra.

En este reporte se incluye un estatus diario de las actividades y problemas que se pudieron encontrar durante la semana de instalación, se deben incluir fotografías que pudieran ayudar a identificar problemas y el avance que se tiene, como podemos observar en el siguiente ejemplo:

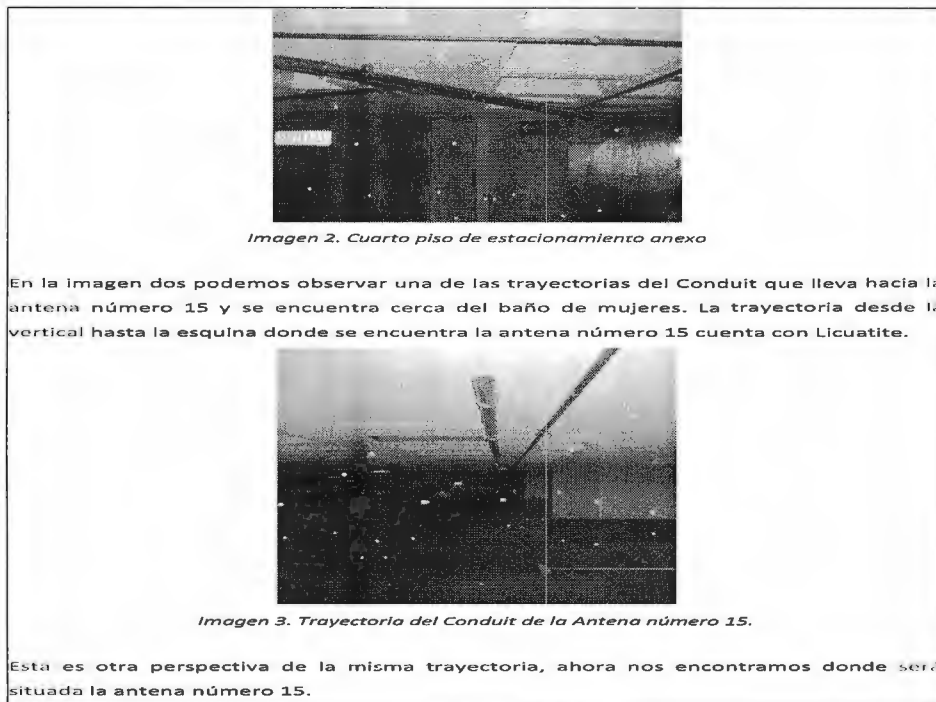
<p><b>6 de Julio del 2011</b></p> <p>Se revisó el avance que se realizó el día anterior en el estacionamiento y junto con Armando Cruz resolvimos el problema de la bodega. Se nos proporcionó un espacio cerrado en el cuarto piso que pertenece al área de aire acondicionado y se habló también con personal de Televisa para que se nos proporcionaran llaves de las verticales del estacionamiento.</p> <p>Durante este día se presentaron los siguientes problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Uno de los guardias de seguridad no permitía la entrada a las instalaciones para descargar material ya que aún no se contaba con el MEMO para el ingreso de las camionetas.</li></ul> <p><b>7 de Julio del 2011</b></p> <p>No se tuvo ningún problema en cuanto al acceso debido a que los guardias de seguridad fueron un poco más accesibles, pero nos recomendaron que se tramitara el MEMO para el acceso de las camionetas.</p> <p>Durante este día se presentaron los siguientes problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aún no se cuenta con el MEMO para el ingreso de las camionetas.</li></ul>
---

**Figura 3.47 - Reporte de avance instalación [IX]**

El avance se reporta por piso con ubicación de equipos pasivos y activos números de serie de cada elemento, identificación de acuerdo al diseño y se deberá ver reflejado en la documentación, como podemos ver en las figura 3.48 y 3.49.



**Figura 3.48 - Ubicación de antenas, verticales y líneas [IX]**



**Figura 3.49 - Reporte fotográfico de avance de obra [IX]**

- Reporte final que debe contener:
  - Descripción y ubicación del proyecto
  - Diagrama unifilar
  - Diagrama de instalación.

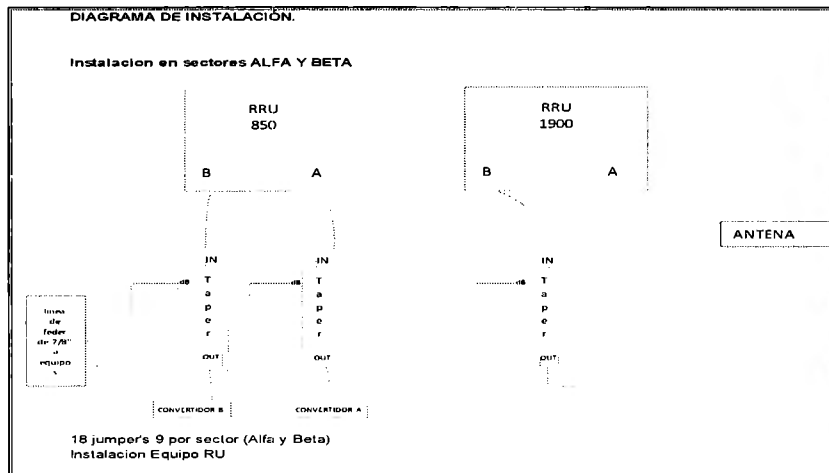


Figura 3.50 – Diagramas de instalación [IX]

- Pruebas de barridos

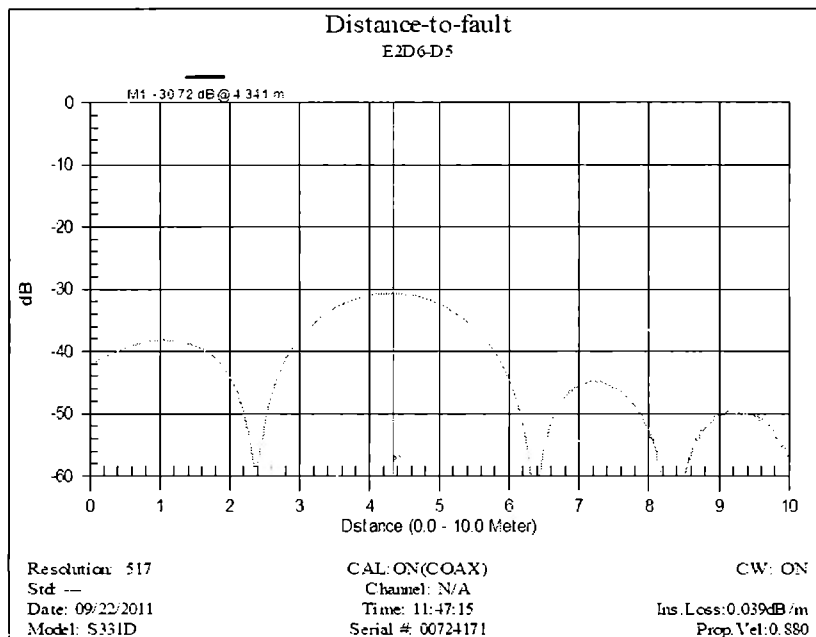


Figura 3.51 – Pruebas de barrido [IX]

- o Pruebas de pérdida en fibra

Se presenta primero un resumen de los resultados como se puede observar en la figura 3.52.

	Longitud de onda 1310 NM		Longitud de onda 1550 NM	
	Perdida Teórica	Perdida OTDR	Perdida Teórica	Perdida OTDR
Punta A1 de Búfer Equipos (Azotea) - Estacionamiento	0.654	0.350	0.601	0.354
Punta B1 de Búfer Equipos (Azotea) - Estacionamiento	0.654	0.344	0.601	0.483
Punta A2 de Búfer Equipos (Azotea) - Estacionamiento	0.654	0.239	0.601	0.644
Punta B2 de Búfer Equipos (Azotea) - Estacionamiento	0.654	0.432	0.601	0.323

**Figura 3.52 - Resultados de pérdida teórica y OTDR [IX]**

**Perdidas en Jumper Punta B1 Azotea - Estacionamiento de onda de 1550 NM**

ATENUACION	CANTIDAD	PERDIDA
0.25 dB/KM	405 metros	0.101 dB
0.25 dB/Empalme	0 Empalmes	
0.25 Conector	2 Conectores	0.500 dB
	<b>PERDIDA TEORICA</b>	<b>0.601 dB</b>
	<b>PERDIDA CON OTDR</b>	<b>0.487 dB</b>

**Figura 3.53 - Diagrama de pérdida teórica y atenuación encontrada en fibra por ventana óptica en 1550nm [IX]**

- Potencias de las BTS's: Se deberá medir con analizador de espectro la potencia recibida de la radiobase, en caso de ser varias tecnologías y varios sectores se deberán documentar cada uno. Esto servirá como base para hacer el cálculo de atenuación o ajuste que deberán tener las señales para estar balanceadas en el DAS.
- Programación de los equipos remotos: se deberá documentar cada equipo incluyendo número de serie de cada uno, nombre que se le haya dado a cada remoto y pantallas con la programación del mismo.
- Diagrama, fotografías y conectividad en el sitio principal (*Main Unit*): Se deberá documentar la conexión que se haga en cada punto, cada cable, tecnología, sector etiquetando de acuerdo al código de colores definido para poder identificar en mantenimiento.
- Diagrama, fotografías y conectividad en cada remoto: Se deberá documentar la conectividad de cada remoto, potencia óptica recibida, potencia de salida RF, a que sector pertenece y que ramal de antenas alimenta.

Al terminar de instalar y peinar cada línea de cable coaxial y fibra óptica, se deben realizar diversas pruebas muy estrictas al cableado instalado que deben ser incluidas en los reportes mencionados anteriormente.

➤ Cableado Coaxial, pruebas de VSWR y PIM

- VSWR: Son las siglas de "*Voltage Standing Wave Ratio*" y representa la relación entre el pico o el valle de una onda causada por la potencia de ida y de regreso en [1: X] (por ejemplo 1:2)

Ejemplo: Para 50 Ohm load VSWR=1:1

Para 75 Ohm VSWR=1:1.5

- PIM: Son siglas de "*Passive Intermodulation Measurement*" o medición de intermodulación pasiva que debe ser medida en instalaciones que fueron instaladas antes de la aparición de 3G para verificarlas.
  
- Cableado de Fibra óptica:
  - Pruebas con OTDR
  - Pruebas con Power Generator
  - Verificación con microscopio óptico

Puede requerirse hacer el empalme de los conectores de fibra en sitio una vez tendida la fibra.

La instalación debe cumplir con estándares del edificio, puede requerirse cable retardante de fuego, canalización para cables, escalerillas, todo esto debe ser considerado en el presupuesto del proyecto. Se deben utilizar "*racks*" con pasa cables para el buen funcionamiento y organización.

Todo esto debe quedar perfectamente documentado e identificado. El proyecto debe contar con un líder especializado en instalaciones interiores capacitado y certificado por las empresas fabricantes de equipo.

#### **3.3.4.5 Optimización**

En esta fase se evaluará que la cobertura planeada en el diseño cumpla y los KPI's que se acordaron con el operador se cumplen.

La optimización es el único procedimiento para dar seguimiento y verificar la red, revisando de forma profunda estadísticas y recolectando/analizando datos del WT. El proceso de WT es una herramienta de la fase Operación para revisión y mejora continua.

Los pasos en la planeación de parámetros a revisar en la optimización se muestran en la siguiente tabla:

<b>Cobertura</b>	Frecuencias	Tecnologías
	Interferencias	
<b>Capacidad</b>	Propagación	Canales
	Lista de vecinos/Servidores	
<b>Levantamiento</b>	Cobertura	Parámetros

**Tabla 3.7 - Parámetros a revisar en la optimización [IX]**

Cuando se planea realizar la optimización se deben tomar en cuenta: Los recursos, costo y parámetros de calidad a medir.

Los objetivos de la optimización son:

- Encontrar y corregir los problemas existentes después de la integración del sitio.
- Llegar a los KPI's acordados
- El proceso de optimización es continuo
- El proceso de optimización no puede reducir el desempeño de la red exterior
- El área a ser revisada puede ser dividida en clusters para poder llevar a cabo el proceso de forma ordenada

Para medir el rendimiento así como la rentabilidad del sistema tenemos los KPI's. La información de KPI's nos muestra los estándares de calidad bajo los cuales está operando y prestando servicio final a los usuarios de algún operador. Hasta el momento no existe un estándar de estos KPI's ya que involucran directamente diseño, servicio y capacidad del operador, por lo que estos objetivos se acuerdan entre los operadores y el prestador de servicio de optimización.



En la tabla 3.8 se muestra la información de KPI's de acuerdo a parámetros establecidos por eventos por tecnología.

Indicador de evento	Eventos	Target (porcentaje óptimo)
Llamada establecida en voz	788 llamadas	97.5 %
Conexión establecida en datos	Sesión http	97.5 %
Llamada finalizada satisfactoriamente	788 llamadas	95.0 %
Conexión finalizada satisfactoriamente	Sesión http	95.0 %
Llamadas caídas	788 llamadas	2% Zonal urbana 2.5 % Zona rural
Sesión caída en datos	Sesión http	2.0 %
Pico de descarga ( <i>throughput</i> )	Sesión FTP DL	>=5.7Mbps
Promedio de descarga ( <i>throughput</i> )	Sesión FTP DL	>=2.2Mbps Zona urbana >=1.7Mbps Zona rural

**Tabla 3.8 -Tabla de KPI's en una red celular [N]**

Esta tabla enuncia cada objetivo que debe alcanzar cada servicio prestado por el operador. Como se muestra en la tabla anterior, por lo general se identifica el tipo de servicio de operador y se le asigna un porcentaje de éxito rebasando estos targets se dice que la red alcanza los estándares de calidad del operador en cuestión.

Para conocer el estándar de calidad en el que se encuentra una red celular se realizan pruebas de accesibilidad en voz y datos para conocer los eventos fallidos de acceso y tiempo en acceder al servicio a otorgar al usuario, así como el tipo de problema que pueda causar la accesibilidad en caso de presentar fallas. Para esto se realizan llamadas cortas (20 segundos aproximadamente) repetidamente para poder obtener un total de intentos y un total de eventos fallidos. También se realizan llamadas continuas en voz y datos (Infinitas) para conocer el momento donde se presente la pérdida de la conexión con la red, así como la causa probable de la desconexión.

Esta pruebas no diferencian si se requiere verificar KPI's ni para realizar Optimización *Indoor* o *Outdoor* se rigen bajo el mismo principio, solo es necesario

tomar en cuenta las facilidades que puede tener el sitio donador que nos proporciona cobertura *Indoor* y su interacción con sus sitios vecinos.

Estos estándares de calidad no se ven diferenciados de acuerdo a la tecnología probada ya que se refieren a estatus general de una red celular independientemente de la tecnología o tipo de red que se trate. Solamente podríamos mencionar que las redes celulares crecen en capacidad y en velocidad de navegación en datos por lo que en este sentido la tabla tendría que cambiar en ese objetivo acorde al servicio que presentaría el operador, así como servicios adicionales como video llamadas o alta velocidad pero que no afectan en la tabla de KPI's ya que como se comentó el tipo de servicio acorde a la tecnología se trataría con el operador de la red.

Existen KPI's o parámetros de medición propios de cada tecnología a continuación se presentan los parámetros de las tecnologías CDMA y GSM más comunes:

➤ CDMA

*RSSI*

- Es el nivel de potencia que corresponde al promedio de señal recibida en la señal de bajada (downlink) medida en la estación mobile.
- El rango normal va de -30 a -80dBm
- Un nivel menor de -80dBm muestra niveles bajos.
- Se puede proponer más amplificadores, nuevo sitio, se debe verificar el hardware que en caso de existir problemas pudiera alterar los niveles de señal.

*Tx Power*

- Determina la potencia de transmisión en la estación base que recibe puede variar

- Debe ser mayor a -20dBm
- Los valores menores de -20dBm indican interferencia que resulta en llamadas caídas, bloqueo de llamadas y voz cortada

#### *Ec/Io (Carrier Energy to Interference)*

- El ratio de la energía del piloto recibida,  $E_c$  = energía total recibida.  $I_o$  = Densidad de Potencia espectral total
- Debe ser mayor a -13dB
- Valores menores a -13dB pueden deberse a mal terreno, interferencia o gran número de usuarios.

#### *C/I (Carrier to Interference)*

- Interferencia en el co-canal es el término utilizado para la interferencia causada por canales con la misma frecuencia presente en otras celdas.
- Un rango normal de C/I debe ser mayor a 12dB
- Un valor menor a 12dB indica interferencia con ciertas frecuencias en co-canales o canales adyacentes.
- Se debe planear una lista de los sitios vecinos para no tener problemas de interferencia.

#### *SNR (Signal to Noise Ratio)*

- SNR para el canal
- Debe ser menor de 6%
- Valores mayores de 6% pueden provocar velocidades de datos bajas, voz cortada.

## ➤ GSM

### *Rx Level:*

- Es el nivel de potencia que corresponde al promedio de señal recibida en la señal de bajada (downlink) medida en la estación mobile.
- El rango normal va de -30dBm a -70dBm
- Un nivel menor de -70dBm muestra niveles bajos.
- Se puede proponer más amplificadores, nuevo sitio, se debe verificar el hardware que en caso de existir problemas pudiera alterar los niveles de señal.

### *Rx Qual*

- Es el nivel que la estación mobile percibe en la calidad en la señal de bajada (downlink)
- El rango normal va de 0 a 4 (el rango total es de 0 a 9, siendo 0 el mejor valor)
- La calidad mayor de 4 nos puede provocar llamadas caídas, bloqueo de llamadas, llamadas mudas, falla en el cambio de celda, interferencia.
- Se pueden mover los parámetros de la estación base.

### *FER (Frame Error Rate)*

- Factor de degradación de voz, indica fading e interferencia
- El valor normal debe ser menor de 4%
- Valores mayores de 4% degrada el RxLevel, Rx Qual, BER, SQI y C/I nos provocará llamadas caídas, llamadas bloqueadas, llamadas mudas y falla en cambio de celda.
- El FER juega un papel importante en trabajar la interferencia.

### *BER (Bit error Rate)*

- Es el número de Bits recibidos que han sido alterados debido al ruido, interferencia, distorsión, dividida por el número total de bits transferidos durante el intervalo de tiempo estudiado.
- Para un sistema funcional el objetivo es no perder Bits
- Si existen Bits perdidos el resultado es interferencia o fading y el resultado será llamadas caídas, llamadas bloqueadas, llamadas mudas y fallas en el cambio de celda.

### *C/I (Carrier to Interference)*

- Interferencia en el co-canal es el término utilizado para la interferencia causada por canales con la misma frecuencia presente en otras celdas.
- Un rango normal de C/I debe ser mayor a 12dB
- Un valor menor a 12dB indica interferencia con ciertas frecuencias en co-canales o canales adyacentes.
- Se debe planear una lista de los sitios vecinos para no tener problemas de interferencia.

### *SQI (Speech Quality Index)*

- Es la calidad estimada percibida en la calidad de voz que podría ser experimentada por el usuario en su celular.
- Debe ser mayor a 18
- Si se tiene bajo SQI indica mala calidad, voz degradada e interferencia.
- Mejorar los parámetros de RF pueden ayudar a nivelar el SQI a sus valores normales.

Para poder realizar una buena optimización se debe llevar a cabo la metodología que contempla los siguientes puntos:

- Análisis del problema
- Llevar a cabo el walk test
- Obtener estadísticas
- Se analizarán:
  - Faltas en TRX
  - Traslapes en la cobertura
  - Llamadas caídas
  - Problemas de Capacidad e interferencia.
- Analizar el recorrido (TEMS INVESTIGATION) después del *Walk Test*
- Exportar la información a MapInfo
- Proponer la solución.

Los resultados ideales obtenidos deben ser:

- Buenos niveles de señal.
- Buenos niveles de Rx.
- Que no existan problemas de interferencia o ruido.

Una vez instalado el sistema DAS se deben revisar los reportes por el departamento de RF para verificar que cumplan con los estándares y están completos, una vez aprobados se deberá llevar a cabo el comisionamiento de equipo.

➤ Comisionamiento:

El procedimiento deberá tomar como base todas las mediciones que se realizaron en la fase de implementación y los cálculos de RF que se hagan para poder determinar los parámetros a configurar en los equipos, es importante que el

fabricante del equipo capacite, entregue los procedimientos y manuales para que se programe el equipo de acuerdo al diseño balanceando las ganancias, considerando el diseño, tomando en cuenta canales, sectores y tecnologías. En caso que se hicieran adiciones de tecnologías, sectores, portadoras, etc. se deberá volver a calcular y comisionar el equipo nuevamente. El resultado deberá ser tener señales homogéneas en el edificio independientemente de la tecnología.

Una vez finalizada la optimización, configurados los equipos y revisadas las pruebas se deberán realizar mediciones:

- a) *Walk test* (tomando en cuenta la metodología mencionada anteriormente)
- b) Estadísticas de la red

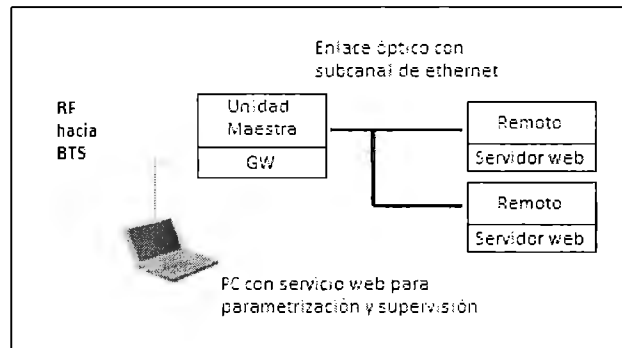
Los resultados de *walk test* y estadísticas de red servirán para verificar que las huellas de señal en el interior, potencias, parámetros de calidad (KPI's) definidos son los definidos en el diseño.

Una vez seguros que los niveles son los adecuados junto con el operador o los operadores se llevará a cabo una revisión de la funcionalidad del sistema, así como el impacto que pudiera tener con la red macro, el operador llevara a cabo estudios de *walk test* (en el interior del inmueble) y *drive test* (en los alrededores del inmueble). Posteriormente se hace una evaluación de los resultados, parámetros de calidad y funcionalidad en conjunto con el operador para determinar si es necesario re-orientar antenas, bajar o aumentar ganancias, declarar vecindades, mover parámetros en el nodo B o BTS, etc. [IX].

#### **3.3.4.6 Operación**

Los sistemas DAS cuentan con diversas formas de monitoreo, es importante considerar que los fabricantes están obligados a enviar alarmas en formato SNMP ya que las licencias del programas propietario son muy elevadas y podría impactar en el OPEX del operador, otro punto a considerar es que los operadores no compran una sola marca de equipo por lo que se puede utilizar servicios de

empresas que pueden monitorear todo tipo de equipos: repetidores, picoceldas, femtoceldas y sistemas DAS. Existen servicios de monitoreo que pueden trabajar recibiendo “traps” que pueden ser interpretados de acuerdo a los códigos que manejan cada fabricante para poder determinar severidad y tipo de alarma.



