



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y
OPTIMIZACIÓN DE LAS COMUNICACIONES EN
RADIO FRECUENCIA PARA UNA RED CELULAR
CON TECNOLOGÍA GSM"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE :

INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N

ARMANDO LÓPEZ VÁZQUEZ

DANIEL MARTÍNEZ PLASCENCIA

MAGALLI RAMÍREZ BELLO

CARLOS ESTEBAN SUÁREZ REYES

ARMANDO VARGAS GONZÁLEZ



Director de tesis: M.I. LAURO SANTIAGO
CRUZ

MEXICO, D. F. marzo de 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

ÍNDICE TEMÁTICO

Índice de figuras	V
Índice de tablas	VIII
Prólogo	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Historia de la telefonía móvil	1
1.1.1. Primera generación (1G)	4
1.1.2. Segunda generación (2G)	4
1.1.3. Generación 2.5 G	4
1.2. Historia del GSM	4
1.2.1. Fases de GSM	6
1.3. Historia de la telefonía móvil en México	8
1.4. Necesidades	10
1.5. Estándares	11
1.6. Soluciones Alternas a GSM	15
1.6.1. D-AMPS	16
1.6.2. CDMA	16
1.6.3. PDC	17
2. CONCEPTOS BÁSICOS	19
2.1. Ondas electromagnéticas	19
2.1.1. Polarización de las ondas electromagnéticas	20
2.1.2. Generación de las Ondas Electromagnéticas	21
2.1.3. Frecuencia de una Onda Electromagnética	21
2.2. La antena	22
2.2.1. Antenas Direccionales	22
2.3. Método de modulación	24
2.3.1. Modulación por corrimiento de fase	24
2.3.2. Modulación por corrimiento de frecuencia en cuadratura	25
2.3.3. Modulación por corrimiento de frecuencia en cuadratura con <i>offset</i>	26
2.3.4. Modulación por corrimiento mínimo	27
2.3.5. Modulación por corrimiento mínimo Gaussiano	28
2.4. Componentes de una red GSM	28
2.4.1. Sistema de Conmutación	28
2.4.2. Sistema de Estación Base	31
2.4.3. Centro de Operación y Mantenimiento	31
2.4.4. Centro de Administración de la Red	31
2.4.5. Estación Móvil	32
2.5. Método de acceso múltiple por división de tiempo	32
2.6. Canales físicos	34
2.6.1. Distancia duplex	34
2.6.2. Separación de canal	35
2.7. Canales lógicos	35

2.7.1.	Canales de control	36
2.7.2.	Canales de tráfico	37
2.8.	Factores que afectan la propagación de la señal	38
2.8.1.	Perdida por trayectoria	38
2.8.2.	Sombras	38
2.8.3.	Atenuación por multitrayectoria	38
2.8.4.	Alineación en el tiempo	40
2.9.	Solución de los problemas de propagación	41
2.9.1.	Diversidad de antenas	41
2.9.2.	Salto en frecuencia	42
2.9.3.	Desplazamiento en el tiempo	43
2.10.	Interferencia	43
2.10.1.	Interferencia cocanal	44
2.10.2.	Interferencia adyacente	44
2.11.	Concepto de Erlang	45
2.11.1.	Grado de servicio	46
2.11.2.	Demanda de tráfico	46
2.11.3.	Tabla B de Erlang	47
2.12.	Plan de frecuencia	48
2.12.1.	Tipo de celdas	50
2.12.2.	Cambio de celda	50
2.12.3.	Sub-celdas	50
2.12.4.	Área de localización	51
2.12.5.	Código de identidad de estación base	52
3.	PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO	53
3.1.	Proceso de planeación celular	53
3.1.1.	Análisis de tráfico y cobertura	53
3.1.2.	Plan celular nominal	55
3.1.3.	Inspección de sitios	56
3.1.4.	Diseño del sistema	58
3.1.5.	Implementación del sistema	58
3.1.6.	Sintonización del sistema	59
3.2.	Características de los equipos GSM	59
3.2.1.	Especificaciones de las BTS	60
3.2.2.	Especificaciones de las estaciones móviles	63
3.2.3.	<i>Feeders, jumpers</i> y conectores	64
3.2.4.	Duplexores	64
3.2.5.	Amplificadores montados en torre	65
3.2.6.	Antenas	65
3.2.7.	Repetidores	68
3.3.	Balance del sistema	69
3.4.	Cobertura de celdas	70
3.4.1.	Márgenes que afectan los niveles de cobertura	71
3.4.2.	Modelos de propagación	72
3.5.	Niveles de diseño	73
3.5.1.	Tamaño de la celda	75