**Figura 3.54 - Diagrama de operación y mantenimiento [IX]**

Las dos formas más comunes de monitorear un sistema DAS son:

- a) Alarmas de contacto seco: Es un relay que enviará 1 o 0 dependiendo de las fallas que se quiere enviar al operador. Se conecta un cable del sistema DAS a la radiobase del operador, enviando un código que determinará la falla que se presenta. En este caso solo se informará de alarmas críticas.
- b) Alarmas SNMP: Es un sistema que enviará alarmas de tres tipos:
  - a. Severe (Críticas)
  - b. Warning
  - c. Informative

Estas alarmas se reciben en un centro de monitoreo, se llevará a cabo un procedimiento de reparación de la falla, en caso que no se pueda reparar se levanta un “ticket” para enviar a una persona a reparar el sistema. Una vez reparado el problema se cierra el “ticket” y se informa al operador.

Con estas bases pasamos al caso de aplicación: Torre Mayor.

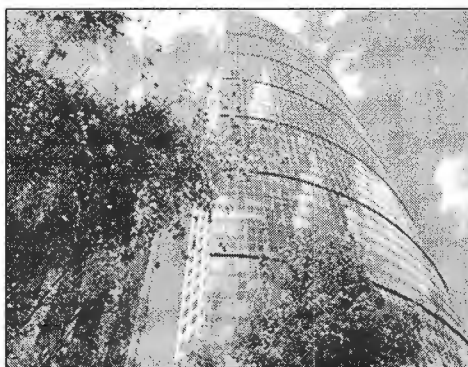


## **CAPITULO 4. CASO DE APLICACIÓN: EDIFICIO CORPORATIVO**

Después de analizar en los capítulos anteriores componentes y opciones de un sistema DAS, se presenta el caso del edificio Torre Mayor, que lleva 8 años funcionando, el proyecto ha sufrido varias modificaciones, que en el documento se llaman etapas, en cada etapa se aplica la metodología descrita en el capítulo anterior: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización y operación para poder llegar a la solución óptima de este caso. En la actualidad se está revisando y reemplazando el equipo activo en su totalidad.

En el caso de Torre Mayor se ha evolucionado de 2G hasta 3.5G y 4G (UMTS LTE), esto con el objetivo de lograr un modelo de negocio estable que permita tener los menores cambios posibles.

En este capítulo se revisa el primer proyecto en México "Torre Mayor", que tiene instalado un sistema DAS multioperador y multibanda [B].



**Figura 4.1 - Fachada de Torre Mayor [IX]**

Torre Mayor es el nombre del edificio más alto de la Ciudad de México y de Latinoamérica, desarrollado por el canadiense Paul Reichmann.

Se encuentra ubicada en el número 505 de la avenida Paseo de la Reforma, en el espacio ocupado anteriormente por el cine Chapultepec y muy

cerca del Bosque de Chapultepec, en la delegación Cuauhtémoc. La Torre tiene una altura de 230,4 m (225, 6 desde Paseo de la Reforma) y 55 pisos, además de 4 niveles de estacionamiento subterráneo y 9 sobre el nivel de la calle, con más de 2,000 cajones de autoservicio disponibles. El edificio está equipado con 29 elevadores (ascensores) y 84.135 m<sup>2</sup> de espacio de oficina, 2 escaleras de emergencia presurizadas, unidades automáticas manejadoras de aire acondicionado, sistema mecánicos, eléctricos y de telecomunicaciones en cada piso. Cada planta de piso cuenta con una superficie promedio de 1,700 a 1,825 metros cuadrados, libre de columnas y con una altura libre de cada piso de 2.70 m. Dada la sismicidad de la Ciudad de México, el edificio fue equipado con medidas de seguridad que incluyen 98 amortiguadores sísmicos.

Reichman Corporation al ser un edificio inteligente, que ahorra energía eléctrica, agua, y otros servicios; que trabaja 24/7 la conectividad ya no es un lujo, "es una necesidad". Muchas compañías requieren tener señal de calidad para que los dispositivos PDA's tales como Palm, BlackBerry® o iPod así como herramientas personales y los teléfonos celulares de todas las compañías en México.

Reichman decide tener un sistema DAS multioperador y selecciona a la compañía "Unwired Solutions de México, S.A. DE C.V." pionero en el esquema de inversión de infraestructura (Neutral Host).

#### **4.1 Etapas de implementación en Torre Mayor**

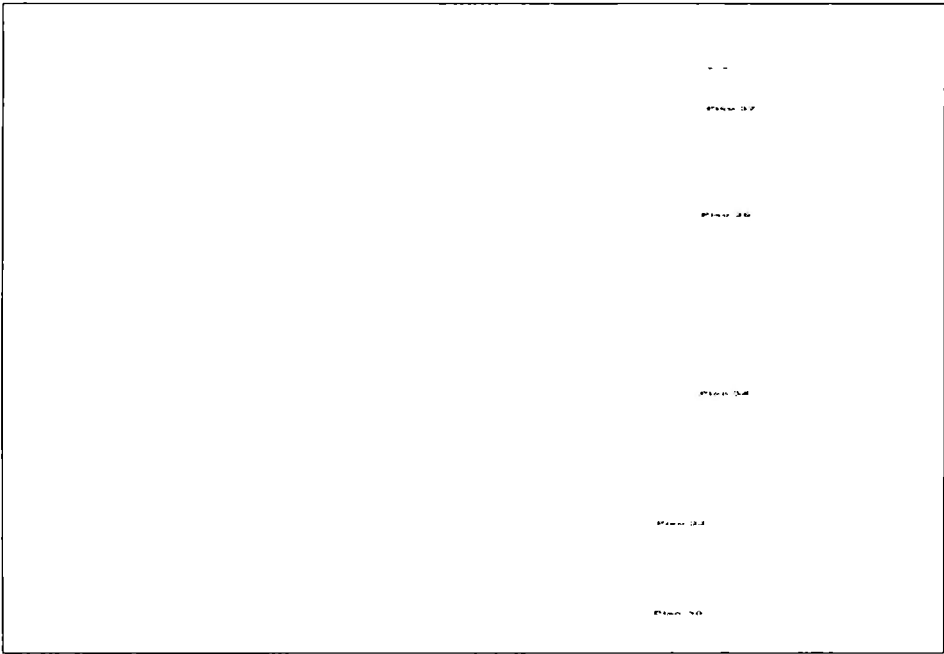
Durante las diferentes etapas de implementación se evolucionó en el conocimiento o implementación de cada una, ya que se comenzó el 2004 sin conocimiento en indoor, la empresa Unwired Solutions se creó en el 2003 para este propósito, en ese entonces la empresa tenía una relación comercial con Allgon, AB (empresa Sueca) especializada en indoor, en ese año dicha empresa ganó el proyecto de cobertura del campus de Microsoft, así como varios proyectos en Aeropuertos y

sistemas Metro. Unwired Solutions contrata el proyecto llave en mano para las etapas I y II.

El sistema implementado en el edificio desde 2005 se ha actualizado, revisado y optimizado constantemente, actualmente el sistema ha tenido 6 etapas que se describen a continuación:

**Etapas I**

Esta etapa se implementó en el 2005 para realizar pruebas de concepto por los operadores, el primer operador que decide conectarse al sistema DAS es Telcel. La empresa NHP Unwired Solutions contrata a Allgon la cual lleva a cabo el levantamiento y diseño. En conjunto con Unwired Solutions lleva a cabo la aceptación (con el edificio). La implementación, optimización y operación la lleva a cabo Allgon cubriendo los pisos 33, 34, 36 y 37 de Torre Mayor como lo muestra la figura 4.2.



**Figura 4.2 – Diagrama DAS Etapas I**

Diagrama que muestra el esquema de un primer sector instalado en Torre Mayor.

## ➤ Etapa II

Ya aprobado el sistema DAS por los operadores se procede a instalar equipo para cubrir los pisos:

- Área comercial: L4
- Pisos: 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 51, 52 y 55.

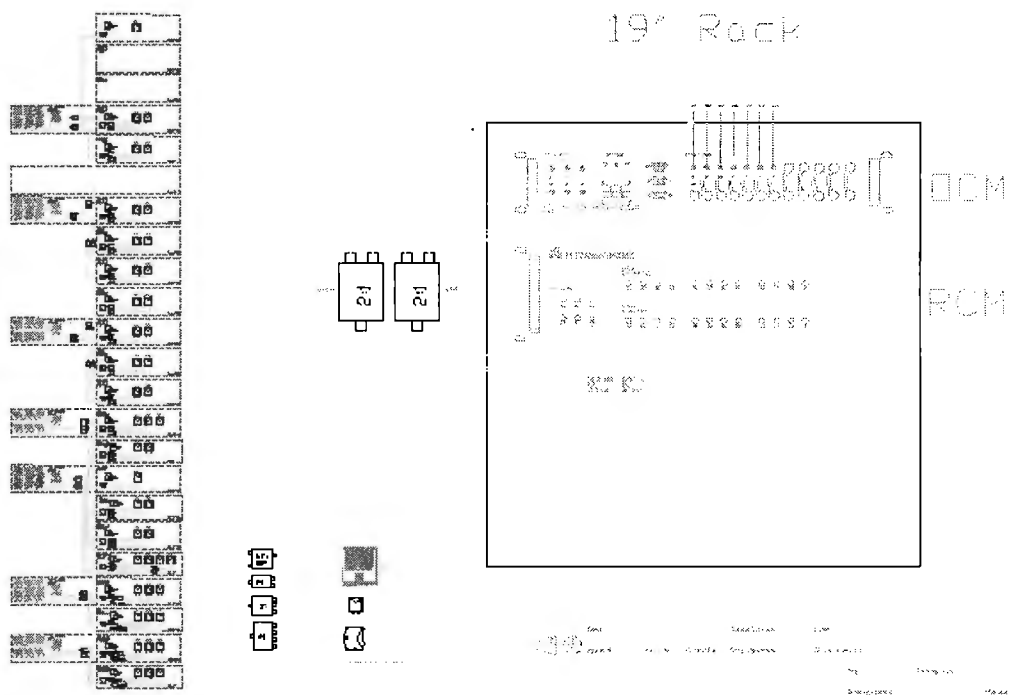


Figura 4.3 - Diagrama DAS Etapa II

Una vez aceptada la etapa I se continúa trabajando con Allgon para implementar la mitad del edificio utilizando equipos concentradores de RF e instalando equipos repetidores de 0.5 y 2 Watts para cubrir de 3 a 5 pisos por equipo. El levantamiento, diseño fueron elaborados por Allgon y la implementación, optimización y operación la lleva a cabo Unwired Solutions.

Para las etapas I y II se hace el Levantamiento en México con personal enviado por Allgon, se solicitan planos y el diseño en su totalidad se hace en la

oficina de Dallas, Unwired Solutions contrata un ingeniero especialista en RF para que dé seguimiento y haya un aprendizaje.

➤ **Etapas III**

De acuerdo a ocupación del edificio y clientes de los operadores se decide cubrir el resto del edificio que son los pisos:

- S1-S4 y E1 a E4 (con WRH 1)
- Pisos L5 al 15(WRH2), del 16-26(WRH3) y pisos 27 al 30



FIG. 27  
FIG. 28  
FIG. 29  
FIG. 30  
FIG. 31  
FIG. 32

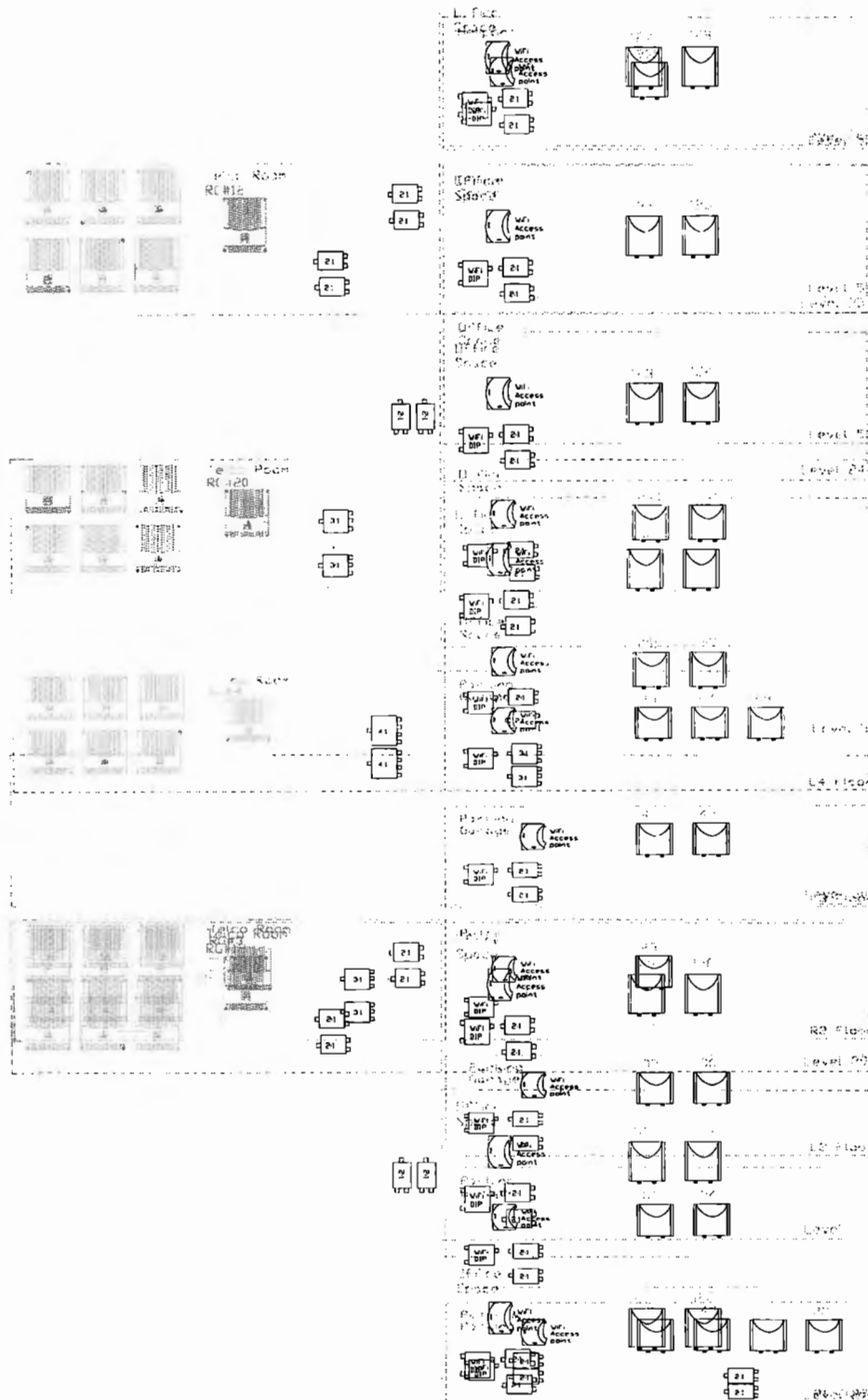


Figura 4.4 – Diagrama DAS etapas II y III  
124

Para la etapa III Allgon es vendida a la empresa Powerwave Technologies y Unwired Solutions decide tomar el control del proyecto realizando la implementación, optimización y operación del sistema, Powerwave solo hace labores de soporte técnico y validación, modifica el diseño utilizando equipos de 20 Watts para cubrir 10 pisos. La empresa Unwired Solutions adquiere el software iBwave para documentar y validar el diseño.

Para la implementación se compran herramientas tales como analizador de espectro y para la etapa de optimización se adquiere el ZK Celltest.

Se comienzan a escribir protocolos internos para la implementación, basados en la experiencia y documentos recibidos de Allgon, para la optimización se toma como base los requerimientos de los operadores (KPI's) para validar la red.

#### ➤ **Etapa IV**

Se adquieren predios aledaños al edificio y se desarrolla un proyecto de un edificio de 14 pisos que es llamado el anexo para el cual Unwired Solutions lleva a cabo las fases de levantamiento, diseño y aprobación de los operadores y administrador del edificio para su implementación, optimización y pruebas.

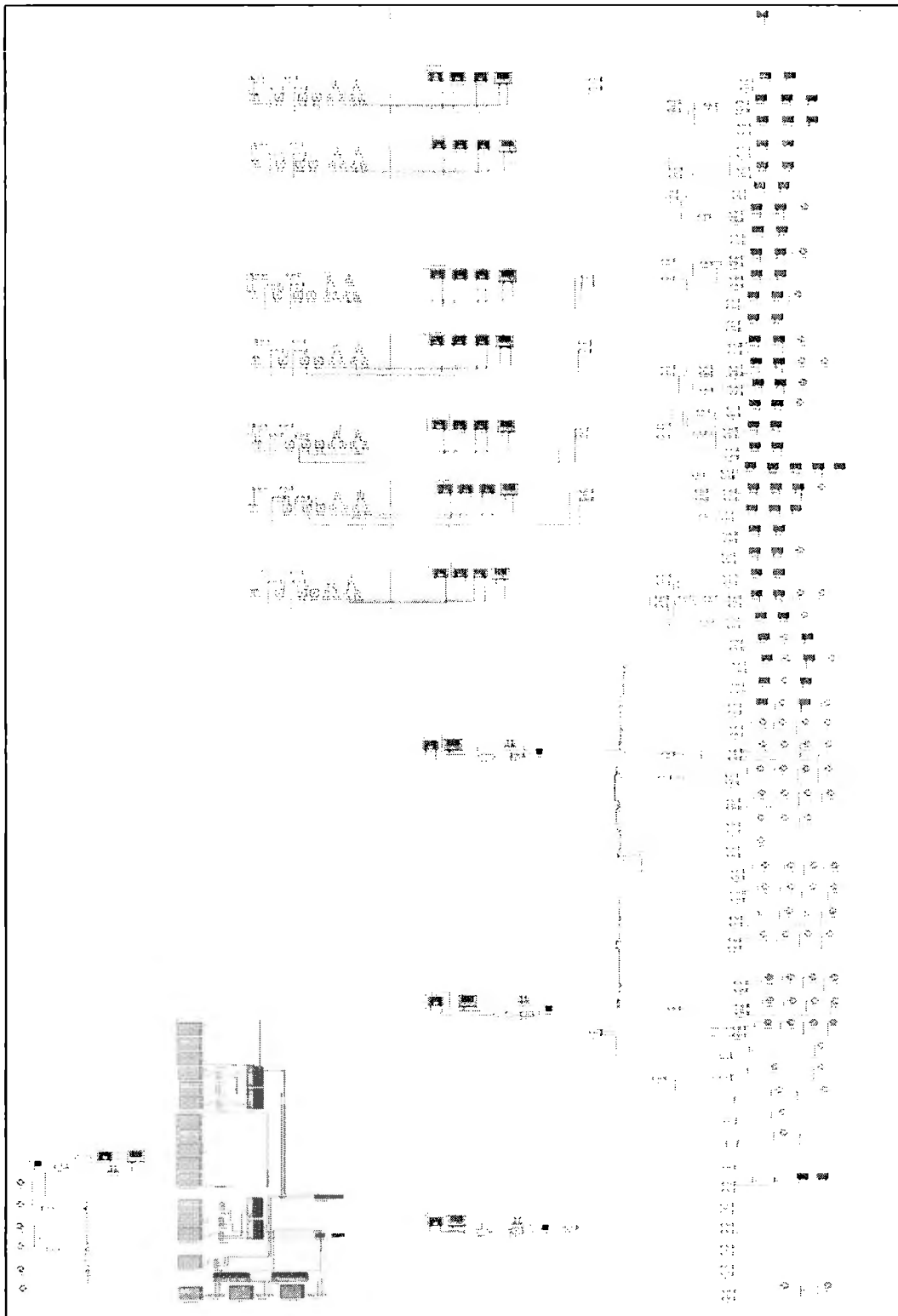


Figura 4.5 - Diagrama DAS Fase IV [IX]



Unwired Solutions seleccionó a la empresa Deltanode para la etapa IV como proveedores tecnológicos, el esquema de solución DAS que se planteó es:

Utilizar equipo dual de 20 Watts para cubrir el edificio anexo. Así, se colocan 2 antenas por piso.

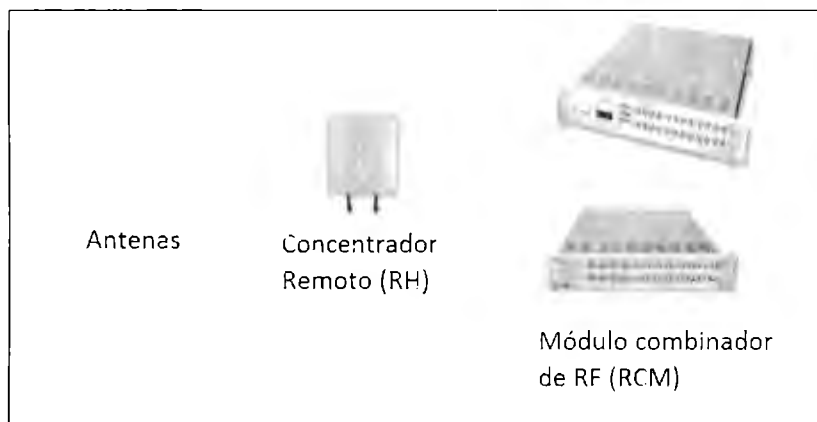


Figura 4.6 - Componentes del sistema DAS [IX]

#### ➤ Etapa V

A los 5 años de operación del DAS implementado (2010), para continuar con la actualización de las tecnologías se planea el aumento de portadoras.

Se harán las siguientes adiciones:

1. HSPA Y GSM 850
2. UMTS 1900
3. WCDMA UMTS 850

Para esto se seleccionó un equipo marca Deltanode por su flexibilidad y potencia.

Para esta etapa no es necesario hacer levantamiento ya que las modificaciones son en el diseño, implementación en los sites cambiando un equipo de menor potencia 0.5 Watt (Powerwave) por otro de mayor potencia 5 Watts (Deltanode), esto permitirá aceptar mayor cantidad de portadoras con

buenos niveles de señal (RSSI) bajo ruido. Los diagramas se pueden revisar en el capítulo 5: Análisis de Resultados.

- **Etapa VI**

En 2012 Telcel seleccionó la red de Unwired Solutions para conectarse con 3G y 4G al edificio.

Unwired Solutions determina que debe llevar a cabo un rediseño para poder llegar a cubrir los requerimientos de velocidad de datos (*Throughput*), para ello remplazará los equipos Powerwave completamente por equipos de Deltanode de menor potencia.

En cada una de las fases se sigue el procedimiento:

Levantamiento: Se solicitan planos actualizados del inmueble. Se visita al administrador y a los inquilinos para explicar las implicaciones, ya que se añadirán antenas y se aprovechará para revisar la instalación existente.

Se realiza el walk test previo para verificar los niveles especialmente de la red 3G de Telcel para poder diseñar con una señal dominante.

Diseño: Se realiza tomando en cuenta la información obtenida en el levantamiento, verificando posición de antenas piso por piso y sus implicaciones. El diseño considera utilizar equipos de 5 Watts tri-banda: 850/1900/AWS, iDEN 800 se deja utilizando la infraestructura original (Powerwave) ya que no funcionará ya por más de 2 años.

Aceptación: Se lleva a cabo con los inquilinos y con la administración del edificio, revisando la posición de antenas, trayectorias y posición de equipos. Se debe firmar el documento completo.

Implementación: Se verifican trayectorias abriendo plafones y se llevan a cabo las instalaciones de antenas nuevas, verificación de las antenas existentes

realizando los barridos VSWR piso por piso en horario nocturno, desinstalando equipos duales y reemplazando con equipos tribanda. Se verifica y etiqueta la fibra óptica. Se llevan a cabo pruebas de cada ramal para verificar su funcionamiento.