3.5.2.	Pruebas de aceptación de cobertura	77
3.6.	Parámetros de radio de la red celular	77
4.	PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN	79
4.1.	Optimización inicial	79
4.1.1.	Verificación de hardware y software	82
4.1.2.	Documentación y rutas de evaluación	82
4.1.3.	Recursos humanos y materiales	83
4.1.4.	Pruebas de campo	84
4.1.5.	Análisis y reporte	86
4.1.6.	Criterio de aceptación de ciudades	88
4.2.	Optimización permanente	88
4.2.1.	Acceso aleatorio	90
4.2.2.	Disponibilidad de canal de tráfico	93
4.2.3.	Llamadas caídas	95
4.2.4.	Índice de calidad de voz	98
4.2.5.	Congestión	101
4.2.6.	Handover	105
5.	ESTUDIO DE CASO	109
5.1.	Planteamiento general	109
5.2.	Análisis de tráfico y cobertura	113
5.3.	Plan celular nominal	115
5.3.1.	Criterios de selección de equipos	124
5.3.2.	Resultados de plan nominal	128
5.4.	Inspección de sitios	132
5.5.	Implementación del sistema	138
5.6.	Balance del sistema	143
5.7.	Niveles de diseño	144
5.8.	Aplicación del procedimiento de optimización inicial	148
5.9.	Procedimientos de optimización permanente	161
5.9.1.	Procedimiento para el acceso aleatorio fallido	161
5.9.2.	Procedimiento para la indisponibilidad de canal de tráfico	169
5.9.3.	Procedimientos para llamadas caídas	174
5.9.4.	Procedimiento para la mala calidad de voz	178
5.9.5.	Procedimiento para congestión	183
5.9.6.	Procedimiento para Handover	187
5.10.	Resultados del diseño de RF	190
5.11.	Resultados de la optimización inicial	192
5.12.	Resultados de la optimización permanente	196
6.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	200
6.1.	Resultados	200
6.2.	Conclusiones	203

Bibliografía

205

Apéndices:

A: Glosario de términos	A-1
B: Tabla B de Erlang	B-1
C: Formatos	C-1
D: Tems Cell Planner de Ericsson	D-1
E: Simulación del margen de atenuación log_normal	E-1
F: Tems Investigation de Ericsson	F-1

Índice de figuras

Figura 1.1	GSM en el mundo.	6
Figura 1.2	Fases de GSM.	7
Figura 1.3	Planeación de las especificaciones de radio.	13
Figura 2.1	Una onda electromagnética plana.	20
Figura 2.2	Patrón de radiación de una antena direccional.	23
Figura 2.3	Área de absorción de la antena receptora.	24
Figura 2.4	División de la cadena de bits.	25
Figura 2.5	Correspondencia de dos bits por cada cambio de fase.	26
Figura 2.6	Offset para QPSK.	26
Figura 2.7	Modulación OQPSK.	27
Figura 2.8	Reemplazo por un pulso sinusoidal.	27
Figura 2.9	Un bit diferente por cambio de fase.	28
Figura 2.10	Sistema GSM.	29
Figura 2.11	Método de acceso TDMA.	33
Figura 2.12	Trama TDMA.	34
Figura 2.13	Banda de 1900 MHz.	35
Figura 2.14	Canales lógicos.	36
Figura 2.15	Canales en una trama TDMA.	38
Figura 2.16	Sombros.	39
Figura 2.17	Atenuación Rayleigh.	39
Figura 2.18	Dispersión en el tiempo.	40
Figura 2.19	Desalineación en el tiempo.	41
Figura 2.20	Salto en Frecuencia.	42
Figura 2.21	Sincronización BTS a móvil.	43
Figura 2.22	Interferencia cocanal.	44
Figura 2.23	Interferencia adyacente.	45
Figura 2.24	Patrón de reuso 4/12.	48
Figura 2.25	Patrón 3/9.	49
Figura 2.26	Sub-celdas.	51
Figura 2.27	Frontera entre dos redes con diferente NCC.	52
Figura 3.1	Proceso de planeación celular.	54
Figura 3.2	Área de búsqueda.	57
Figura 3.3	Equipo de medición de campo.	58
Figura 3.4	Conexión del equipo en sitio.	60
Figura 3.5	Gabinete completo de la BTS.	61
Figura 3.6	Patrón de radiación de una antena direccional.	66
Figura 3.7	Relación entre unidades de ganancia para antenas.	67
Figura 3.8	Inclinación de antenas.	68
Figura 4.1	Diagrama de flujo para optimización inicial.	81
Figura 4.2	Conexión del equipo de pruebas.	84
Figura 4.3	Procedimiento de optimización de acceso aleatorio fallido.	91
Figura 4.4	Procedimiento para optimizar la indisponibilidad de canal.	94