En esta fase se encuentran cables cortados, antenas desconectadas que aprovecha para reemplazar o arreglar.

Optimización: Se realizan pruebas de walk test en cada piso, calibrando el sistema de acuerdo al análisis y diagnóstico de resultados como se puede observar en el siguiente capítulo 5, análisis de resultados.

Operación: El sistema es monitoreado vía remota por medio de una conexión de internet con IP fija pudiendo observar cualquier alarma o falla en el sistema.

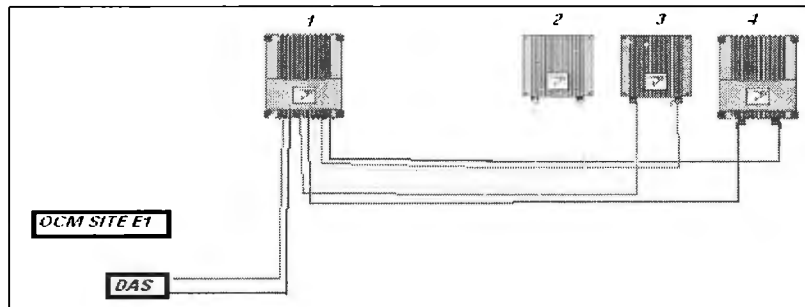
#### **4.1.1 Levantamiento y selección de equipo**

El equipo seleccionado en Torre Mayor se divide en dos grandes grupos:

- **RG:** Grupo formado por un SDU (Unidad de distribución) y repetidores. Los grupos están ubicados en pisos 29, 33, 36, 40, 43, 49,52.
- **WRH:** Grupo formado por cabezas de radio (WRH). Los grupos están ubicados en los pisos E1, 10, 21, Y PB del anexo de TM.

➤ Esquema de equipo antes toma de decisión

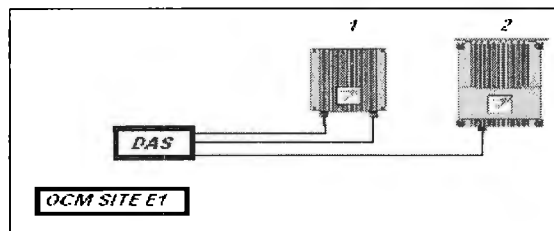
a) Localidades con equipos que utilizan SDU



- 1.-SDU
- 2.-REPETIDOR COMPACTO GSM 1900 TELEFONICA
- 3.-REPETIDOR COMPACTO CDMA 850
- 4.-REPETIDOR STANDARD IDEN 800 NEXTEL

**Figura 4.7 - Diagrama SDU y repetidores [IX]**

b) Localidades con equipos que utilizan cabezas de Radio WRH



- 1.-WRH DE 2W (CDMA 850, GSM 1900 TELEFONICA)
- 2.-WRH DE 20W IDEN NEXTEL

**Figura 4.8 – Diagrama de cabeza de Radio WRH [IX]**

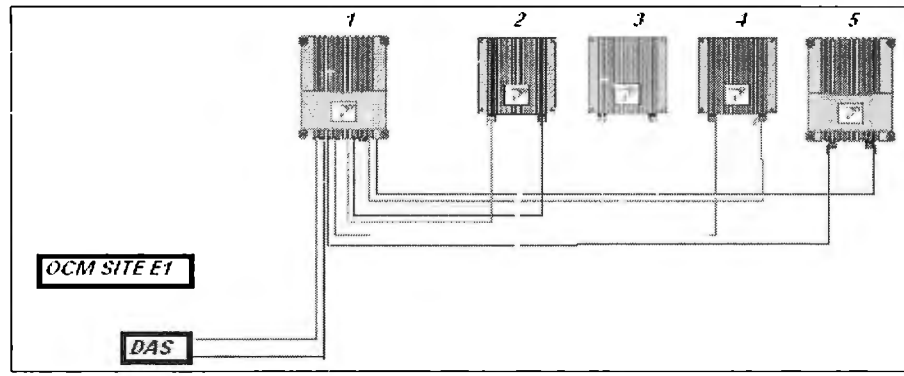
RG/WRH	Floor	Sector configuration
RG01	55	Sector 3
	54	
	53	
	52	
	51	
RG02	50	
	49	
	48	
	47	
	46	
RG03	45	
	44	
	43	
RG04	42	
	41	
	40	
RG05	39	Sector 2
	38	
	37	
RG06	36	
	35	
	34	
RG07	33	
	32	
	31	
WRH01	30	Sector 1
	29	
	28	
	27	
	26	
	25	
	24	
	23	
	22	
	21	
20		
WRH02	19	
	18	
	17	
	16	
	15	
	14	
	13	
WRH03	12	
	11	
	10	
	9	
	8	
	7	
	6	
	5	
	4	
	3	
WRH04	2	
	1	

Figura 4.9 - Sectorización del edificio [IX]

➤ Equipamiento seleccionado

- Cambiar las WRH de 2W por WRH de 20W duales (4 en total).
- Las WRH de 2W reubicarlas en RG (1, 2, 3 Y 4).
- Agregar 1 WRH dual de 2W en RG5, 1 WRH dual 2W en RG6 y 1 WRH dual 2W en RG7.
- Total agregado 4 WRH 20W + 3 WRH 2W duales.

- Diagrama adicionando equipo seleccionado en ubicaciones con SDU



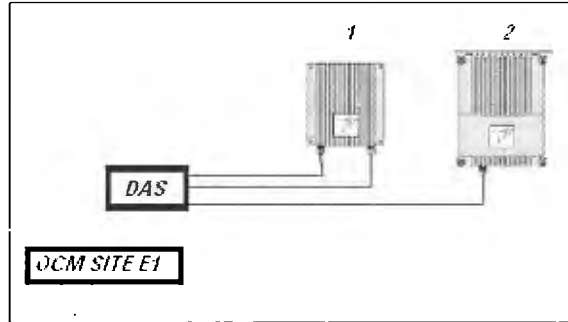
- 1.-SDU
- 2.-WRH DE 2W DUAL(GSM 1900,UMTS 800,GSM 850)
- 3.-REPETIDOR COMPACTO GSM 1900 TELEFONICA
- 4.-REPETIDOR COMPACTO CDMA 850
- 5.-REPETIDOR STANDAR IDEH 800 NEXTEL

Figura 4.10 - Equipamiento propuesto con SDU [IX]

SECTOR 2, 3:
RG1 (50-55)
RG2 (46-49)
RG3 (42-45)
RG4 (41-38)
RG5 (35-37)
RG6 (31-34)
RG7 (27-30)

Tabla 4.1 - Sectorización propuesta [IX]

Diagrama adicionando equipo propuesto en ubicaciones con WRH



1.-WRH DE 20W DUAL(GSM 1900,UMTS 800,GSM 850,CDMA 850,GSM 1900 TELEFONICA)  
2.-WRH DE 20W IDEU 800 HEXTEL

Figura 4.11 - Equipamiento propuesto con WRH [IX]

SECTOR 1:
WRH1 (16-26)
WRH2 (5-15)
WRH3 (E4-P4)
WRH4 (E5-E1ALTO)

Tabla 4.2 - Sector 1 con WRH [IX]

Para determinar lo necesario para la implementación se hizo un análisis siguiendo el procedimiento mencionado en el capítulo anterior, que incluye los siguientes pasos:

- Realizar *walk test* con la cobertura actual:

Se deben realizar recorridos con equipo de medición para verificar las señales que llegan del exterior para determinar si el diseño del sistema será suficiente.

Con esta información se hará un diseño en el cual se deberá realizar entre otras cosas el cálculo de pérdidas (*link budget*) para verificar que las

señales RSSI serán lo suficientemente fuertes para ganar a las señales que vienen de las radio bases de la macro (*outdoor*) para tener un sistema dominante.

Cálculo de pérdidas (*link budget*).

#### 4.1.2 Diseño

Unwired realizó un cálculo de pérdidas (*link budget*) con el objetivo de saber si el equipo propuesto se obtiene un nivel de RSSI adecuado para que funcione el sistema utilizando el equipo repetidor ALR4200 (2Watts).

<b>Características del repetidor</b>		
<b>Modelo del repetidor</b>	ALR4200/011	Powerwave
<b>Frecuencia</b>	850	MHz
<b>Tecnología</b>	CDMA Sector 1	Protocolo
<b>Número de portadoras</b>	3	
<b>Salida Repetidor/canal</b>	15.2	dBm
<b>Salida Repetidor compuesto</b>	27.0	dBm Max. Potencia
<b>Pérdidas Combinador/Splitter Peor Escenario</b>	-19.0	dB
<b>1/2" Cable Length(ft) Peor Escenario</b>	250.0	Pies
<b>1/2" Cable Loss (dB)</b>	-5.2	dB
<b>Tipo de antena</b>	Direccional	
<b>Ganancia Antena</b>	2.7	dBi
<b>Salida Antena</b>	-6.3	dBm
<b>Distancia máxima por cubrir</b>	53.0	Ft
<b>Path Loss</b>	55.2	dB
<b>Body Loss</b>	-2.0	dB
<b>Above the ceiling's Loss</b>	0.0	dB
<b>Wall/Clutter Loss</b>	-8.0	dB
<b>Fade Margin</b>	-8.0	dB
<b>RSSI Level</b>	-79.0	dBm
<b>50% Pilot/Paging/Sync (solo CDMA)</b>	-82.0	dBm

Tabla 4.3 - Cálculo de pérdidas en función del número de potencias (antes del cambio)



Características del repetidor				
Modelo del repetidor	ALR4200/011	ALR4200/011	ALR4200/011	Powerwave
Frecuencia	850	850	850	MHz
Tecnología	UMTS Sector 1	GSM Sector 1	CDMA Sector 1	Protocolo
Número de portadoras	1	2	3	Totales= 6
Salida Repetidor/canal	4.2	4.2	4.2	dBm
Salida Repetidor compuesto	12.0	12.0	12.0	dBm Max. Potencia
Pérdidas Combinador/Splitter Peor Escenario	-19.0	-19.0	-19.0	dB
1/2" Cable Length(ft) Peor Escenario	250.0	250.0	250.0	Pies
1/2" Cable Loss (dB)	-5.2	-5.2	-5.2	dB
Tipo de antena	Direccional	Direccional	Direccional	
Ganancia Antena	2.7	2.7	2.7	dBi
Salida Antena	-17.3	-17.3	-17.3	dBm
Distancia máxima por cubrir	53.0	53.0	53.0	Ft
Path Loss	55.2	55.2	55.2	dB
Body Loss	-2.0	-2.0	-2.0	dB
Above the ceiling's Loss	0.0	0.0	0.0	dB
Wall/Clutter Loss	-8.0	-8.0	-8.0	dB
Fade Margin	-8.0	-8.0	-8.0	dB
RSSI Level	-90.0	-90.0	-90.0	dBm
50% Pilot/Paging/Sync (solo CDMA)	-93.0		-93.0	dBm

Tabla 4.4 - Cálculo de pérdidas con nuevas tecnologías con repetidor compacto

Características del repetidor				
Modelo del repetidor	DDH	DDH	DDH	Deltanode
Frecuencia	850	850	850	MHz
Tecnología	UMTS Sector 1	GSM Sector 1	CDMA Sector 1	Protocolo
Número de portadoras	1	2	3	Totales= 6
Salida Repetidor/canal	22.2	22.2	22.2	dBm
Salida Repetidor compuesto	30	30	30	dBm Max. Potencia
Pérdidas Combinador/Splitter Peor Escenario	-19.0	-19.0	-19.0	dB
1/2" Cable Length(ft) Peor Escenario	250.0	250.0	250.0	Pies
1/2" Cable Loss (dB)	-5.2	-5.2	-5.2	dB
Tipo de antena	Direccional	Direccional	Direccional	
Ganancia Antena	2.7	2.7	2.7	dBi
Salida Antena	0.7	0.7	0.7	dBm
Distancia máxima por cubrir	53.0	53.0	53.0	Ft
Path Loss	55.2	55.2	55.2	dB
Body Loss	-2.0	-2.0	-2.0	dB
Above the ceiling's Loss	0.0	0.0	0.0	dB
Wall/Clutter Loss	-8.0	-8.0	-8.0	dB
Fade Margin	-8.0	-8.0	-8.0	dB
RSSI Level	-72.0	-72.0	-72.0	dBm
50% Pilot/Paging/Sync (solo CDMA)	-72.0		-72.0	dBm

Tabla 4.5 - Cálculo de pérdidas con nuevas tecnologías adicionando equipo de alta potencia 20 Watts.

#### **4.1.3 Aprobación**

Se presenta el diseño (posición de antenas) al administrador del inmueble, una vez aprobado por él, se procede a presentarlo a la empresa que ocupa cada piso para obtener la firma y aprobación.

En caso de haber alguna objeción se realizarán las modificaciones en el diseño, se verificará nuevamente que la predicción de la cobertura cumpla con los requerimientos del operador. Se obtiene la aprobación y se procede a la implementación.

#### **4.1.4 Implementación**

Una vez aprobado el diseño por el operador celular lusacell el sistema se instaló. Al finalizar la instalación se realizaron pruebas de *walk test* nuevamente para verificar la instalación del sistema.

Como resultado se encontró ruido en el sistema. Para poder determinar el origen del ruido se realizaron:

- a) Pruebas de VSWR
- b) Pruebas de PIM (Intermodulación)

Estas pruebas arrojaron los resultados que se estaban buscando, el ruido interno en el sistema estaba provocando que el sistema aún con buenos niveles no fuera dominante, se determinó lo siguiente:

1. Hacer los cambios necesarios en conectores y líneas con problemas.
2. Realizar pruebas con medidores de potencia de todas las señales que entran al sistema.
3. Realizar pruebas con OTDR para calcular las pérdidas ópticas
4. Balancear adecuadamente el sistema.

#### **4.1.5 Optimización**

Se llevó a cabo la optimización del sistema. Una vez realizadas las pruebas se debe determinar que potencias programar en las radio bases y en los equipos remotos (Repetidores, WHR's).

Una vez que se han programado las potencias se debe probar el sistema por medio de *walk test* y monitoreando la actividad que reportan las radiobases que dan servicio al inmueble.

Se considera también como fuente de información las quejas que pueden presentar los usuarios en el inmueble, ya que el uso de la red celular puede variar en horarios y esto puede requerir un ajuste fino para poder encontrar problemas en capa uno y capa dos.

En el edificio se han presentado quejas en pisos donde se utilizan dispositivos como iPhone y BlackBerry que utilizan la red de forma más exhaustiva, se debe tomar en cuenta que el walk test es lo más cercano a saber qué experimenta el usuario final.

Se toma en cuenta también la estrategia del operador para manejar el cambio entre tecnología (2G, 3G y 4G), a cual se debe amarrar el usuario como opción número uno y cuándo se podría cambiar a otra tecnología (*handover*) para no causar problemas de "*ping-pong*".

#### **4.1.6 Operación**

Una vez conectados los operadores necesitan estar informados de qué problemas están ocurriendo y en qué piso, esto les servirá para saber la causa del problema que se presente y cuándo se va a eliminar.

Los problemas más comunes que se pueden presentar son:

- Desconexión de equipos
- Aumento de potencia por demanda de capacidad (esto puede afectar los niveles de señal)
- Falla en el suministro de energía eléctrica.

## **CAPITULO 5. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Como pudimos observar en los capítulos anteriores, especialmente en el capítulo 4 “caso aplicación”, en el cual se menciona detalladamente una implementación real de un sistema DAS, los retos que se han tenido que enfrentar a lo largo de los años desde la primera tecnología 2G TDMA fase 1 en el 2005, hasta la implementación de 4G en el 2012, la evolución tecnológica y la necesidad de que todas ellas compartan la misma infraestructura, ha requerido que el equipo se actualice constantemente la empresa Unwired Solutions ha tenido que desarrollar personal especializado, comprar equipos de medición, herramientas de diseño, post-proceso para poder determinar los siguientes pasos, los equipos que se necesitan para seguir a la vanguardia tal y como lo requiere el edificio ejemplo y como lo esperan los operadores y usuarios de los inmuebles.

En estos años se han tenido que llevar a cabo las fases mencionadas en el capítulo 3: levantamiento, diseño, aceptación, implementación, optimización y operación en 3 ocasiones a lo largo de 7 años para poder continuar proporcionando el servicio de acuerdo a los requerimientos de cada tecnología, las evoluciones tecnológicas, aumento de usuarios y capacidad requerida para cubrirla, el diseño original contemplaba niveles de señal de -85 dBm, esto no es suficiente para poder tener velocidades de datos requeridas en la actualidad para 3G y 4G por consiguiente, se tuvo que hacer un re-diseño para llegar a niveles de señal de -65 dBm y poder obtener las velocidades esperadas.

Para poder llegar a los -65 dBm se adicionaron de 4 a 6 antenas por piso, así como equipos de más alta potencia, dividir el edificio en 6 sectores para proporcionar la capacidad requerida por los 10,000 usuarios que diario habitan Torre Mayor.

La empresa dueña de la infraestructura realizó etapas I y II con una empresa extranjera en la modalidad "llave en mano", posteriormente decidió desarrollar las competencias necesarias en México para poder continuar con las etapas III, IV, V y VI. La capacidad de la empresa permitió llevar a cabo un análisis de las distintas opciones que existían y existen en el mercado, aprender cuáles son las mejores para cada inmueble, ya que cada solución debe ser estudiada a detalle dependiendo de:

- ✓ Las necesidades del edificio
- ✓ Las necesidades de los operadores
- ✓ El presupuesto que se tiene de acuerdo a un estudio para obtener un retorno de inversión adecuado
- ✓ Capacidades y velocidades de datos requeridas en el edificio.
- ✓ Facilidades de instalación

## **5.1 Diseño**

En la fase de diseño en la fase V en el caso Torre Mayor, se tiene que evaluar la posibilidad de cambiar equipos de 2Watts por equipos de 20 Watts, la razón principal es que al adicionar más tecnologías y/o portadoras el área cubierta se reduce ya que la potencia compuesta de salida es de +24 dBm con una portadora (carrier) y con dos se reduce a +20 dBm (como se puede ver en la figura 5.1), Con esto la reducción es muy considerable. Las dos opciones propuestas en la fase V del diseño son las siguientes:

a) Adicionar 2 tecnologías más en 850 GSM y HSPA con equipos Powerwave 5 Watts ALR 4200 (Figura 5.1) para la frecuencia 850 MHz.



Officer/Issued by Product Management	Date/Date 2007-05-04	Coth. and Approved MN	Doc nr/Doc no ALR4200/011-201	Rev 1	Side/Page
Doc name/Doc name PRODUCT SPECIFICATION			Title ALR4200_012_Rev1 specifications		

**CDMA 800 Compact Band selective Repeater**  
Adjustable bandwidth  
Product Number: AR4200/012

The repeater is designed to meet following requirements  
 Environmental FTSI EN 300 019  
 EMC FCC Rule 22  
 Radio Transmission and Reception FCC Rule 22

**Electrical specification (typical values)**

Frequency band Up link	824 - 849	MHz
Frequency band Down link	869 - 894	MHz
Duplex spacing	45	MHz
Absolute group delay	< 6	µs
Gain adjustment range DL/UL (1 dB steps)	55-70	dB
Gain (max variation -25 to +55 °C)	5	dB
Antenna isolation protection	Inbuilt	
Filter band width (remotely adjustable)	0.5-25	MHz
Filter setting resolution	12.5	kHz
Automatic gain control AGC	Inbuilt	
Out of band rejection @ 15 MHz BW, -1200 KHz off-set	28	dB
Out of band rejection @ 15 MHz BW, -600 KHz off-set	20	dB
Out of band rejection @ 15 MHz BW, +600 KHz off-set	20	dB
Out of band rejection @ 15 MHz BW, +1200 KHz off-set	28	dB
Spurious emission	< -13	dBm
Intermodulation	< -13	dBm
Pass band ripple	5	dB
Output power DL, RMS	+ 27	dBm
Output power UL, RMS	+ 24	dBm
Output power DL, 2 carrier	+ 23	dBm
Output power UL, 2 carrier	+ 20	dBm
Noise figure UL at 85 dB gain, 25° C (typical)	8	dB
Maximum input power (non-destructive)	+13	dBm
Input return loss	< - 14	dB
Power supply voltage (default)	85-265	V AC
Power consumption, max	<55	W

**Environmental specification**

Temperature range	-13 to + 131	°F
	-25 to + 55	°C
Casing class	NEMA4/IP65	

**Mechanical specification**

Dimensions. (W x H x D)	15.2 x 15.2 x 4.3	Inches
	385 x 385 x 110	mm
Weight	< 22	lbs
	< 10	kg
RF-connectors	N-type female	
Lock type	Safety bolts	

**Figura 5.1 – Datasheet equipo PowerWave**

b) Cambiar los equipos por cabezas de Radio WRH Deltanode de 20 Watts (observado en la Tabla 5.1) para las tecnologías CDMA, GSM y HSPA para la frecuencia 800-2200 MHz.

# DDH2XX SERIES

## GENERAL SPECIFICATIONS

Noise Figure	Typical	3	dB
Delay excluding optical fiber		< 0,5	µs
Power Supply	Mains	85 – 264	VAC or VDC
Operating Temperature		-25 - +55	
Casing		IP65	

## OPTICAL SPECIFICATIONS

RF Frequency range		88 – 2200	MHz
Flatness		+ 3	dB
Optical output power	Nominal	3	mW
DFB Laser output Wavelength		1270 - 1610	nm
Optical return loss		< -40	dB
Optical isolator	min	30	dB
Side-mode suppression ratio	min	30	dB
Maximum optical input power	non destructive	10	mW

## SPECIFICATIONS

Power Consumption	Typical	420	W
Dimensions	WxDxH	300 x 220 x 700	mm
Weight		< 28	Kg

## AVAILABLE PRODUCTS, AMERICAN CELLULAR, SINGLE BAND CONFIGURATION

System	UL Frequency MHz	DL Frequency MHz	Pout, DL, dBm	Standard
LTE	746 - 763	776 - 793	46/ 2x43	FCC
iDEN	806 - 824	851 - 869	46/ 2x43	FCC
Cellular	824 - 849	869 - 894	46/ 2x43	FCC
PCS1900	1850 - 1910	1930 - 1990	46/ 2x43	FCC
AWS	1710 - 1755	2110 - 2155	46/ 2x43	FCC

**Tabla 5.1 – Datasheet equipo Deltanode**

En el caso de los equipos Deltanode como se puede observar en la tabla 5.1 la potencia de salida es de +46 dBm para un carrier o portadora y de +43 dBm para dos portadoras, por lo que se tiene aún espacio para una expansión de portadoras futuras y buenos niveles.

A continuación podemos visualizar las predicciones que se obtienen con las dos opciones mencionadas anteriormente.

En la siguiente gráfica se observa la cobertura del equipo ALR4200 con una sola tecnología radiando CDMA 850:



**Figura 5.2 - Cobertura edificio en etapa 4 con equipo 2 Watts solo CDMA.**



En las siguientes tres gráficas se muestra la predicción utilizando el equipo de 2 Watts ALR4200 adicionando dos tecnologías más en 850 MHz, GSM y HSPA.

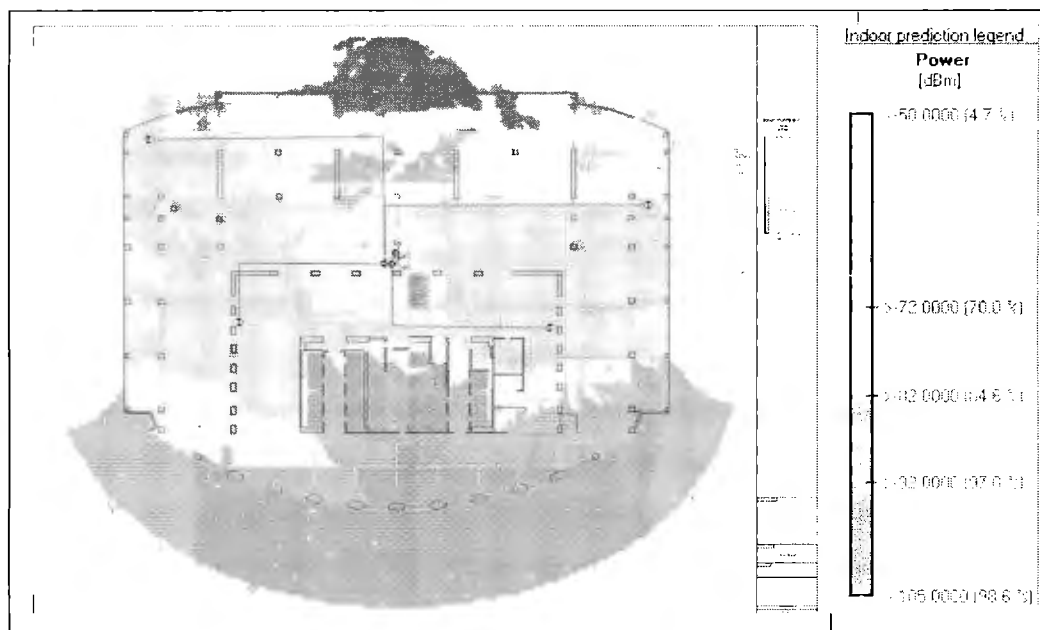


Figura 5.3 – Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para CDMA 850 adicionando GSM y HSPA

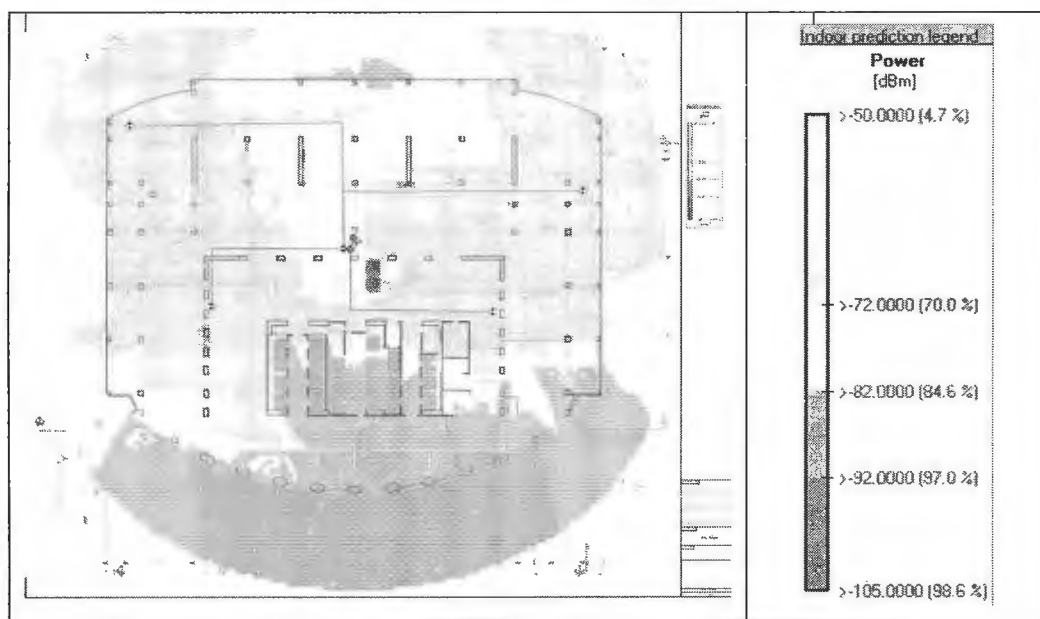


Figura 5.4 – Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para HSPA adicionando GSM y CDMA

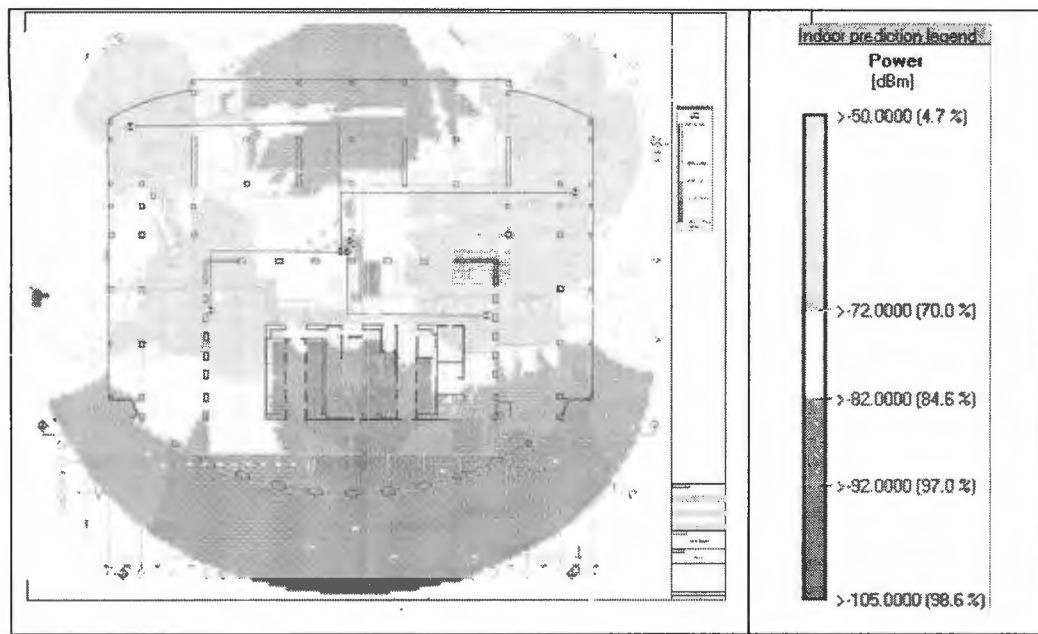


Figura 5.5 – Predicción de cobertura usando repetidor 2Watts para GSM adicionando CDMA y HSPA

En las siguientes tres gráficas se muestra la predicción utilizando el equipo nuevo WRH Deltanode de 20Watts para cada tecnología.

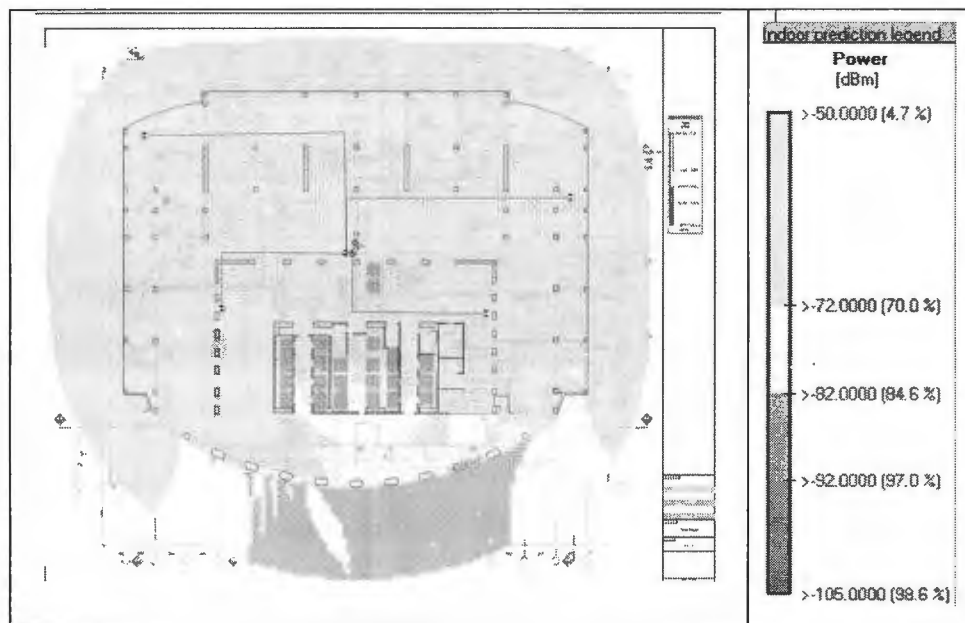


Figura 5.6 – Predicción de cobertura usando WRH 20 Watts con CDMA, HSPA y GSM 850

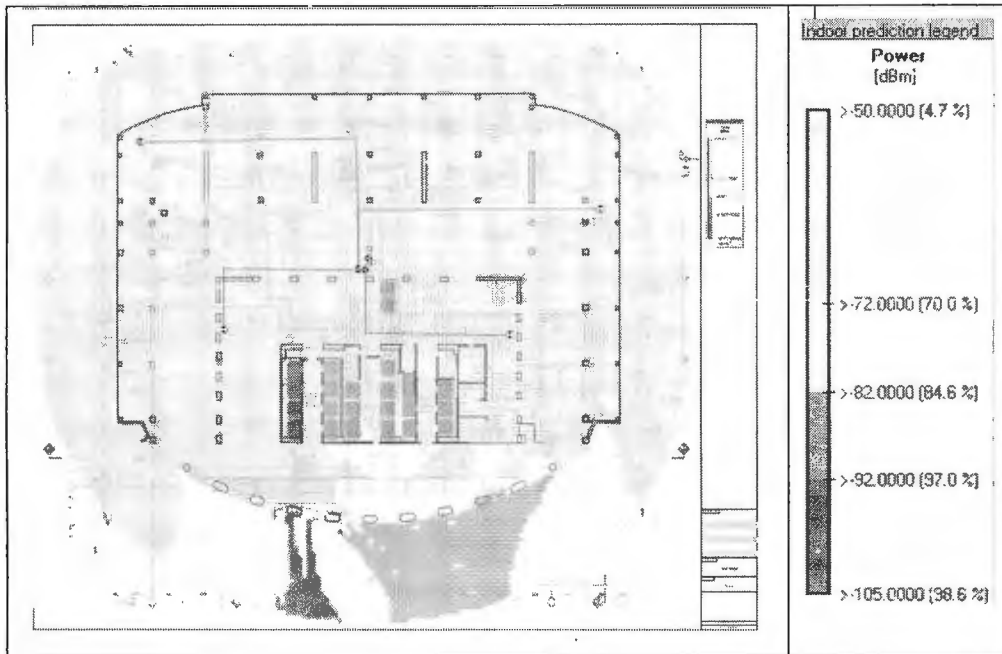


Figura 5.7 – Predicción de cobertura usando equipo WRH 20 Watts con HSPA, GSM y CDMA 850

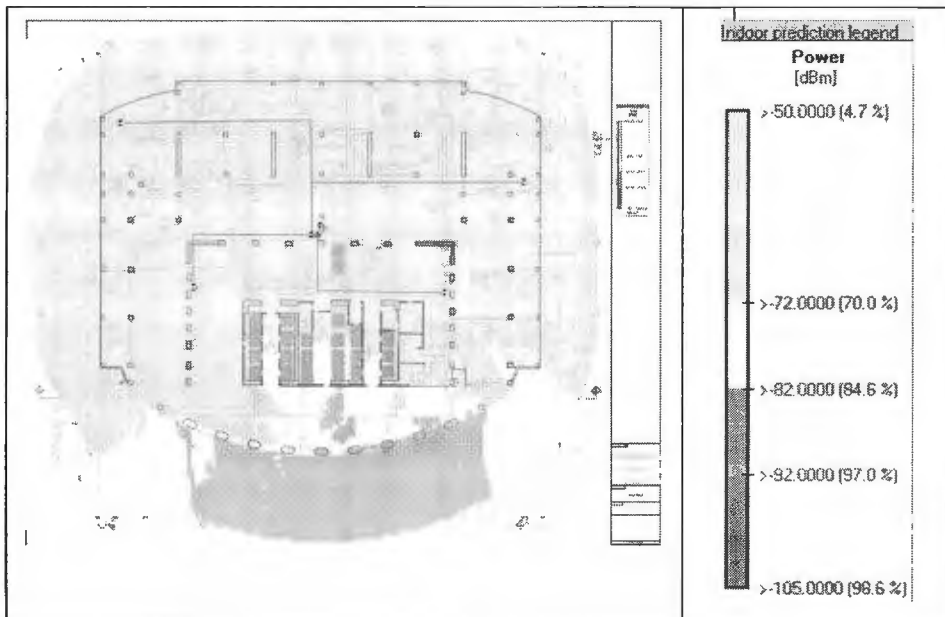


Figura 5.8 – Predicción de cobertura usando equipo WRH 20 Watts con GSM, HSPA y CDMA 850.

## 5.2 Análisis de Instalación

Una vez finalizada la instalación se determinó que el ruido podía ser causado por la intermodulación pasiva PIM.

La intermodulación pasiva se crea cuando dos o más señales son transmitidas simultáneamente a través de una interfaz pasiva, con características no lineales, se crean nuevas frecuencias llamadas productos pasivos de intermodulación PIM. Estas frecuencias adicionales afectan la transmisión, cuando están situadas en la señal de subida o la banda de recepción de la estación base, el resultado puede ser desensibilización que es independiente del piso de ruido como se puede observar en la siguiente imagen:

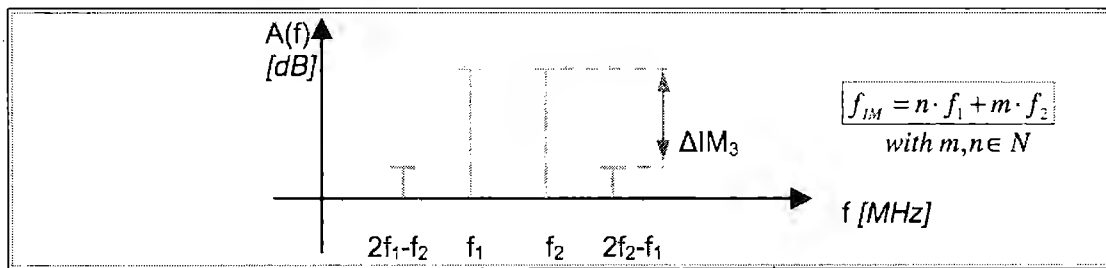


Figura 5.9 Productos de intermodulación de tercer orden [VI]

Las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  son frecuencias de tierra y  $2f_1 - f_2$  y  $2f_2 - f_1$  son frecuencias del 3er orden (IM3). El orden está definido por  $(m+n)$  y el cálculo del producto y el orden se observa en la siguiente tabla.

Fórmula para productos IM	Orden - IM
$2 \times f_1 - 1 \times f_2 = f_{IM3}$	$2+1 \Rightarrow IM_3$ (3er orden)
$2 \times f_1 - 2 \times f_2 = f_{IM5}$	$3+2 \Rightarrow IM_3$ (5to orden)

Tabla 5.2 - Fórmulas para productos IM [VI]

La intermodulación puede ser definida de la siguiente forma:

- La diferencia (relativa) entre la amplitud de los productos de intermodulación y la amplitud las frecuencias de tierra (carrier). La unidad de  $\Delta IM_3$  es [dBc].
- La potencia absoluta de los productos de intermodulación es relativa a 1mW

Por ejemplo: (+43dBm (carrier; IM3 = -110 dBm = -153 dBc).

La intermodulación pasiva puede ser causada por componentes pasivos tales como:

- Conectores
- Antenas
- Atenuadores
- Filtros
- Cables
- Acopladores

La razón principal de que estos elementos sean causantes de la intermodulación es que estos componentes tienen las siguientes características:

Cuando se utilizan conectores con materiales ferromagnéticos (níquel, acero), éstos pueden estar corroídos u oxidados, tienen impurezas (partículas metálicas), o las conexiones están flojas (no se elaboraron de forma adecuada).

Los estándares para las pruebas de calidad de estos componentes están publicados en el "IEC Technical Comitee 46W6 con el estándar 62037" (www.iec.ch).

En sitio se realizaron las siguientes pruebas:

- ✓ Pruebas PIM, en tres pisos con un analizador de pruebas PIM.

Se hicieron varias pruebas con *jumpers*, para obtener los niveles dBc, de tres pisos del inmueble, ningún *jumper* cumplió con lo requerido en las especificaciones que se marcan por norma (mencionados anteriormente).

Los resultados de estas pruebas fueron los siguientes:

- PIM piso 1 : PIM -114 dBc

- PIM piso 2 : PIM -90 dBc
- PIM piso 3: PIM -91 dBc

El equipo de medición utilizado fue un PMI Summitek 1900a



Figura 5.10 - Equipo de medición PIM Summitek

El tipo de conectores utilizados en esta instalación fueron con un umbral de PIM que está dentro de los parámetros obtenidos en esta medición, sin embargo se pueden cambiar dichos conectores por unos de bajo PIM para obtener mejores mediciones. Los problemas encontrados fueron: falso contacto, instalación incorrecta.

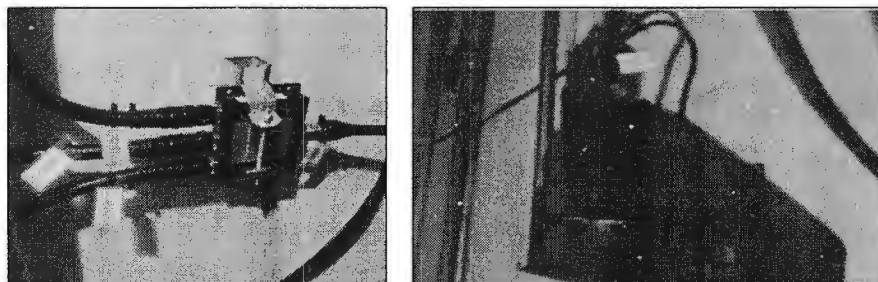


Figura 5.11 - Mala instalación (izquierda) y falso contacto (a la derecha)

A partir de los resultados se emitieron las siguientes recomendaciones:

- a) Seguir las instrucciones de instalación recibida en la certificación.
- b) Eliminar todos los remanentes metálicos en el cable antes de armar el conector.
- c) Utilizar SIEMPRE las herramientas adecuadas de acuerdo a cada marca de cable y conectores.
- d) Utilizar cables y conectores de la misma marca
- e) Apretar el conector con el torque adecuado.
- f) Sellar adecuadamente el conector y cable utilizados.

## **5.2 Análisis de Optimización**

### **5.2.1 Análisis de ruido por medio de estadísticas:**

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron al hacer el análisis de ruido ya que se detectó un problema de desempeño del sistema, una vez implementado, al conectar el nodo B se reportó ruido. Para poder analizar la información se solicitan estadísticas (del equipo nodo B de Huawei) para poder determinar la causa del ruido.

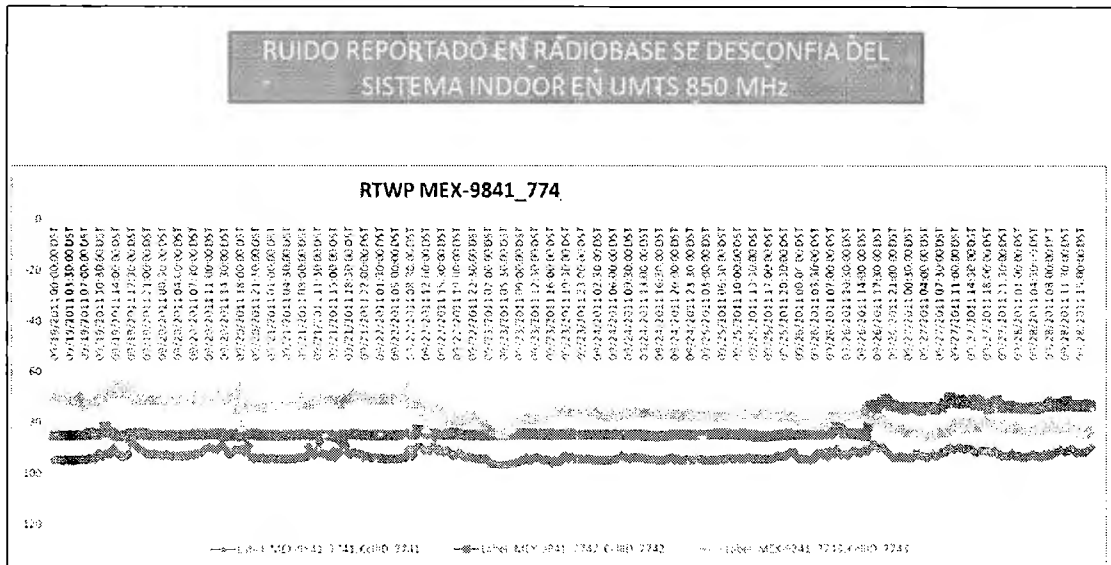
El desempeño deficiente es reportado por el operador, el fabricante del nodo B (Huawei) argumentaba que el ruido era causado por el sistema DAS. Se decide acordar con el operador la desconexión del sistema DAS y continuar grabando las estadísticas en un periodo de tiempo, las gráficas serían enviadas inmediatamente para poder analizar y comparar los resultados.

### **5.2.2 Análisis de ruido**

Una vez implementado el sistema se debe hacer una optimización exhaustiva que consiste en:

- Analizar las estadísticas del operador

- Realizar walk test comparándolo contra los niveles del diseño
- Post-procesar la información recolectada en el walk test
- Analizar los resultados y hacer recomendaciones al operador. En caso necesario hacer adiciones o reubicación de antenas.



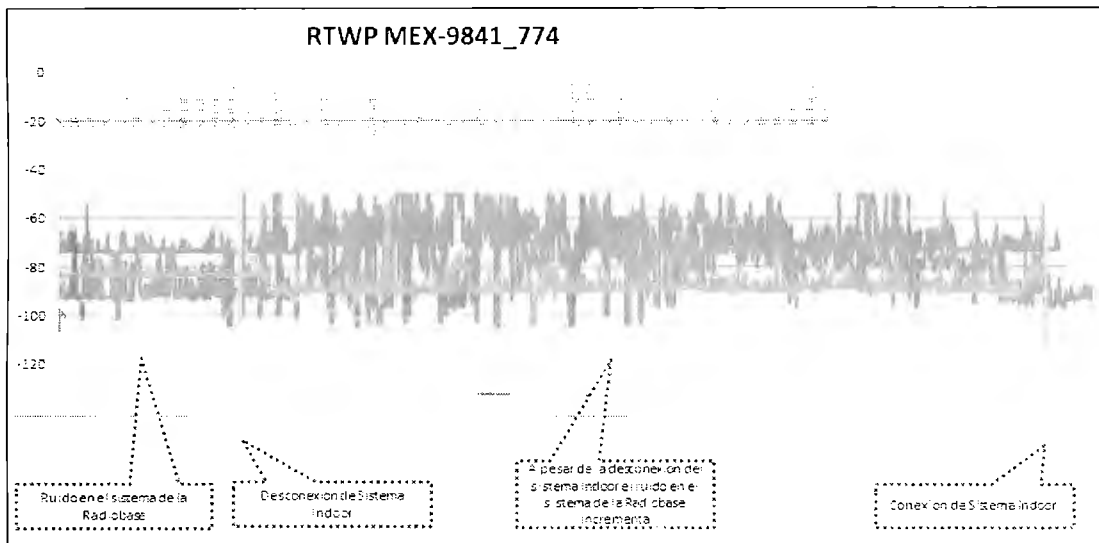
**Figura 5.12 – Ruido reportado en Radiobase**

En esta Imagen podemos observar 3 muestras de comportamiento de los niveles de RSSI (ruido en UL) de una radio base del operador. Los colores Indican el sector correspondiente de la radiobase, Sector A azul, Sector B rojo y sector C en verde.