Figura 4.5	Procedimiento para optimizar la caída de llamadas.	96
Figura 4.6	Procedimiento para la optimización la calidad de voz.	99
Figura 4.7	Procedimiento para la optimización de congestión.	103
Figura 4.8	Procedimiento para optimizar la congestión en el canal de tráfico.	105
Figura 4.9	Procedimiento para optimizar el handover.	107
Figura 5.1	Mapa de Puebla y Tlaxcala.	112
Figura 5.2	Sitios D-AMPS existentes en Puebla y Tlaxcala.	116
Figura 5.3	Cobertura con los 78 sitios GSM instalados en sitios D-AMPS existentes.	117
Figura 5.4	Zona en donde es necesario agregar sitios.	118
Figura 5.5	Ventana de vista en dos dimensiones mostrando los tipos de terreno en el área.	119
Figura 5.6	Ubicación de un sitio GSM nuevo.	120
Figura 5.7	Ventana con el templete de sitios para la ciudad de Puebla.	121
Figura 5.8	Ventana de predicción para sitio nuevo.	122
Figura 5.9	Predicciones compuestas para el sitio nuevo fuera y en la posición ideal dentro del grid.	123
Figura 5.10	Predicciones compuestas de un sitio nuevo ajustado de la posición ideal en el grid y con modificaciones de los parámetros de antena.	123
Figura 5.11	Patrones de radiación para antenas instaladas en zonas urbanas.	127
Figura 5.12	Plan nominal con los sitios existentes D-AMPS marcados con un círculo.	129
Figura 5.13	Sitios del periférico en Puebla eliminados del plan nominal.	129
Figura 5.14	Sitios de la vía corta a Tlaxcala eliminados del plan nominal.	130
Figura 5.15	Niveles de diseño para el plano de cobertura de Puebla y Tlaxcala.	130
Figura 5.16	Plano de predicción de cobertura del plan nominal para Puebla y Tlaxcala.	131
Figura 5.17	Anillo de búsqueda para el sitio PUE1091.	134
Figura 5.18	Diagrama de ubicación del candidato 1 para PUE1091.	136
Figura 5.19	Diagrama de ubicación del candidato 2 para PUE1091.	136
Figura 5.20	Ubicación de gabinete exterior de RBS 2102 en PUE1091.	141
Figura 5.21	Plano general de instalación de PUE1091.	142
Figura 5.22	Márgenes de atenuación log-normal simulados.	146
Figura 5.23	Formato de auditorias de sitios.	151
Figura 5.24	Clusters de las ciudades de Puebla y Tlaxcala.	152
Figura 5.25	Mapa de predicción de mejor servidora para Puebla y Tlaxcala.	153
Figura 5.26	Ruta para el recorrido en el cluster PUEBLA_CE01.	155
Figura 5.27	Niveles de señal del recorrido general de Puebla.	156
Figura 5.28	Valores de niveles de señal.	156
Figura 5.29	Formato de reporte fina (estadísticas).	157
Figura 5.30	Formato de reporte final (nivel de señal).	158
Figura 5.31	Formato de reporte final (niveles de SQI).	159
Figura 5.32	Formato de reporte final (niveles de RxQual).	160
Figura 5.33	Alto RA para la celda PUE1480C.	162
Figura 5.34	Lista de las peores celdas en RA para Puebla y Tlaxcala.	163
Figura 5.35	Credibilidad del número de muestras tomadas.	163