Los rangos normales de RSSI (UL) en una radiobase dependen en gran parte del tráfico cursante por la misma pero en definitiva esta medición debería estar por debajo de los -95 dBm por lo que todo lo que sea superior a este valor se verá como alta interferencia y se verá reflejado con baja calidad de servicio en voz y datos así como en baja capacidad de aceptación de usuarios.

En esta gráfica se puede observar que el sector C presenta un elevado RSSI en UL al igual que el sector B que se muestran superiores a los -95 dBm. El operador presume que el ruido proviene del sistema DAS que está conectado a su radiobase.



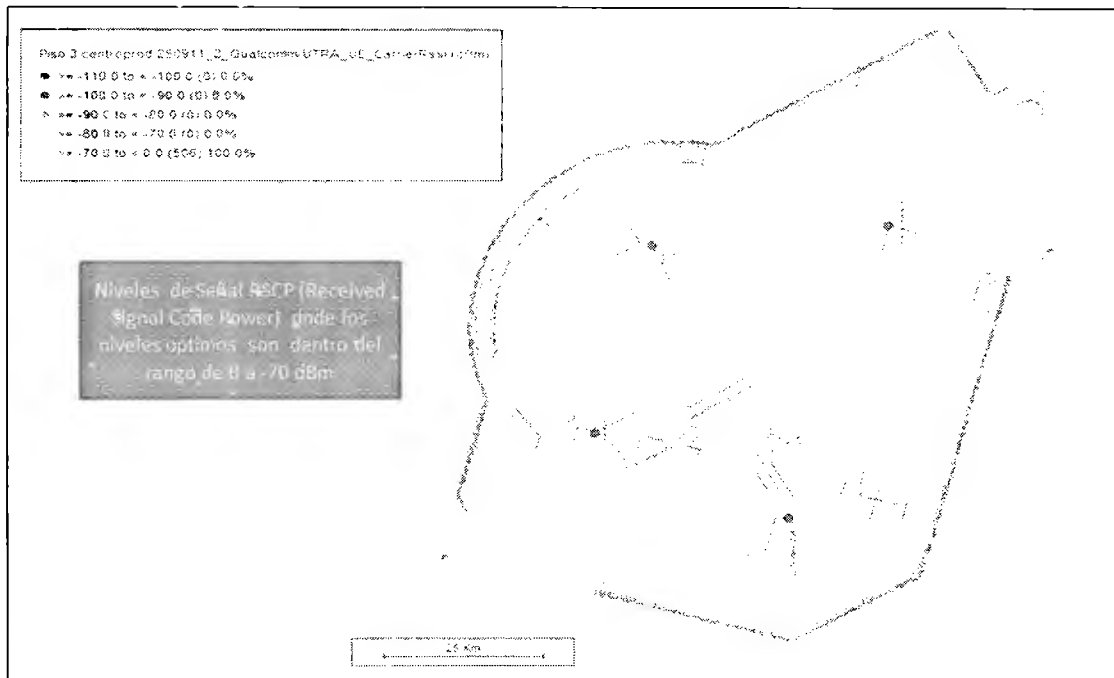


**Figura 5.13 – Comportamiento de ruido desconectando y conectando sistema DAS**

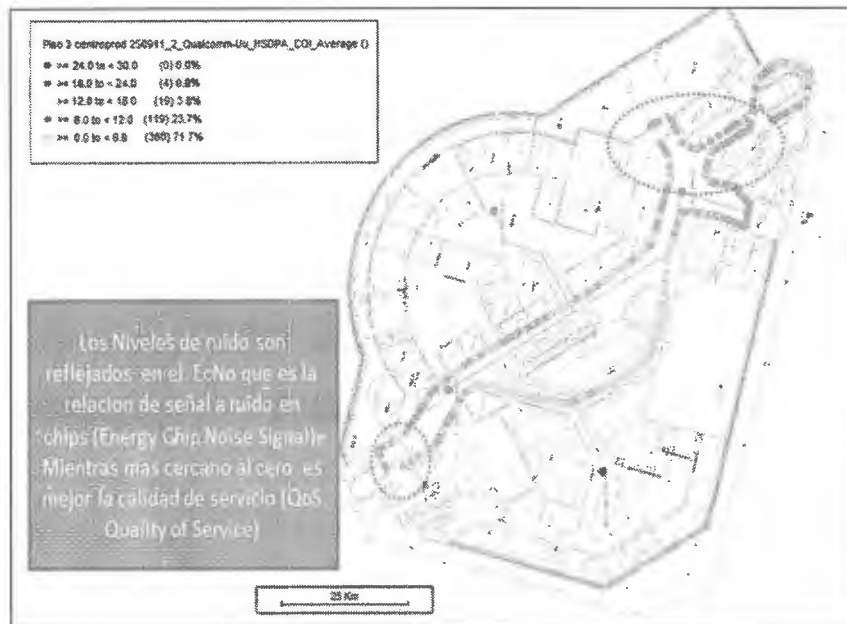
Se realizó una prueba de desconexión del DAS programado para definir si el sistema del operador mejoraba en los niveles elevados de RSSI pero como se observa al momento de desconectar el sistema DAS no mejora el desempeño de los sectores, este horario manejado es de alta cantidad de tráfico para el sitio observado por lo que el ruido en UL permanece. Con esto podemos demostrar que el ruido monitoreado por el operador lo presenta su sistema con y sin DAS por lo que ahora le corresponderá al operador verificar el buen funcionamiento de sus equipos así como la instalación de su sistema celular.

A continuación se muestran resultados de un *walk test* realizados una vez que el sistema DAS está en funcionamiento analizando los principales parámetros necesarios para verificar el funcionamiento del sistema DAS. En este caso para la tecnología UMTS:

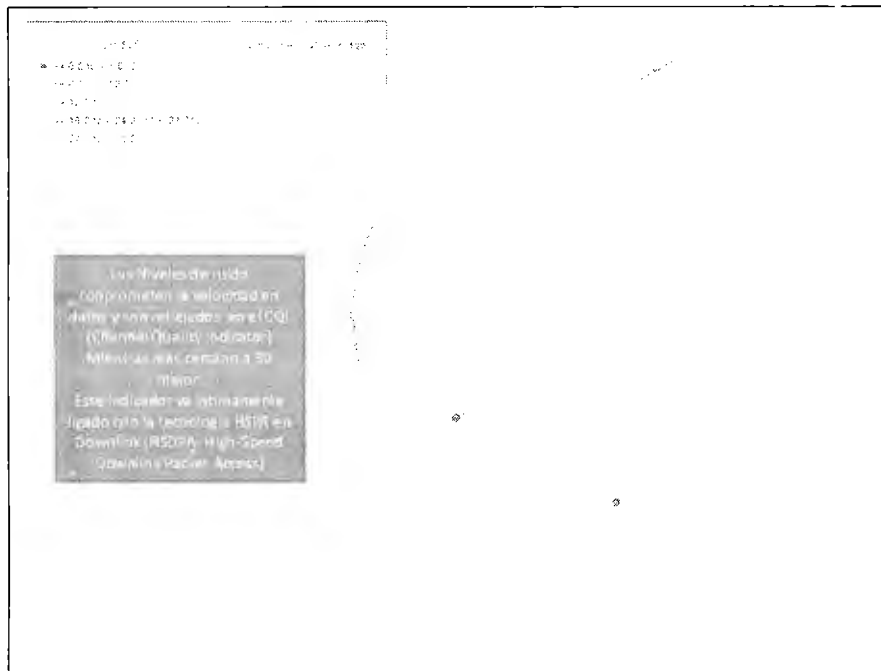
- Intensidad de señal recibida: RSCP
- Niveles de ruido en voz: EcNo
- Niveles de ruido en datos: CQI



**Figura 5.14 - Niveles de señal RSCP (Received Signal Code Power) donde los niveles óptimos son dentro del rango de 0 a -70 dBm en UMTS 850.**



**Figura 5.15 - Niveles de ruido son reflejados en el EcNo que es la relación UMTS 850.**



**Figura 5.16 - Niveles de ruido comprometen la velocidad de datos CQI ligado con la tecnología HSPA en *Downlink*.**

De acuerdo a las 3 últimas figuras vemos un buen funcionamiento del sistema:

- Para los niveles de RSCP tenemos una cobertura de señal mayor a -70dBm, donde los niveles óptimos deben estar en el rango de 0 a -70dBm.
- Para los niveles de voz de manera óptima los valores deben acercarse a 0. En la imagen correspondiente al EcNo se pueden observar los valores son menores a 10.
- Para los niveles de CQI, de manera óptima los valores medidos deben estar en el rango de 20 a 30. Si observamos la última imagen, aunque existen valores medidos más bajos del parámetro óptimo la mayor cantidad de muestras obtenidas se muestran en el rango óptimo de 20 a 30 para CQI.

### 5.2.3 Análisis de Capa 2 y 3

Para determinar los problemas que los usuarios finales están reportando en datos, especialmente los que tienen teléfonos iPhone y BlackBerry, para ello se lleva a cabo *Walk Test*, post proceso y análisis especializado.

A continuación se presenta un análisis de Capa 2 y 3 para un Caso en particular del piso 33 de Torre Mayor donde se presentaron problemas al realizar un walk test en dicho piso como parte de la fase de optimización.

- Walk Test con TEMS INVESTIGATION para el análisis de capa 2 y capa 3

Se realizó WT para operador Telcel, Iusacell y Movistar en voz y datos para la tecnología WCDMA obteniendo los siguientes resultados.

La problemática del piso se mostraba estrictamente en datos, elevado paging y registro sin accesibilidad para Movistar.

Longitud	Latitud	Message Type	Event	Event Info
-99.22466678	19.55263625	List Search v4	Blocked Call	Block type: N-300 and T-300 expiry . . call time 10203 ms
-99.25032529	19.5415392	RRC State	Blocked Call	registration
-99.2485835	19.53953614	RRC State	Blocked Call	registration
-99.24232222	19.50460864	RRC State	Blocked Call	registration
-99.25300215	19.5349181	RRC State	Blocked Call	registration
-99.25323133	19.5351427	RRC State	Blocked Call	registration

Figura 5.17 – Problemas de accesibilidad en datos

La gráfica de AS muestra elevadas solicitudes de AS RL

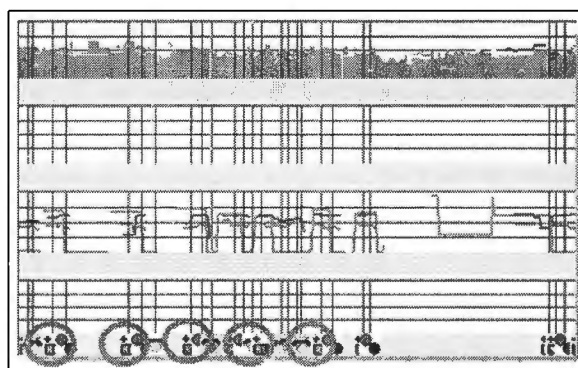


Figura 5.18 – Solicitudes AS RL en el móvil



Con el software de análisis RF tools se obtiene que se registró el Móvil satisfactoriamente:

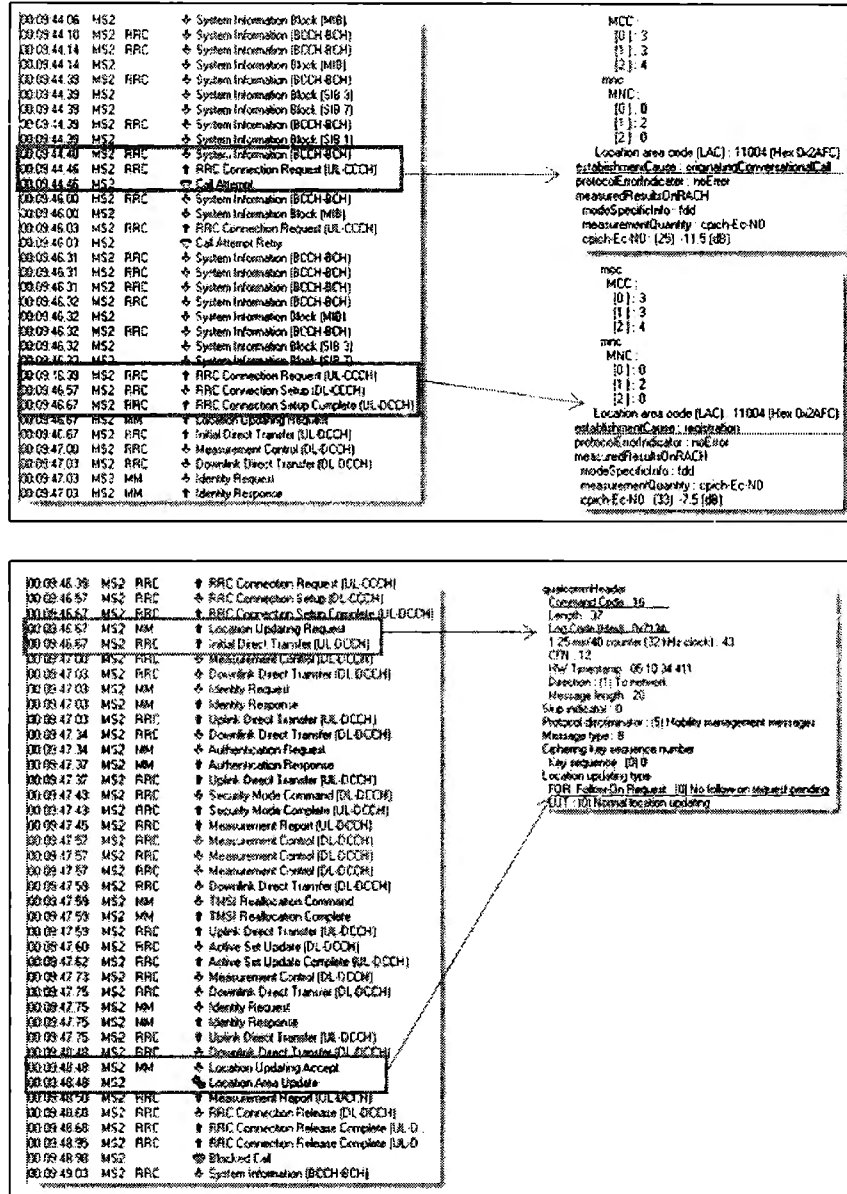


Figura 5.20 – Resultados de RRC mediante la herramienta de RF tools



En la siguiente figura se visualizan dos parámetros importantes: Quantity CPICH EcNo y valor del Update donde nos dice en capa 2 que el EcNo está en -16.5 (dB) y el Update resultó en "follow proceed /RA update". Por este motivo se presentan problemas de accesibilidad al sistema.

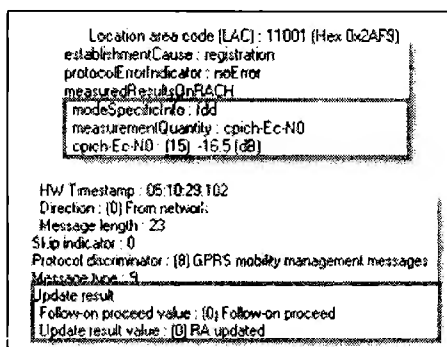


Figura 5.23 – Quantity CPICH EcNo y Update en el móvil

Es importante saber porqué el EcNo está elevado si en las mediciones realizadas no se visualizan.

00:09:41:14	MS2	Call Initiation
00:09:41:17	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:17	MS2	Identity Request
00:09:41:18	MS2	Identity Response
00:09:41:18	MS2	Uplink Direct Transfer (UL-DTCH)
00:09:41:18	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:19	MS2	Authentication Request
00:09:41:21	MS2	Authentication Response
00:09:41:21	MS2	Uplink Direct Transfer (UL-DTCH)
00:09:41:21	MS2	Measurement Report (UL-DTCH)
00:09:41:25	MS2	Active Set Update (DL-DTCH)
00:09:41:25	MS2	Active Set Update Complete (UL-DTCH)
00:09:41:28	MS2	Measurement Control (DL-DTCH)
00:09:41:37	MS2	Measurement Report (UL-DTCH)
00:09:41:46	MS2	Security Mode Command (DL-DTCH)
00:09:41:46	MS2	Security Mode Complete (UL-DTCH)
00:09:41:48	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:48	MS2	Routing Area Update Accept
00:09:41:48	MS2	Routing Area Update
00:09:41:48	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:48	MS2	Routing Area Update Complete
00:09:41:48	MS2	Uplink Direct Transfer (UL-DTCH)
00:09:41:48	MS2	TMSI Reallocation Command
00:09:41:50	MS2	TMSI Reallocation Complete
00:09:41:50	MS2	Uplink Direct Transfer (UL-DTCH)
00:09:41:52	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:52	MS2	Identity Request
00:09:41:52	MS2	Identity Response
00:09:41:52	MS2	Uplink Direct Transfer (UL-DTCH)
00:09:41:59	MS2	Downlink Direct Transfer (DL-DTCH)
00:09:41:59	MS2	Location Updating Accept
00:09:41:59	MS2	Location Area Update
00:09:42:10	MS2	Measurement Report (UL-DTCH)
00:09:42:10	MS2	Measurement Report (UL-DTCH)
00:09:42:10	MS2	Signaling Connection Release (DL-DTCH)
00:09:42:10	MS2	RRC Connection Release (UL-DTCH)
00:09:42:10	MS2	RRC Connection Release Complete (UL-DTCH)
00:09:42:11	MS2	RRC Connection Release Complete (UL-DTCH)
00:09:42:09	MS2	System Information (RACH/BCCH)
00:09:42:01	MS2	System Information Block (SIB 3)

Figura 5.24 – Eventos de señalización del móvil



Después del análisis se puede concluir que el problema se presenta porque los niveles elevados de ruido son en UL y en DL y se presenta el LAC (*Location Area Control*). Por lo tanto, se debe analizar el código de UL para determinar la falla y que provoca LAC en DL.

Analizando con el software se obtienen dos códigos como se muestra:

```

MNC :
  (0) 0
  (1) 2
  (2) 0
Location area code (LAC) : 11091 (Hex 0x2AF9)
lac : 1 (Hex 0x01)
establishmentCause : registration
protocolDiscriminator : not set
measuredResult : OnRACH
measSpecchInfo : ldd
measurementQuantity : cpichEcNo
cpichEcNo : (9) -19.5 (dB)

Protocol discriminator : (5) Mobility management messages
Message type : 8
Ciphering key sequence number
Key sequence : (7) No key is available
Location updating type
FDI : Follow-On Request... (1) Follow-on request pending
LUT : (0) Normal location updating
Location Area Identification
Mobile country code (MCC) : 334
Mobile network code (MNC) : 020
Location area code (LAC) : 85534 (Hex 0x145E)

Command Code : 16
Sequence ID : 0
Orig Code (Hex) : 0x7134
1:250x400 (center) 12.4 kHz rx 1 : 43
CPN : 12
HSP TimeStamp : 05/10/24 4:11
Direction : (1) To network
Message length : 20
SI indicator : 0
Protocol discriminator : (5) Mobility management messages
Message type : 8
Ciphering key sequence number
Key sequence : (0) 0
  
```

Figura 5.25 – Códigos de error observados en el análisis

En los estándares de parámetros de optimización se tiene lo siguiente:

HSPA/EUL	
<b>numHsPdschCodes</b>	Define el número de códigos asignados en una llamada para HS-PDSCH(SF 16)
<b>maxNumHsPdschCodes</b>	Define el número máximo de códigos HS-PDSCH que pueden ser asignados en una celda
<b>hsdpaUserAdm</b>	Parámetro de la celda que define los usuarios permitidos para el HS-PDSCH
<b>maxNumHsdpaUsers</b>	Límite máximo de usuarios HSDPA permitidos para ser atendidos por celda simultáneamente.
<b>eulServingCellUsersAdm</b>	Define el número de usuarios EUL permitidos teniendo la celda como servidora
<b>eulNonServingCellUsersAdm</b>	Define el número de usuarios EUL permitidos teniendo la celda sin ser celda servidora
<b>pmNoOffTermSpeechCong</b>	Número de conexiones de radio por RNC terminadas debido a la congestión del servidor
<b>pmNoSysRelSpeechUISynch</b>	Número de desconexiones del sistema por llamada debido a la pérdida de sincronía en Uplink

Tabla 5.3 – Parámetros de optimización para HSPA

Los parámetros arrojados por el postproceso realizado son:

- *pmNoOffTermSpeechCong*
- *pmNoSysRelSpeechUISynch*

Estos dos tipos de errores se muestran debido a factores como: errores de instalación, problemas de sistemas radiantes, equipos dañados, etc.

Es importante señalar que este procedimiento de optimización se debe realizar en cada piso del inmueble para cada operador realizando pruebas de voz y de datos para validar el buen funcionamiento del DAS y verificar que no exista algún problema de accesibilidad como el que se presentó en el piso 33 en el inmueble de Torre Mayor.

Después de realizar los trabajos de optimización para todos los operadores y con las herramientas adecuadas se pudo concluir lo siguiente:

Las herramientas de medición y análisis en voz y datos, proporcionan las diferentes perspectivas y soluciones a necesidades diarias en los diferentes proyectos, estas fueron aplicadas en Torre Mayor en los diferentes pisos y problemas específicos reportados por los operadores celulares y los usuarios especialmente de BlackBerry y iPhone.

Estas herramientas se dividen en:

- a) Medición
- b) Análisis

Considerando el tamaño de Torre Mayor, la complejidad de los accesos y la cantidad de tecnologías a medir: CDMA 1x (voz), CDMA EvDO (datos), GSM 1900 (voz y datos) Iusacell, GSM (voz y datos) Telefónica, GSM 850 (voz y datos) Iusacell, WCDMA 1900 (voz y datos) Iusacell, WCDMA 850 (voz y datos) Iusacell, iDEN 800, WCDMA 850 (voz y datos), se deben dar tres vueltas por piso.

Con las herramientas de medición se recolectaron los datos y con las de análisis se analizan y encuentran soluciones básicas del sistema así como también la posibilidad de proporcionar recomendaciones básicas, por ejemplo niveles de señal con problemas, ruido externo, mediciones de vecindades *outdoor*, etc. Y finalmente proporcionar al operador una perspectiva de calidad de servicio en el sistema instalado, además de asegurar que el operador tendrá un servicio óptimo para sus clientes.

Se utilizaron herramientas para CDMA /EVDO con el objetivo de hacer un análisis de protocolos en datos. También se utilizaron herramientas para analizar WCDMA y AWS, análisis de datos HSPA y HSPA+PLUS tecnologías en datos para operadores 3G (Telcel, Iusacell, Movistar, Nextel) y para LTE análisis de datos.

Para el caso de Torre Mayor, cuando se presenta una queja de clientes finales, que expresan su experiencia real del servicio brindado para telefonía móvil, especialmente los que utilizan iPhone y BlackBerry que son equipos que señalizan constantemente y consumen mayor capacidad de la red, utilizando las herramientas antes mencionadas se han encontrado problemas y permiten dar solución a las fallas en voz y datos.

Debido a que los teléfonos que se pueden conectar a los equipos de medición son de media categoría (como se presentó en la fase del levantamiento del capítulo 3), ya que no existen equipos BlackBerry o iPhone que se puedan conectar a los equipos de medición y estos equipos así como otros sistemas operativos de teléfonos (Android, Smart Phones) requieren trato especial, por lo que estas herramientas ayudan en gran parte a encontrar fallas en los sistemas que no se pueden visualizar con una herramienta común.

Con las herramientas utilizadas se han solucionado los casos presentados en Torre Mayor (ocasionados a partir de la migración de equipos de tecnología 2G a 3G) como se presenta en la siguiente tabla, respaldando que el sistema DAS

implementado se encuentra 100% libre de fallas, sustentando así al operador que la falla se puede encontrar en la configuración de parámetros, el enlace, entre otros.

Piso	Problemática	Compañía	Causa	Solución
53	Bajas velocidades en transferencia de datos	lusacell	Errónea configuración de cambio de servidores en el sistema. Encolamiento y pérdida de paquetes.	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA. Código SHO corresponde a lusacell, solucionarlo en su radiobase.
52	Bajas velocidades en transferencia de datos	lusacell	Errónea configuración de cambio de servidores en el sistema. Encolamiento y pérdida de paquetes.	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA. Código SHO corresponde a lusacell, solucionarlo en su radiobase.
49	Bajas velocidades en transferencia de datos	Movistar	Línea dañada y conector dañado en instalación. SIR elevado (ruido interno del sistema DAS)	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA y cambio de línea dañada detectada
42	Bajas velocidades en transferencia de datos	Telcel	<i>Splitter</i> con bajo desempeño, SIR elevado, IRAT y accesos fallidos al sistema.	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA y cambio de <i>splitter</i>
21	Bajas velocidades en transferencia de datos	Telcel	<i>Splitter</i> con bajo desempeño, SIR elevado, IRAT y accesos fallidos al sistema.	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA y cambio de <i>splitter</i>
18	Bajas velocidades en transferencia de datos	Telcel	<i>Splitter</i> con bajo desempeño, SIR elevado, IRAT y accesos fallidos al sistema.	Análisis RF Tool y HS Tool WCDMA y cambio de <i>splitter</i>

Tabla 5.4 – Solución de problemas por piso para Torre Mayor

#### 5.2.4 Caso de contaminación de pilotos.

Se presenta un caso en el cual se tiene problemas para generar llamadas o sesiones de datos reportado en el piso 10 de Torre Mayor.

Se lleva a cabo un recorrido walk test así como el post proceso de la información. Las muestras que se obtuvieron fueron las siguientes:

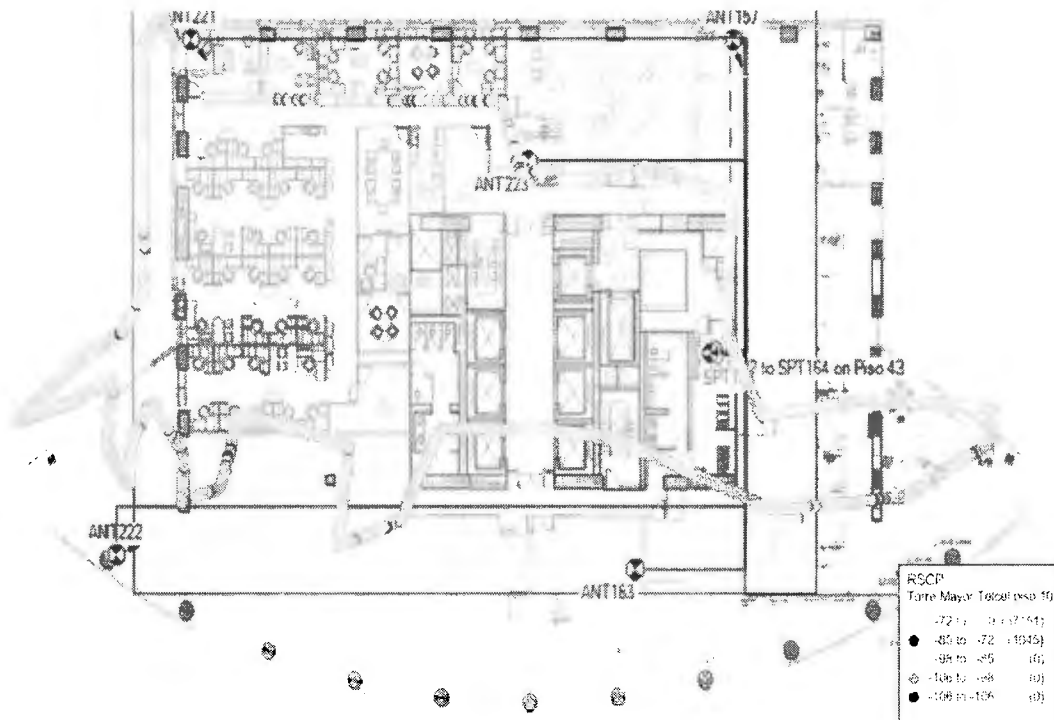


Figura 5.26 - Niveles de RSCP caso piso 10

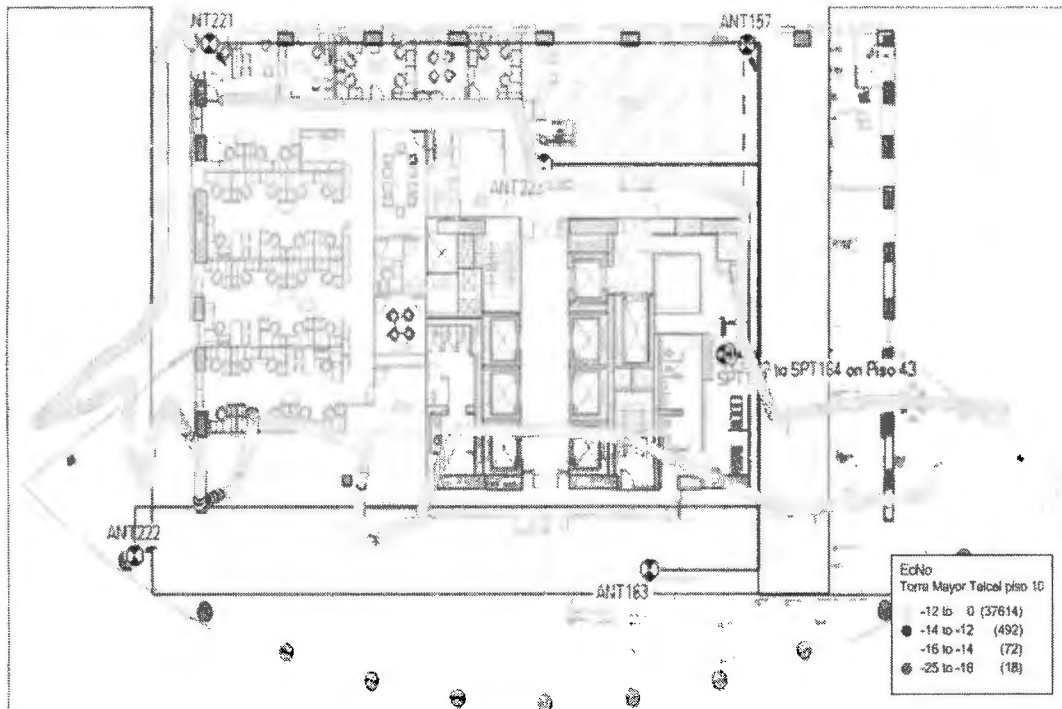


Figura 5.27 - Niveles de EcNo caso piso 10

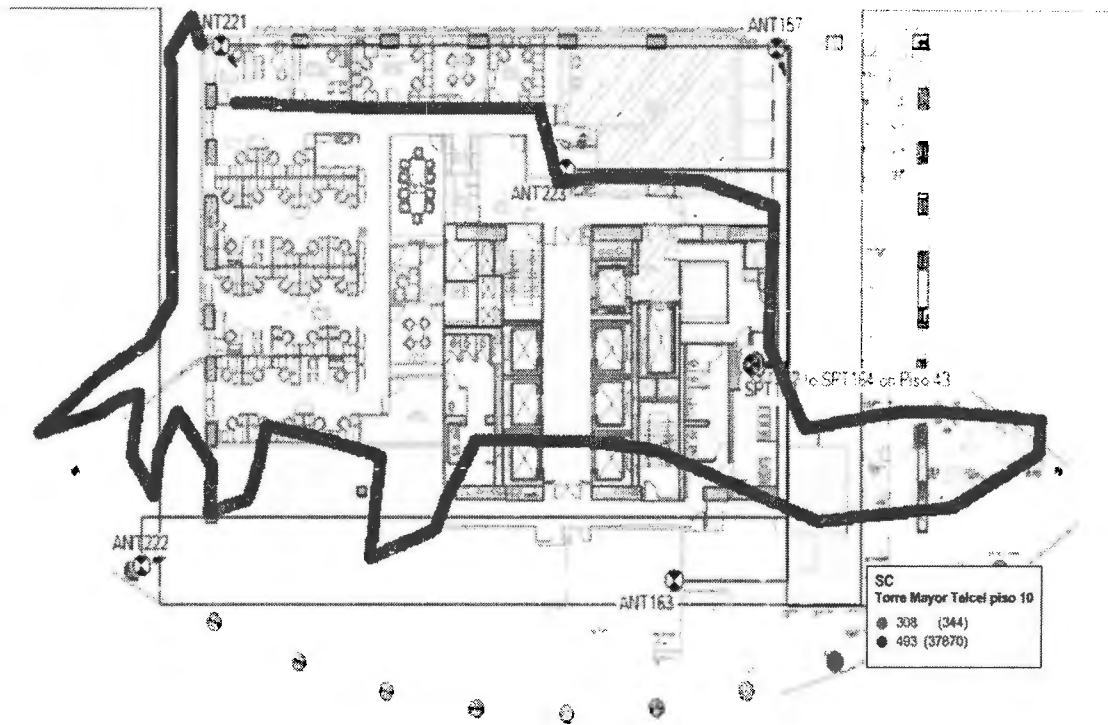


Figura 5.28 - Pilotos (SC) caso piso 10

Se observa el SC 308 que corresponde al sector 3 del sitio DF4821 el que esta teniendo presencia en un punto del piso 10 de Torre mayor, generando contaminación de pilotos (*pilot plotuion*). Se solicitan estadísticas al operador de su herramienta *SMART*.

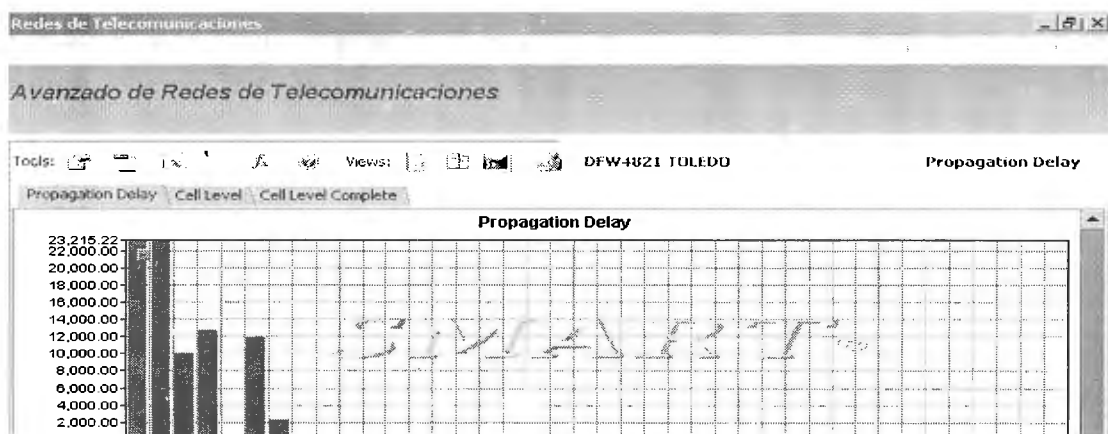


Figura 5.29 - Estadísticas de propagación sitio Toledo DFW4821

Revisando estadísticamente el sitio se observa que el sitio TOLEDO II DF4821 sector 3 tiene un poco de sobre propagación, a pesar de que no es significativa, se recomienda delimitar su cobertura.

Se sugieren los siguientes cambios al operador:

- Se genera CR 1149125 para el ajuste de primaryCpichPower a 290 en el sector DFZ4821 y balanceo al 5% del maximumTransmissionPower a 420 en sector DFZ4821 y DFW4821.
- Se genera CR 1149107 para la inclinación mecánica de 2° a 3° del sector DFZ4821

Cuando se llevan a cabo los problemas de contaminación de pilotos se acaba en el piso 10 y se pueden generar sesiones de datos y llamadas sin problemas.

### 5.2.5 Problema de accesibilidad debido a ruido en elementos pasivos

Se presentan fallas en accesibilidad, no se enlazan llamadas ni permiten sesiones de datos. Se lleva a cabo un walk test y se pueden registrar buenos niveles de RF y de calidad.

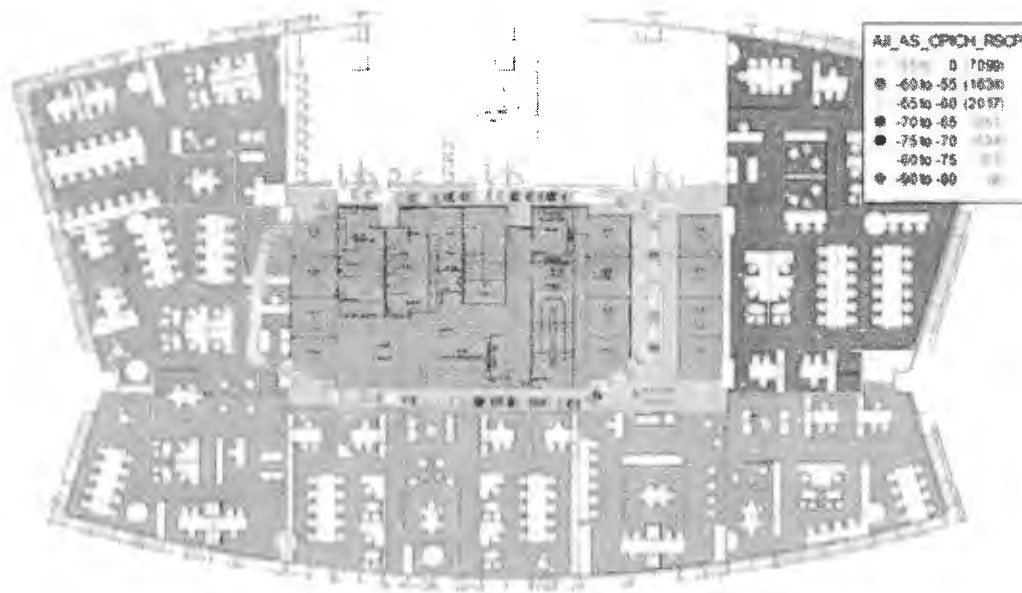


Figura 5.30 Niveles de RSCP antes del protocolo

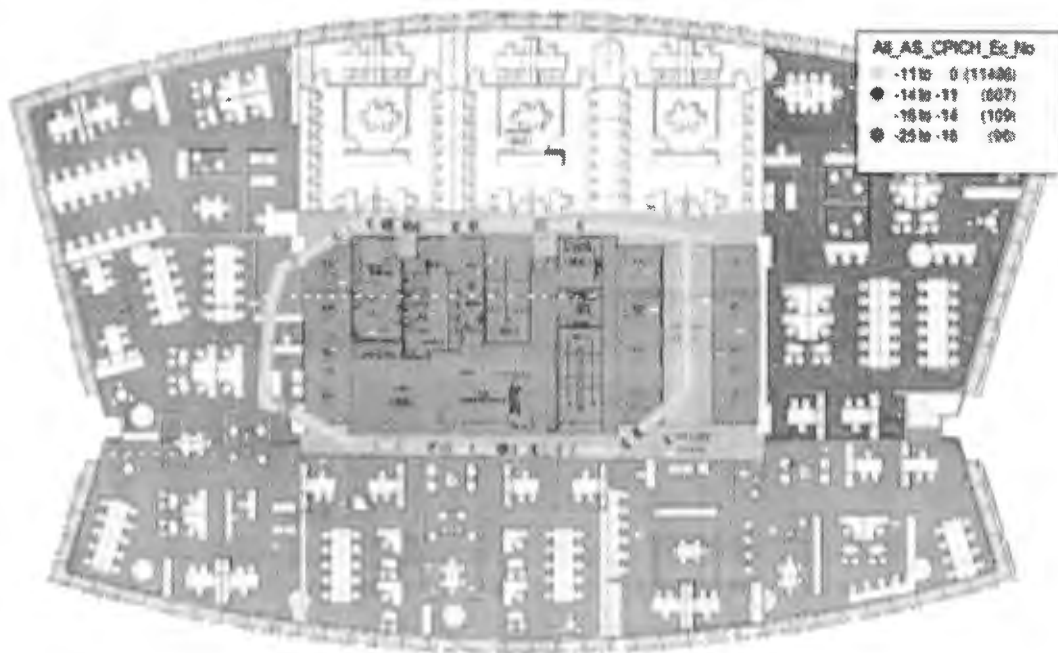


Figura 5.31 - Niveles de EcNo antes del protocolo

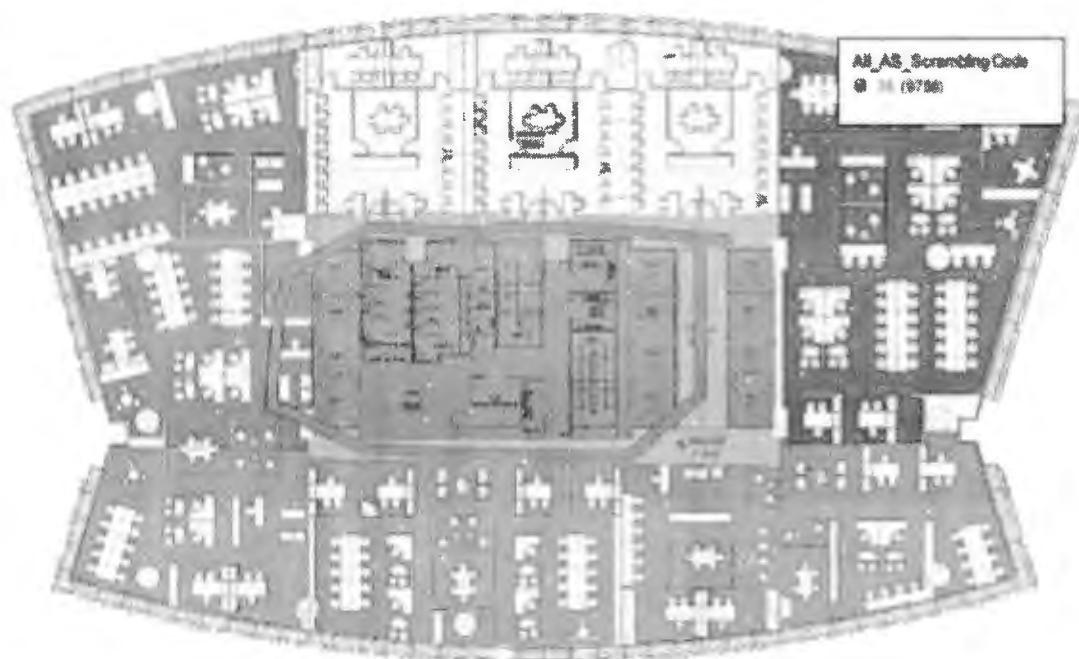


Figura 5.32 - Pilotos (SC) antes del protocolo



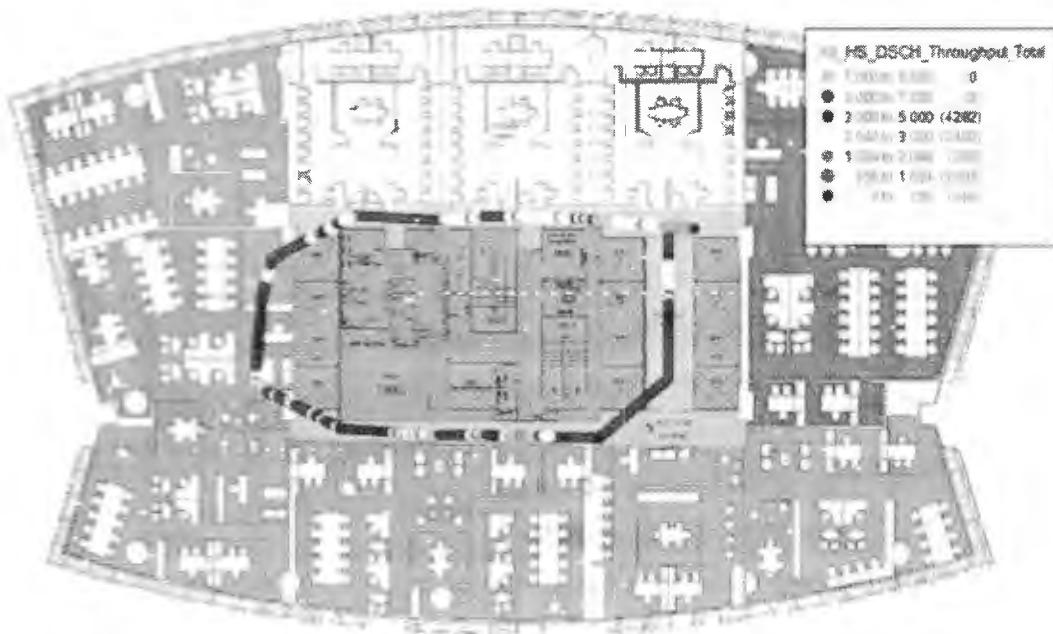


Figura 5.33 - Velocidades de datos antes del protocolo (Throughput)

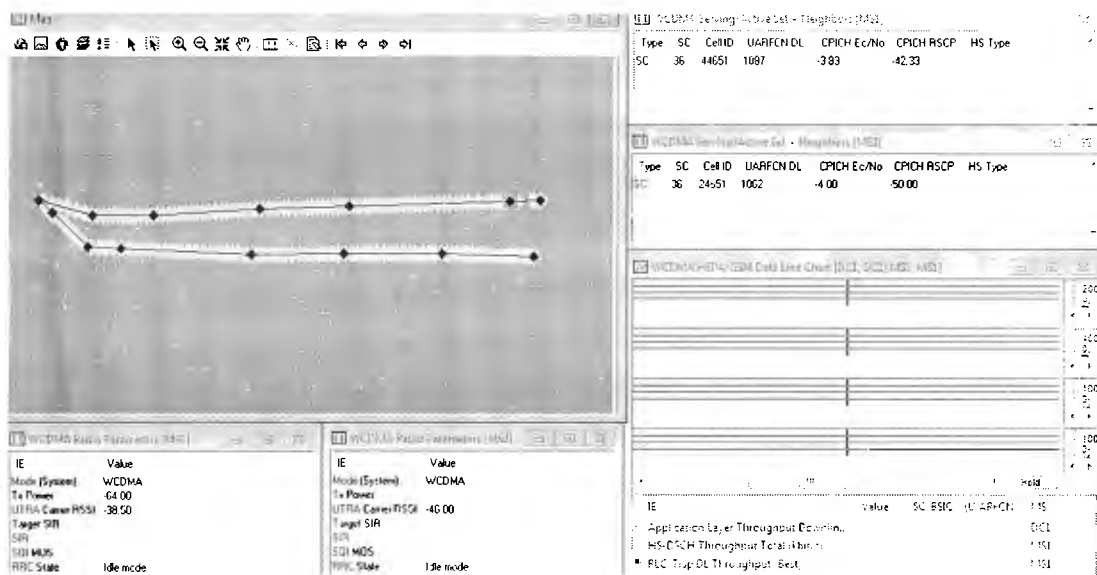


Figura 5.34 - Diagrama de parámetros del recorrido antes del protocolo

En la imagen se muestran los niveles de RF que entrega el sistema DAS en el punto señalado en el mapa. El piloto (SC) 36 es dominante en el sistema con niveles por debajo de los -50dBm de señal y con niveles de ruido menores a -4 dB, esto en canal de tráfico CPICH. Los parámetros de radio importantes en el sistema

se encuentran anclados en WCDMA y en modo IDLE, lo que nos hace suponer un problema de accesibilidad ya el teléfono celular debería estar en estado de llamada.