Figura 5.36	Mapa para la celda PUE1480C y sus vecinas.	164
Figura 5.37	Calidad de voz para la celda PUE1480C.	165
Figura 5.38	Medición de interferencia en el uplink para el canal 606.	166
Figura 5.39	Avance en el tiempo para PUE1480C.	167
Figura 5.40	Simulación de inclinación eléctrica para 4°, 6° y 7° en PUE1480C.	168
Figura 5.41	Asignación de los niveles de cobertura para la simulación anterior.	168
Figura 5.42	RA para la celda PUE1480C.	169
Figura 5.43	Avance en el tiempo para PUE1480C después del cambio.	169
Figura 5.44	Indisponibilidad de la celda TLAX1364B.	170
Figura 5.45	Disponibilidad para la celda TLAX1364B.	171
Figura 5.46	Credibilidad del número de muestras para Puebla.	171
Figura 5.47	Alarmas del sitio TLAX1364B.	172
Figura 5.48	Disponibilidad de canal para TLAX1364B.	173
Figura 5.49	Llamadas caídas en la celda PUE1099B.	174
Figura 5.50	Gráfica de bajo TA para PUE1099B.	175
Figura 5.51	Gráfica de distribución de llamadas caídas en el canal de tráfico.	176
Figura 5.52	Mapa del recorrido con TEMS para PUE1099B.	177
Figura 5.53	Distribución de llamadas caídas para PUE1099B.	178
Figura 5.54	Credibilidad del número de muestras para Tlaxcala y Puebla.	179
Figura 5.55	Mapa para TLAX1359C y celdas vecinas.	180
Figura 5.56	Gráfica de TA para TLAX1359C.	180
Figura 5.57	Formato de auditoría para el sitio TLAX1359.	181
Figura 5.58	Gráfica de distribución de SQI para TLAX1359C.	182
Figura 5.59	Gráfica de comportamiento de KPIs y tráfico.	183
Figura 5.60	Gráfica de KPIs de la BSC de Puebla y Tlaxcala.	184
Figura 5.61	Tendencia de crecimiento de tráfico para la celda PUE1316A.	185
Figura 5.62	Gráfica de tráfico para celda PUE1316A.	185
Figura 5.63	Gráfica de la celda PUE1316A sin congestión.	187
Figura 5.64	Desempeño de handover para PUE1099C.	188
Figura 5.65	Comportamiento de tráfico para la celda PUE1099C.	188
Figura 5.66	Comportamiento de HO interno para la celda PUE1099C.	189
Figura 5.67	Calidad de voz para PUE1099C.	189
Figura 5.68	Resultados de la etapa de planeación en Puebla y Tlaxcala.	192
Figura 5.69	Resultados de RxLev para el recorrido general en Puebla.	194
Figura 5.70	Resultados de RxQual para el recorrido general en Puebla.	195
Figura 5.71	Historial del desempeño RA.	197
Figura 5.72	Gráfica de desempeño del indicador de llamadas caídas.	198
Figura 5.73	Índice de calidad de voz para Puebla y Tlaxcala.	198
Figura 5.74	Desempeño de Handover para la BSC de Puebla y Tlaxcala.	199

Índice de tablas

Tabla 1.1.	Historia de la telefonía móvil.	3
Tabla 1.2.	Historia de la tecnología GSM.	5
Tabla 1.3.	Otorgamiento de concesiones a Telcel.	9
Tabla 1.4.	Estándares y principales mercados.	15
Tabla 2.1	Bandas del Espectro de Frecuencias.	20
Tabla 2.2	Tipos de canales de comunicación.	34
Tabla 2.3	Distancias dúplex.	35
Tabla 2.4	Tabla B de Erlang	47
Tabla 2.5	Patrón de frecuencias 3/9.	49
Tabla 3.1	Potencia y sensibilidad para diferentes CDU.	62
Tabla 3.2	Características de móviles.	63
Tabla 3.3	Atenuación para tipos de feeder.	64
Tabla 3.4	Atenuación de jumper y conector.	64
Tabla 3.5	Atenuación en duplexores .	65
Tabla 3.6	Ganancia y atenuación para diferentes TMA.	65
Tabla 3.7	Características de una antena direccional.	65
Tabla 3.8	Ganancia y atenuación por diversidad.	67
Tabla 3.9	Márgenes de atenuación Log-Normal.	71
Tabla 3.10	Valores típicos de δ_{LNF} .	73
Tabla 3.11	Niveles de diseño para exteriores y dentro de autos.	74
Tabla 3.12	Valores típicos de BPL y desviación estándar.	75
Tabla 3.13	Niveles de diseño para interiores.	75
Tabla 3.14	Consideraciones de altura.	76
Tabla 3.15	Tamaño de celdas con 95% de cobertura.	76
Tabla 3.16	Consideraciones de alturas.	76
Tabla 3.17	Criterio para cobertura externa.	77
Tabla 3.18	Criterio para cobertura dentro de autos.	77
Tabla 3.19	Criterio para cobertura en interiores.	77
Tabla 5.1	Pérdida estándar en tipos de alimentador comúnmente utilizado.	125
Tabla 5.2	Lista parcial de sitios nominales.	132
Tabla 5.3	Lista parcial de sitios aceptados.	137
Tabla 5.4	Datos generales de un sitio.	138
Tabla 5.5	Datos de configuración de antenas.	139
Tabla 5.6	Datos de aprobación y de configuración con TCC.	140
Tabla 5.7	Tabla con datos de instalación de antenas y tipo de sitio.	140
Tabla 5.8	Niveles de diseño.	146
Tabla 5.9	Información básica para recorridos de prueba.	149