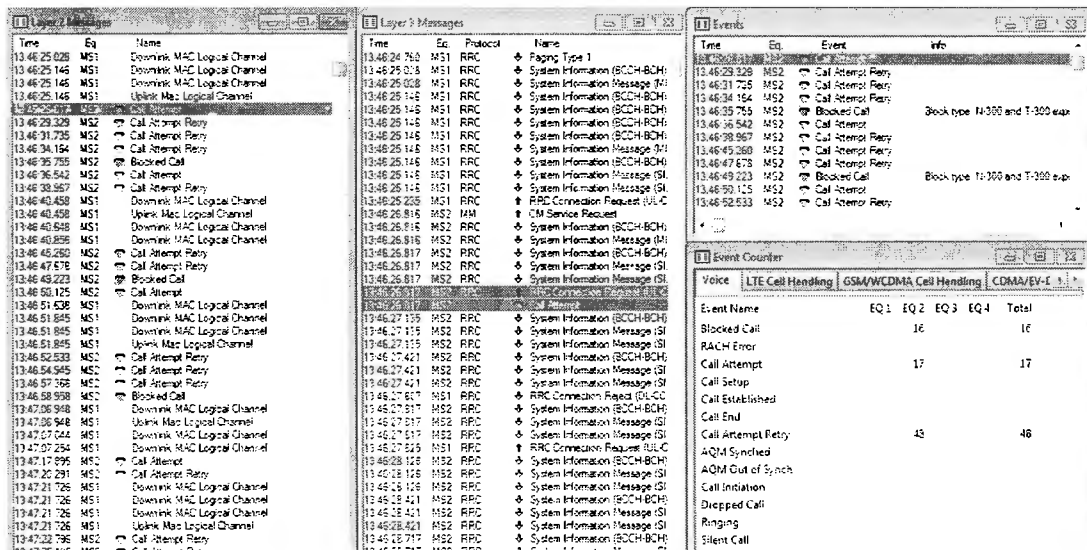


Figura 5.35 - Desglose de eventos reportados de capa 2 y capa 3

Se puede observar el desglose de capa 2 y capa 3 donde se desglosa el estado de llamada de varios intentos hasta que la llamada finalmente es bloqueada, en la ventana de eventos.

Podemos observar:

- ✓ 16 llamadas bloqueadas (blocked call)
- ✓ 17 llamadas que pretenden ser atendidas por el sistema (*call attempt*)
- ✓ 48 re-intentos de llamadas que desean ser atendidas (*call attempt retry*)

Se decide llevar a cabo un protocolo de pruebas por orden:

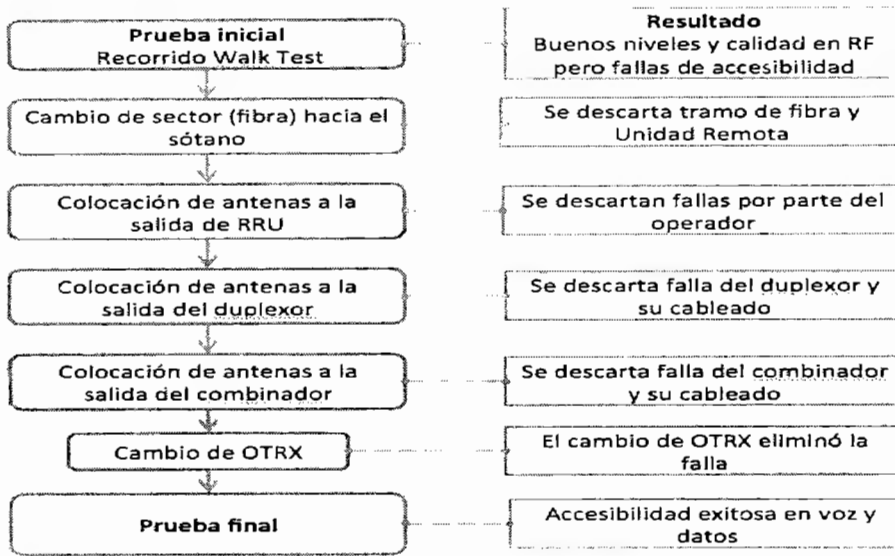


Figura 5.36 - Protocolo de pruebas de accesibilidad

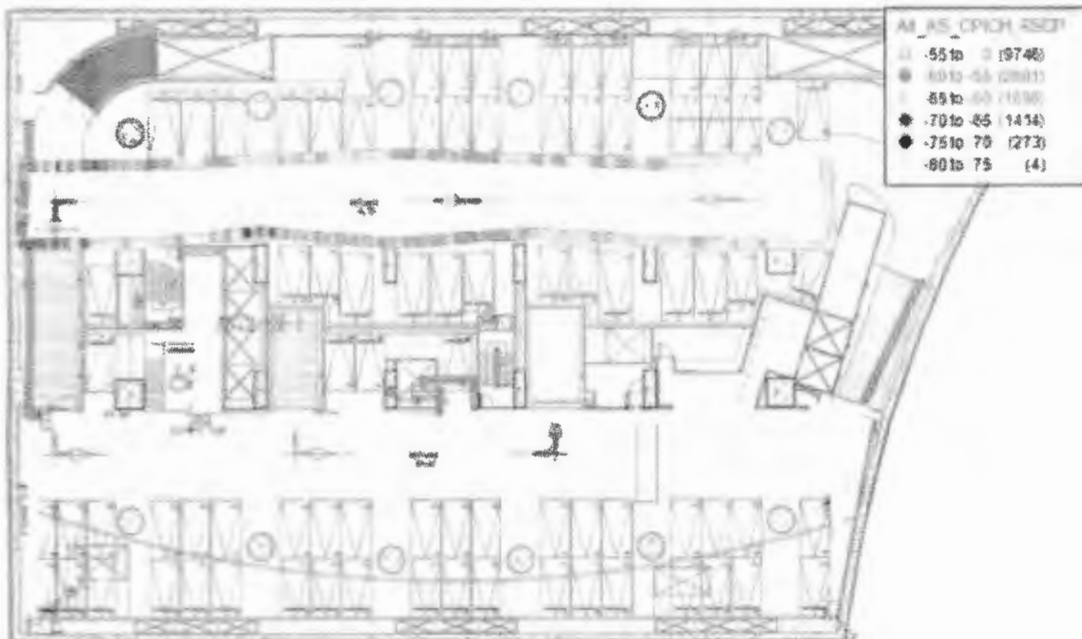


Figura 5.37 - Niveles de RSCP después de la prueba

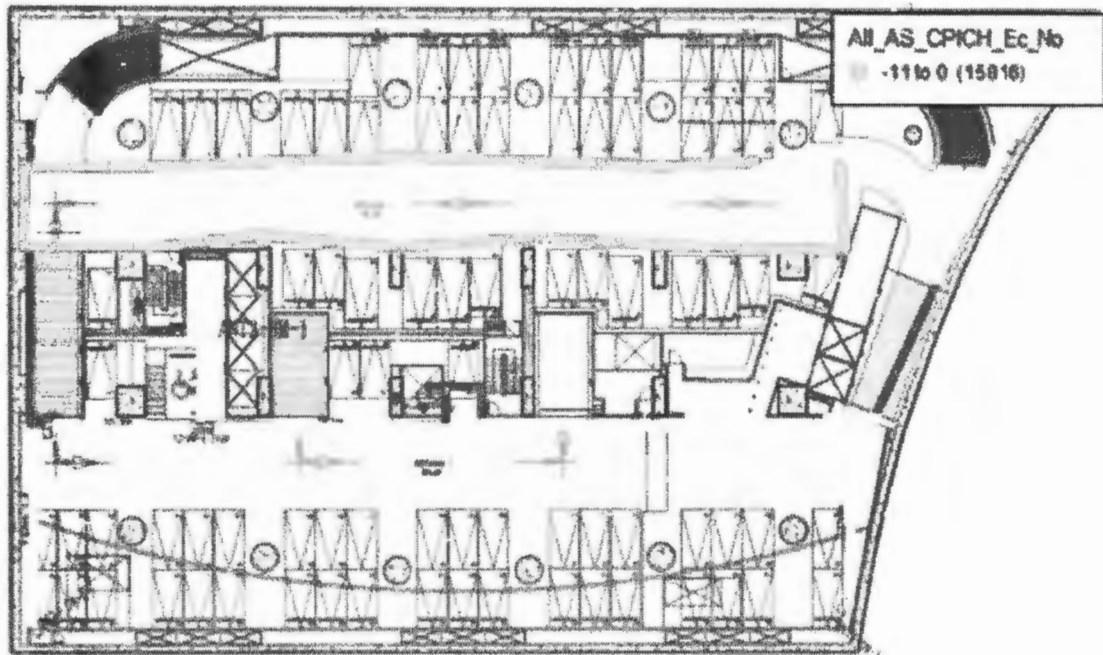


Figura 5.38 - Niveles de EcNo después de la prueba

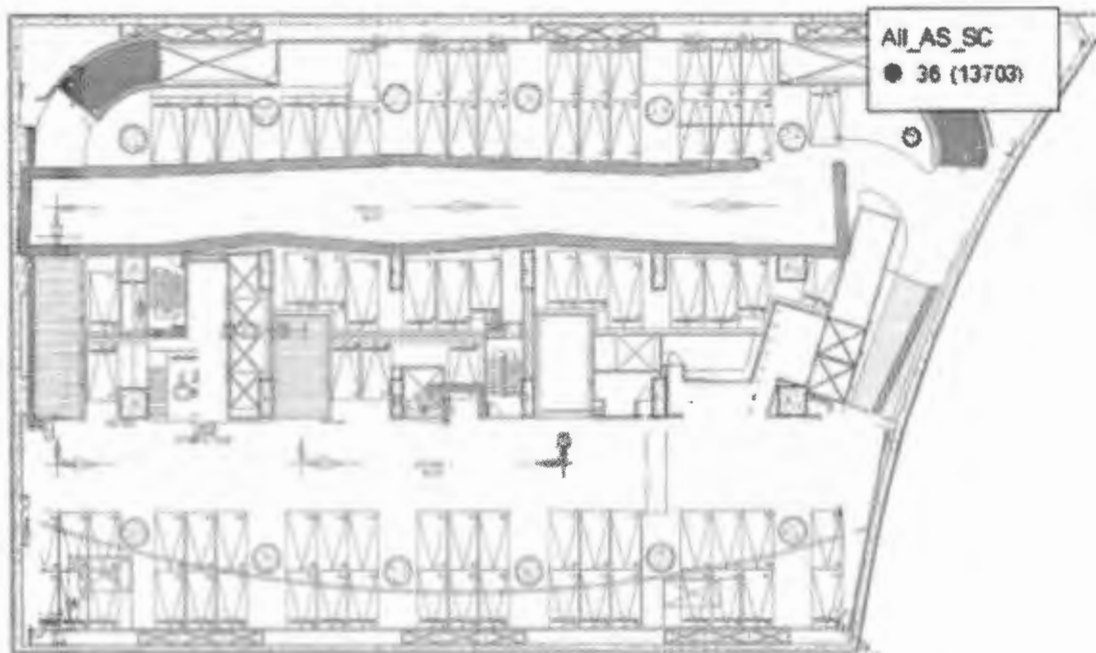


Figura 5.39 - Pilotos presentes (SC) después de encontrar la falla

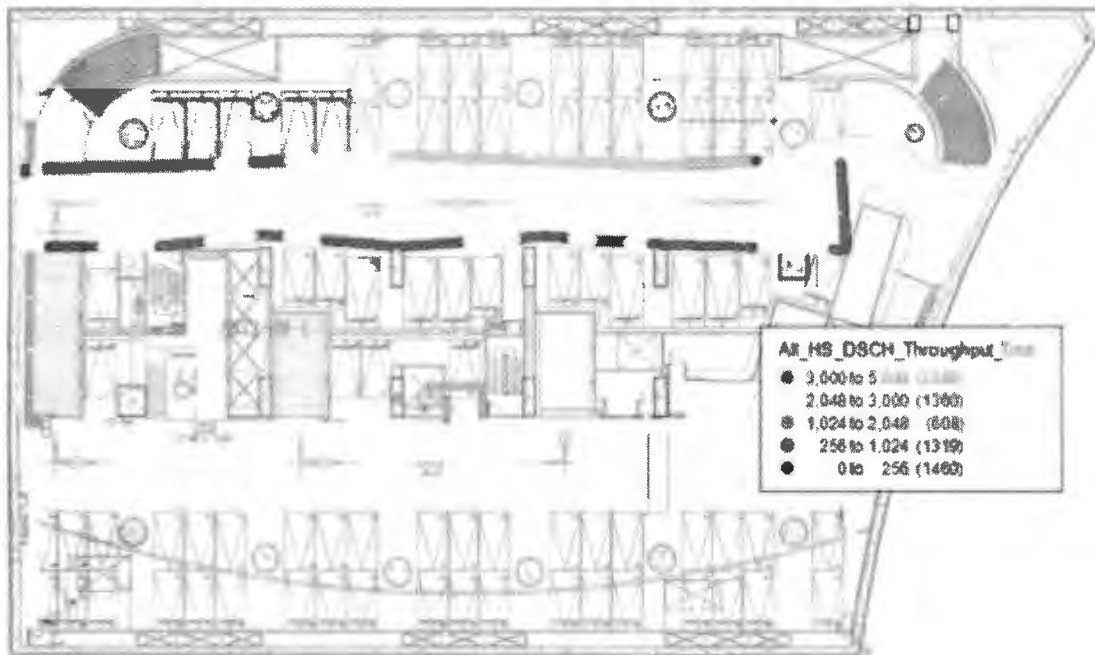


Figura 5.40 Velocidades de datos (*throughput*) después de encontrar falla

Posterior a realizar el protocolo de pruebas y reemplazar el módulo OTRX (convertidor de fibra) se pueden realizar llamadas y obtener velocidades de datos desde 1 a 5 Mbits por segundo.

## CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Después de poder analizar las tendencias, tecnologías presentes y futuras, equipos disponibles, pruebas e investigaciones, me dió la oportunidad de aportar a la industria inalámbrica una visión más detallada de las opciones que existen en el mercado para lograr casos de negocio exitosos que permitan beneficiar a los operadores, dueños de inmuebles, integradores y host neutrales.

En el capítulo anterior presente resultados de las aportaciones que se hacen al trabajo de tesis, es importante considerar que cada una de ellas fue validada y probada en diferentes fases así como en diferentes proyectos en los que la empresa Unwired Solutions, pionera en el mercado Mexicano me permitió acceso. Me concentre en los problemas de ruido causado por mala instalación, elementos pasivos mal instalados, elementos pasivos que en sus características no se refleja el bajo PIM, así como requerimientos de optimización del sistema exterior (*outdoor*) por parte de los operadores celulares. El problema de ruido es la principal causa para que los sistemas DAS, pasivos, activos e híbridos no funcionen, por ello se deben tomar en cuenta las recomendaciones y elementos de análisis en cada sistema DAS que se implemente.

Se trabajó analizando las etapas para poder planear y diseñar un sistema DAS profesionalmente, esto permite que los usuarios de equipos (teléfonos inteligentes, tabletas) con capacidad móvil para conexión a internet puedan ser utilizados con los niveles de señal y capacidades requeridas; estos dispositivos tendrán el mayor crecimiento en los próximos 5 años remplazando a las computadoras personales, por consiguiente para que estos puedan ser utilizados proporcionando a los clientes el servicio adecuado obteniendo la cobertura, calidad de servicio y capacidades necesarias para lograr velocidades necesarias que las redes 3G y 4G ofrecen a los usuarios finales.

Los problemas que están presentando los operadores celulares en el mundo y en México ha provocado que se tome la decisión de crear áreas y profesionales especializados, para que éstos comiencen a planear e instalar sistemas DAS en edificios corporativos importantes, estadios, centros comerciales y sistemas de transporte metro, entre otros. Todo esto para mitigar los problemas y dejar de tomar la señal y capacidad de la red macro, esta se tomara de los sistemas en interiores *indoor*.

Por la forma que se ha diseñado en los últimos años el 80% de los usuarios de datos se encuentran ubicados en el interior de los inmuebles corporativos lugar donde se tiene solo un 20% de cobertura, la mala calidad en el servicio pone en riesgo las inversiones millonarias que los operadores celulares han hecho en las redes macro, debido a que los usuarios no tienen una buena señal y calidad de servicio, por consiguiente los operadores han decidido invertir grandes cantidades de dinero seleccionando los inmuebles más importantes en los cuales se encuentran clientes importantes y/o gran cantidad de usuarios que requieren este tipo de servicios.

Las actividades estandarizadas en el diseño de redes DAS reducirán los gastos operativos OPEX de los operadores celulares, ya que se podrá predecir la calidad de la señal con adecuados modelos de propagación de radiación en interiores antes de la instalación de las mismas, permitiendo calcular con adecuados modelos de negocio la recuperación de la inversión por cada instalación.

Debido a que todos los operadores celulares tienen múltiples tecnologías se requiere el diseño en interiores sea hecho por ingenieros especializados en el tema, esto permitirá que por medio del análisis se actualicen las tecnologías nuevas de forma casi automática, sin embargo no se debe perder de vista que cada fase se deberá llevar a cabo de forma detallada, ya que se tomará en cuenta la señal que penetra del exterior y tendrá un impacto en la señal interior extrapolando la señal exterior, potencia y calidad, optimizando los sistemas DAS y

sitios macros. Estas tareas reducirán los costos en el levantamiento, ya que se instala el sistema por medio de las mediciones de señal en interiores *walk test*, posterior a la instalación se podrá calibrar el modelo y este deberá quedar documentado de forma detallada para poder hacer aumentos futuros de tecnologías.

El caso presentado Torre Mayor permitió visualizar el tipo de problemas que se pueden presentar implementar un sistema de este tamaño. El primer problema fue dejar en manos externas el sistema otorgando como proyecto llave en mano a una empresa extranjera que no tuvo la visión y el detalle de las estrategias de los operadores celulares Mexicanos, muy diferentes a las estrategias de empresas celulares extranjeras, se suministró el equipo con un sobrecosto por lo que el costo total fue más alto y para poder encontrar los errores cometidos tomo mucho tiempo, esfuerzo y costos adicionales.

En las etapas posteriores, cuando Unwired Solutions toma el control total del sistema, evalúa el sistema y se pueden visualizar los siguientes problemas:

- El equipo de 2 Watts fue insuficiente para dar servicio a más de 2 portadoras por tecnologías. El equipo concentrador SDU que hace las funciones de convertir de luz a RF y combinar las señales de las diferentes tecnologías fue sobredimensionado para la cantidad de portadoras que se requerían. Allgon (empresa contratada para realizar el proyecto llave en mano) entregó un diseño argumentando que serviría para 6 operadores y 24 portadoras. Al llevar a cabo el *link budget* y propagación en el software iBwave se pudo visualizar que sería insuficiente por lo que se tuvo que cambiar el equipo ya que al adicionar más portadoras la cobertura se reduce (*footprint*) considerablemente, con una cobertura deficiente de los pisos del edificio.
- Debido a que no se hizo un *walk test* previo el diseño no consideraba las antenas necesarias para la cobertura eficiente en algunos pisos, se tuvo



que adicionar antenas en algunos pisos causando molestias a los usuarios e inquilinos del inmueble, además se reemplazaron los equipos en su totalidad con potencias de 5 y 20 Watts.

- Al no existir estándares de instalación el equipo no fue instalado de acuerdo a las normas internacionales, por lo que se tuvo que realizar trabajo posterior en ventanas de mantenimiento para reubicar equipos, conexiones al sistema eléctrico, aterrizaje de equipos, peinado de cables, instalación de unicanal para sujetar *splitters*, combinadores y *tappers*.
- No se entregaron barridos (VSWR) por lo que no se tenía la certeza de que el cableado coaxial funcionara de acuerdo a las normas para las frecuencias 850/1900 MHz.
- El sistema fue diseñado solo para voz, por lo que al adicionar tecnologías 3G se tuvo que aumentar potencia en los equipos, y posteriormente hacer un re-diseño ya que no sólo con potencia se podría resolver el problema para el tema de datos.
- En un principio, para la optimización, no se realizaron *walk test* por lo que no se calibraron los equipos piso por piso. Se hizo una configuración general, por lo que existían quejas de los usuarios que se atendieron con el tiempo.

Por todos los problemas mencionados anteriormente la empresa Unwired Solutions formó un grupo de profesionales el diseño *indoor*. Unwired es la única empresa 100% Mexicana que hoy compite con empresas extranjeras para cubrir la demanda del mercado de cobertura *indoor* en México. No obstante, tiene sistemas DAS instalados y proyectos en desarrollo en otros inmuebles que incluyen, oficinas corporativas, plazas comerciales, estadios, entre otros.

La experiencia que se plasma en este documento no sólo es la obtenida en el proyecto Torre Mayor, sin embargo en los últimos dos años se sigue recopilando información y experiencia en los proyectos:

- Senado de la República
- Seguros Monterrey (Edificio frente al Ángel de la Independencia)
- Televisa San Ángel
- Centro Comercial Perisur
- Complejo corporativo Samara
- Entre otros....

En cada proyecto se han aplicado las 6 fases plasmadas y explicadas en los capítulos anteriores, estas pueden ser mejoradas, se pueden elaborar protocolos y procedimientos que permitan profesionalizar la actividad.

Cada uno de estos proyectos significan reto distinto, en cada uno se mejoran los procedimientos, se buscan mejores elementos pasivos, mejores equipos, considerando en los últimos meses integrar soluciones que consideren aún el enlace de fibra hacia las centrales de los operadores, que permitan economías de escala, reducción de espacio en las verticales de los edificios, esto permitirá mejorar los tiempos de implementación.

Un elemento indispensable para la reducción de tiempos es la aplicación de cada una de las fases, protocolos y procedimientos que reflejen los conocimientos adquiridos.

## ➤ Trabajo futuro

Aun se debe hacer mucho trabajo para poder acortar tiempos en la implementación de sistemas DAS, capacitando a todos los involucrados:

- ✓ Operadores
- ✓ Integradores
- ✓ Neutral Host
- ✓ Desarrolladores inmobiliarios
- ✓ Administradores de edificios
- ✓ Inquilinos

La experiencia vivida por todos los involucrados hace que estos proyectos sean muy complicados y tomen mucho tiempo, desgastando a cada uno de los involucrados sin dar solución a los clientes finales, que están experimentando problemas diarios para poder utilizar los dispositivos (teléfonos y tarjetas de datos), por ello es necesario trabajar en conjunto, en otros países existen organizaciones y eventos para analizar la problemática de cada entidad expresando los problemas, exponiendo casos, buscando soluciones, elaborando procedimientos que profesionalizan y homologan la implementación en interiores.

Se deben llevar a cabo investigaciones adicionales respecto el impacto de adicionar redes 4G a los sistemas DAS, ya que en México tiene sólo unos meses del lanzamiento comercial, se tiene la experiencia de otros países, sin embargo se debe analizar el caso de México en donde se deberá cuestionar : cuándo se debe implementar sistemas SISO o MIMO, ya que el costo entre una solución y otra es muy distinta, la capacidad y velocidad de datos implementando un sistema MIMO es mucho mayor ya que se debe utilizar el doble de cable coaxial y el doble de antenas, por consiguiente la inversión aumenta considerablemente. Se deberá evaluar si se deben preparar las instalaciones que se hacen en la actualidad para poder evolucionar en un futuro o si se cree que habrá antenas inteligentes que puedan trabajar en un solo cable coaxial.

La optimización en interiores en sistemas en los que conviven 2G, 3G y 4G es un reto, se deben desarrollar procedimientos para minimizar el impacto así como el tiempo que se dedicará a adecuar los sitios existentes. Las estrategias de configuración de redes en donde se definen las reglas del comportamiento de los teléfonos en las redes de los operadores, estos deben aprender a compartir dicha información cuando se está trabajando con subcontratistas o NHP, ya que se deberá cuidar y analizar a qué red se desea se conecte el teléfono, que no esté haciendo un HHO (Hard Hand off) entre tecnologías para una mejor experiencia del usuario final. Otro aspecto muy importante es que se debe analizar la capacidad requerida en cada inmueble, teniendo sistemas flexibles para aumentarla cuando se requiera, para ello es importante que los operadores compartan información estadística con los proveedores de servicio o NHP.

La implementación de un sistema DAS en diferentes edificios presenta un gran reto, ya que la infraestructura así como el ambiente exterior al mismo son diferentes para cada inmueble, por lo que la implementación de un sistema DAS se debe adecuar a las características del mismo. Se debe tomar en cuenta las reglas de cada uno, se debe trabajar en conjunto con los desarrolladores inmobiliarios, para poder considerar la implementación de este tipo de sistemas desde que se está trabajando en la planeación de sus proyectos, con el objetivo principal de que sean considerados, espacios para equipos de los operadores, del NHP, espacios en escalerillas verticales y horizontales, así como en cuartos IDF (cuartos técnicos) para el buen funcionamiento y acceso 24 x 7 para labores de mantenimiento.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**3G:** Es una denominación para tercera-generación de telefonía móvil. Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir tanto voz y datos (una llamada telefónica) y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de email, y mensajería instantánea

**3GPP:** *Third Generation Partnership Project*, creado para mantener los estándares y especificaciones de diseño para las redes 3G.

**4G:** (también conocida como 4-G) son las siglas de la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Al día de hoy no hay ninguna definición de la 4G, pero podemos resumir en qué consistirá en base a lo ya establecido. Está basada totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes.

**AC:** *Authentication Center*

**AM:** Modulación en amplitud

**AMPS:** *Advanced Mobile Phone System*

**APC:** *Angle Polish Connector*

**ARIB:** *Alliance of Radio Industries and Business*, organización para los estándares de tecnologías de radio.

**Benchmarking:** Es una técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o componente de un sistema, frecuentemente en comparación con el cual se refiere específicamente a la acción de ejecutar un *benchmark*. La palabra *benchmark* es un anglicismo traducible al castellano como comparativa.

**BIU:** *Base station unit*

**BDA:** *Bi-directional Amplifier*

**BSC:** *Base Station Controllers*

**BSS:** *Base station subsystem*

**BTS:** *Base Transceiver Station*

**CAI:** *Common Area Interface*

**CDMA:** Multiplexión por división de código, acceso múltiple por división de código o CDMA (del inglés *Code Division Multiple Access*) es un término genérico para varios métodos de multiplexión o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro difuso o espectro disperso (*spread spectrum*).

**DAS:** Sistema de Antenas Distribuidos por sus siglas en inglés (*Distributed Antenna System*)

**EDGE:** *Enhanced Data rates for GSM of Evolution* (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM). También conocida como EGPRS (*Enhanced GPRS*). Actúa como puente entre las redes 2G y 3G. EDGE se considera una evolución del GPRS (*General Packet Radio Service*). Esta tecnología funciona con redes GSM. Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias.

**EIR:** *Equipment Identity Register*

**EPS:** *Evolved Packet System*

**ETSI:** *European Telecommunications Standard Institute*, responsable de mantener las especificaciones para GSM, desarrolla estándares en Europa y otros países

**FCC:** *Federal Communications Commission*

**FDD:** *Frequency Division Duplex*

**Femtocelda:** Es una estación base pequeña en tamaño y potencia, diseñada para el uso en hogares o negocios. Normalmente, se conecta a la red del proveedor de servicio a través de una conexión de banda ancha cableada, típicamente DSL o cable.

**FM:** Modulación en frecuencia

**FOI:** *Fiber Optic Interface*

**GPRS:** *General Packet Radio Service* o servicio general de paquetes vía radio es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (*Global System for Mobile Communications* o GSM) para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes). Existe un servicio similar para los teléfonos móviles que del sistema IS-136. Permite velocidades de transferencia de 56 a 114 kbps.

**GSM:** *Global System for Mobile communications*, originalmente del "Groupe Special Mobile". Es un sistema estándar, completamente definido, para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. Por ser digital cualquier cliente de GSM puede conectarse a través de su teléfono con su ordenador y puede hacer, enviar y recibir mensajes por e-mail, faxes, navegar por Internet, acceso seguro a la red informática de una compañía (LAN/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el Servicio de Mensajes Cortos (SMS) o mensajes de texto.

**HHO:** *Hard Handover*

**HLR:** *Home Location Register*

**HSPA:** *High Speed Packet Access*

**HSDPA:** La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP *release 5* y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Soporta tasas de *throughput* promedio cercanas a 1 Mbps. Es la evolución de la tercera generación (3G) de tecnología móvil, llamada 3.5G, y se considera el paso previo antes de la cuarta generación (4G), la futura integración de redes.

**HSUPA:** *High Speed Uplink Packet Access*

**Ibwave:** Empresa que desarrolla sistemas para diseño y optimización de redes en interiores ([www.ibwave.com](http://www.ibwave.com))

**iDEN:** Red Mejorada Digital Integrada (*Integrated Digital Enhanced Network*) es una tecnología inalámbrica desarrollada por Motorola en 1994. Proporciona a los usuarios múltiples servicios en un único e integrado sistema de comunicaciones móviles.

**In-building:** Wireless coverage inside buildings for all available technologies in the market. [B].

**ISDN:** *Integrated Service Digital network*

**ITU:** *International Telecommunication Union*, oficinas centrales ubicadas en Ginebra Suiza, y es una organización internacional que coordina las redes de telecomunicaciones y produce estándares de alta calidad

**ITU-R:** *International Telecommunication Union*, responsable de manejar el espectro de radiofrecuencia y los recursos en las órbitas satelitales, también desarrollan estándares de sistemas de radiocomunicación.



**J2EE:** *Java Platform, Enterprise Edition* o Java EE (anteriormente conocido como *Java 2 Platform, Enterprise Edition* o J2EE hasta la versión 1.4), es una plataforma de programación -parte de la Plataforma Java- para desarrollar y ejecutar programas de aplicaciones en Lenguaje de programación Java.

**KPI:** *Key Performance Indicator*

**LTE:** *Long Term Evolution*

**Mapinfo:** Herramienta para hacer mapeos de información de sistemas de colección de datos

**MIMO:** *Multiple in Multiple out*

**MMS:** *Multimedia Messaging System* (MMS) o sistema de mensajería multimedia es un estándar de mensajería que le permite a los teléfonos móviles enviar y recibir contenidos multimedia, incorporando sonido, video, fotos o cualquier otro contenido disponible en el futuro.

**Mobile Access:** Empresa que desarrolla y vende sistemas DAS ([www.mobileaccess.com](http://www.mobileaccess.com))

**MSC:** *Mobile Switching Centre*

**MS:** *Mobile Station*

**Netdecipher:** Empresa que desarrolla sistemas para post-proceso para obtener KPI's ([www.zk.com/products/netdecipher.html](http://www.zk.com/products/netdecipher.html))

**Neutral Host Providers:** Provee infraestructura compartida para todos los operadores que resulte más efectivo en costos, mantenimiento y operación dentro de proyectos en inmuebles.

**NMT:** *Nordic Mobile Telephone*

**NSS:** *Network Switching Subsystem*

**OFDM:** *Orthogonal frequency-division multiplexing*

**OTDR:** Equipo de medición de fibra óptica

**PCS:** *Personal Communicatios Service*

**PDN:** Red de datos en paquetes

**Picocelda:** Estación base de telefonía celular que generalmente cubre áreas pequeñas, como lo son soluciones *in-building* (oficinas, centros comerciales, estaciones de tren, etc), o de manera reciente, en los aviones. Una picocelda es el análogo a un punto de acceso en el Wi-Fi.

**PIM:** *Passive Intermodulation*

**PLPU:** *Power load per user*

**POI:** *Point of Interconnect*

**Powerwave Technologies:** Empresa que fabrica y vende equipos repetidores y sistemas DAS ([www.powerwave.com](http://www.powerwave.com)).

**PSTN:** *Public Switch Telephone Network*

**QoS:** *Quality of service*

**RF:** Radiofrecuencia

**RSSI:** *Received Signal Strength Indicator*

**SAE:** *System Architecture Evolution*

**SC:** *Subscriber Connector*

**SC-FDMA:** *Single Carrier Single Division Multiplexing Access*

**SHO:** *soft handover*

**SMIL:** *Synchronized Multimedia Integration Language* (lenguaje de integración multimedia sincronizada) y es un estándar del *World Wide Web Consortium (W3C)* para presentaciones multimedia. El lenguaje SMIL permite integrar audio, video, imágenes, texto o cualquier otro contenido multimedia.

**SMR:** *Specialized Mobile Radio*

**SMS:** *Short Message Service*

**SNR:** *Signal to Noise Ratio*

**TACS:** Sistema de comunicaciones de acceso total

**TDD:** *Time Division Duplex*

**TD-SCDMA:** *Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*

**Ultra wideband:** Se usa para referirse a cualquier tecnología de radio que usa una banda ancha más grande que 500 MHz o el 25% de la frecuencia central, de acuerdo con la FCC (*Federal Communications Commission*).

**UMTS:** *Universal Mobile Telecommunication Systems*

**UE:** Equipo de usuario

**UHF:** *Ultra High Frequency*

**VHF:** *Very High Frequency*

**VLR:** *Visitor Location Registration*

**VSWR:** *Voltage standing wave ratio*

**Walk test:** Prueba de niveles de una señal determinada en interiores.

**WAP:** *Wireless Application Protocol* (protocolo de aplicaciones inalámbricas), es un estándar abierto internacional para aplicaciones que utilizan las comunicaciones inalámbricas, por ejemplo, acceso a servicios de Internet desde un teléfono móvil.

**WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access

**Wi-Fi:** Es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en lugar de cables. Wi-Fi es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la *WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance*)

**WLAN:** *Wireless Local Area Network* es un sistema de comunicación de datos inalámbrico

**WWRF:** (*Wireless World Research Forum*) define 4G como una red que funcione en la tecnología de Internet combinándola con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y WiMAX. La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata.

**XML:** *Extensible Markup Language* (lenguaje de marcas ampliable), es un metalenguaje extensible de etiquetas desarrollado por el *World Wide Web Consortium (W3C)*

**Zk Celltest:** Empresa que desarrolla equipos de recolección de datos del UE para obtener KPI's de redes.

# REFERENCIAS

## Fuentes impresas

- [A] ASTÉLY, D; Dahlman, E; Furskär, E; Jading, Y; Lindström, M; Parkvall, S. "LTE: The Evolution of Mobile Broadband", Ericsson Research, IEEE Communications Magazine, 2009.
- [B] CAUDILLO, P. "Cobertura en Interiores". Inmboliliare México. 2007.
- [C] COFETEL, "Comunicado de Prensa No. 52/2010", Agosto 2010.
- [D] DALHMAN, E. "3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband", USA, Ed. AP, 2012
- [E] FREEMAN, R. "Telecommunication System Engineering", 4a edición, USA, Wiley Interscience, 2004.
- [F] GOLDING, P. "Next generation wireless applications". 1a. edición, UK. John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- [G] HARRI, H; Antti, T. "WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile communications". 1a. Ed, West Sussex, England. Wiley. 2001.
- [H] HARTE, L; Kellog, S; Dreher, R; Schaffnit, T. "The comprehensive guide to wireless technologies", 1a. edición, NC USA, APDG Publicaciones. 1999.
- [I] JARDON, H; Linares, M. "Sistemas de Comunicaciones por fibras ópticas", páginas 1-21, 1ª edición, Ed. Alfaomega, México DF, 1995.
- [J] KEISER, G. "Optical Communications Essentials", 1ª edición, USA, Mc.Graw-Hill Networking, 2003.
- [K] KRISHNA, D; Gopikrishna, M; Anandon, C; Mahanan, P; Vasudevan, K. "CPW Fed Koch Fractal Slot Antenna for WLAN /WiMAX Applications".Pages 1-1. 2008.
- [L] KORHONEN, J. "Introduction to 3G Mobile Communications", 1a edición, Artech House, Boston Londres, 2001.

- [M] KYUN, K; Young L. "4G Roadmap and Emerging Communication Technologies", 1ª. Edición, Artech House, Boston USA, 2005.
- [N] MISHRA, R. "Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization", e-books, UK John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [O] LEE, W. Mobile Cellular Telecommunications Systems. Ed McGraw-Hill: Singapur, 1998.
- [P] LEE, Y; Sun J. "A new printed antenna for Multi band Wireless applications". Pages 1-1. 2008.
- [Q] RAPPAPORT, T. "Wireless communications: principles and practice, Upper Saddle River". N.J. : Prentice Hall PTR, 1999.
- [R] SESIA, E; Toufik, I; Baker, M. "LTE The UMTS Long Term evolution from theory to practice",. 1a. edición, UK. John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- [S] TOMASI, W. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", 4ª. Edición, México, Prentice Hall Pearson Education 2003.
- [T] TOLSTRUP, M. "Indoor Radio Planning: A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA". John Wiley & Sons: Dinamarca. 2008.
- [U] YA-CHUNG, Y; Jenn-Hwan, T. "A novel modified multi-band Planar Inverted-F Antenna". página 1-1. 2006. (Este estudio fue pagado parcialmente por el consejo nacional de Taiwan bajo los contratos NSC 96-2752-E-009-014-PAE and NSC 96-2752-E-002-009-PAE)

### **Fuentes electrónicas**

- [1] ABI RESEARCH.(2008). "Inbuilding wireless systems: Connecting networks and services". Recuperado el 28 de septiembre de 2010 de: [http://www.abiresearch.com/products/market\\_research/In-Building\\_Wireless\\_Networks#toc](http://www.abiresearch.com/products/market_research/In-Building_Wireless_Networks#toc)
- [2] ACTIX (2010). Radioplan RPS. Recuperado el día 27 de septiembre de 2010 de: [http://www.actix.com/radioplan\\_rps/](http://www.actix.com/radioplan_rps/)
- [3] ARAGÓN, G. (2010). "América móvil gana 9% en el trimestre". Recuperado el día 28 de septiembre de 2010 de: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2010/10/27/america-movil-gana-mas-que-suscriptores-celulares>

- [4] ASCOM (2010). "Tems Investigation". Recuperado el día 10 de octubre de 2010. <http://www.ascom.com/en/index/products-solutions/technology-platforms/platform/tems/solutionloader.htm>
- [5] AWE COMMUNICATIONS (2011). "Indoor Scenarios. Prediction Models and Databases for Indoor Scenarios". Recuperado el día 10 de junio de 2011 de: <http://www.awe-communications.com/Propagation/Indoor/index.htm>
- [6] CERNA, E. (2012). "Sistemas GSM / GPRS". Recuperado el día 10 de enero de 2012 de: [ielectronicaunprg.files.wordpress.com/2008/03/gsm-gprs-unprg.ppt](http://ielectronicaunprg.files.wordpress.com/2008/03/gsm-gprs-unprg.ppt)
- [7] COMVERSE (2010). "Telefónica Móviles México, S.A. de C.V.". Recuperado el día 5 de mayo de 2010 de: [http://www.bnamericas.com/company-profile/telecomunicaciones/Telefonica\\_Moviles\\_Mexico,\\_S,A,\\_de\\_C,V,-Movistar\\_Mexico](http://www.bnamericas.com/company-profile/telecomunicaciones/Telefonica_Moviles_Mexico,_S,A,_de_C,V,-Movistar_Mexico)
- [8] EDX WIRELESS (2011). "Smart Planning For Smart Networks". Recuperado el día 28 de septiembre de: <http://www.edx.com/products/signalpro.html>
- [9] GRUPO SALINAS (2010). , "HSPA en México con Iusacell GSM". Recuperado el día 4 de mayo de 2010 de: <http://www.gruposalinas.com/noticias.aspx?i=2&l=es>
- [10] G.V. ZÁRUBA. H.Huber F.A. Kamangar. (2006). "Indoor location tracking using RSSI from a single *Wi-Fi* access point". Published online, Springer science + Business media
- [11] MARES, M. (2010). "Nextel va por más". Recuperado el día 10 de Octubre de 2010 de: <http://eleconomista.com.mx/columnas/columna-especial-empresas/2010/10/05/nextel-va-mas>
- [12] MARK, M. Wireless Europe. (2006). "Operators must take a hard look at the figures before committing to WiMAX or indeed any other technology". Recuperado el día 4 de mayo de 2010 de: [http://www.paconsulting.com/services/tech\\_innovation/wireless/magazine/By\\_PA\\_WiMAX\\_Wireless\\_Europe.htm](http://www.paconsulting.com/services/tech_innovation/wireless/magazine/By_PA_WiMAX_Wireless_Europe.htm)
- [13] MARK, M. Wireless Europe. (2008) "Download rates over cellular networks are still trivial, so will HSDPA be music to our ears?". Recuperado el día 28 de septiembre de 2010 de:

<https://www.paconsulting.com/app/security/userauthentication.aspx?PAGEGUID=8c26cf1a6b454dbcb3ec70f4f8062c65>

- [14] NEC, Emproved by Innovation (2013). "FEMTOCELL, SMALL CELL SOLUTIONS", recuperado el día 3 de abril de 2013 de: [http://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/femto\\_sc/index.html](http://www.nec.com/en/global/solutions/nsp/femto_sc/index.html)
- [15] PODER PDA (2011). "Detalles sobre las Redes HSPA+, la nueva red de Iusacell". Recuperado el día 10 de junio de 2011 de: <http://www.poderpda.com/noticias/detalles-sobre-las-redes-hspa-la-nueva-red-de-iusacell/>
- [16] PODER PDA (2011). "Redes Celulares – Su evolución en México". Recuperado el día 10 de junio de 2010 de: [www.poderpda.com/noticias/redes-celulares-su-evolucion-en-mexico](http://www.poderpda.com/noticias/redes-celulares-su-evolucion-en-mexico)
- [17] POWERWAVE (2007). "Case Study: Torre Mayor" Recuperado el día 28 de septiembre de 2010 de: [http://www.powerwave.com/documents/CaseStudy\\_TorreMayor.pdf](http://www.powerwave.com/documents/CaseStudy_TorreMayor.pdf)
- [18] REMCOM (2010). "Wireless EM Propagation Software". Recuperado el día 10 de octubre de 2010 de: <http://www.remcom.com/wirelessinsite/>
- [19] ROHDE & SCHWARZ (2010). Recuperado el día 27 de septiembre de 2010 de: [http://www2.rohde-schwarz.com/en/technologies/cellular\\_standards/](http://www2.rohde-schwarz.com/en/technologies/cellular_standards/)
- [20] TELCEL (2011). "Cobertura nacional". Recuperado el día 10 de junio de 2011 de: <http://www.telcel.com/portal/coberturanacional/begin.do?language=es&mid=1524#>
- [21] TSOTOMU, T. (2003). "Ultrawideband channel surrounding for Indoor Wireless Propagation Environments". Recuperado el día 25 de septiembre de 2010 de: <http://0-ieeeexplore.ieee.org.millennium.itesm.mx/iel5/9230/29248/01321508.pdf?tp=&arnumber=1321508&isnumber=29248>
- [22] UMTS WORLD (2010). "HSDPA in W-CDMA" Recuperado el día 10 de octubre de 2010 de: <http://www.umtsworld.com/technology/hsdpa.htm>
- [23] WEINIGERY, L (2008). "In building wireless research". Recuperado el día 2 de mayo de 2010 de: [http://www.iirusa.com/inbuildingwireless/online\\_documentation.xml](http://www.iirusa.com/inbuildingwireless/online_documentation.xml)



- [24] WIKIPEDIA (2011) "LONG Term Evolution" Recuperado el día 5 de mayo de 2011 de: [http://es.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Long\\_Term\\_Evolution](http://es.wikipedia.org/wiki/LTE_Long_Term_Evolution)
- [25] WIKIPEDIA (2011). "3GPP". Recuperado el día 5 de mayo de 2011 de: <http://es.wikipedia.org/wiki/3GPP>
- [26] WIKITEL (2011). "Femtocelda". Recuperado el día 10 de junio de 2011 de: <http://es.wikitel.info/wiki/Femtocelda>
- [27] ZK CELLTEST (2010). "User Manual ZK Celltest". Recuperado el día 10 de junio de 2011 de: [http://www.zk.com/support/v9.10a/User%20Manual%20Version%209\\_10.pdf](http://www.zk.com/support/v9.10a/User%20Manual%20Version%209_10.pdf)
- [28] 3 GPP, A GLOBAL INITIATIVE (2013). "About GPP". Recuperado el día 3 de abril de 2013 de: [www.3gpp.org/AboutGPP](http://www.3gpp.org/AboutGPP)

### **Cursos y otras fuentes**

- [I] "Award Solutions CDMA Overview", Junio 2010.
- [II] "Curso uso de la herramienta iBwave", Éric Tierrau, 2008.
- [III] "Curso de diseño en interiores", Ken Habeier, 2010.
- [IV] "Curso básico de Repetidores", Moti Shalev, 2010.
- [V] "Curso introductorio Redes Celulares, Ericsson, Agosto 2008.
- [VI] "Curso pasivos, Andrew Corporation, Enero 2001.
- [VII] "Curso equipo Deltanode, Octubre 2011.
- [VIII] "iBwave User's Manual". v.5 2010
- [IX] Información proporcionada por Unwired Solutions de México SA de CV, 2011.
- [X] Información proporcionada por Extenet Systems, Inc, 2010.
- [XI] "Picoceldas y *Femtoceldas*", Alcatel-Lucent.