Prólogo

Durante los últimos tres años las comunicaciones móviles en el país han experimentado un incremento acelerado en su demanda y en la versatilidad de los servicios que provee, motivando el interés de compañías nacionales e internacionales en la aplicación de nuevas tecnologías que pueden satisfacer la creciente demanda.

Tanto la experiencia profesional adquirida como el conocimiento de las necesidades de comunicaciones en el país, nos permitieron realizar este trabajo con el cual tenemos el propósito de mostrar el diseño y funcionamiento de una red celular con tecnología GSM, así como proponer algunos métodos para la optimización de la misma.

El objetivo principal de este proyecto es presentar una metodología para el diseño y optimización en Radio Frecuencia de una red celular con tecnología GSM. Esta metodología se basa principalmente en la práctica, así como en la teoría que ha sido desarrollada por los iniciadores de esta tecnología.

Además de presentar la metodología, se desarrolla un estudio de caso para ejemplificar la aplicación de cada uno de los procedimientos. Las ciudades en las que se desarrolla este estudio son Puebla y Tlaxcala.

Como consecuencia de la aplicación de estos procedimientos se debe de alcanzar: en la primera etapa el diseño de la red celular para la ciudad en la que se pretenda dar el servicio, en la segunda; se deben corregir los errores o bien mejorar el diseño para comenzar a ofrecer el servicio de los usuarios, y en la tercera será fundamental mantener en todo momento, mientras sea posible, el desempeño de la red en su estado más óptimo, permitiendo así ofrecer un servicio de la más alta calidad a los usuarios.

El presente trabajo consta de 6 capítulos, cuyo contenido se describen a continuación:

En el primer capítulo se muestra una breve historia de la telefonía celular, así como la trascendencia que ha tenido dentro de nuestra sociedad moderna. Donde también se mencionan y se describen brevemente algunas de las tecnologías existentes.

En el segundo capítulo se presentan una serie de conceptos básicos importantes, que se manejarán durante el desarrollo de todo el trabajo.

En el capítulo 3 se presenta la etapa de diseño, en la que se mencionan procedimientos para la planeación de una red, mencionando las características del equipo que se utiliza, así como su instalación.

En el capítulo 4 se explican los procedimientos para la optimización inicial y permanente de la red, estos ayudan a nuestro sistema trabaje a su mejor capacidad.

El capítulo 5 se muestra el estudio de caso, se presenta el diseño de una red celular GSM en la ciudad de pueblo, es aquí en donde se ve aplicado todo lo analizado a lo largo del trabajo.

El último capítulo se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones a las que llegamos, para después compararlos con los objetivos propuestos y comprobar si esto se cumplieron o no.

Para finalizar, se presentan los apéndices y la bibliografía consultada.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo estudiaremos un poco de la historia de la telefonía móvil, tanto en México como en el mundo, para entender mejor la repercusión que ha tenido en la sociedad y las necesidades de crecimiento que se van dando como consecuencia de la demanda del servicio. Además, comentaremos sobre los estándares y tecnologías existentes para este tipo de comunicaciones.

1.1. HISTORIA DE LA TELEFONÍA MÓVIL

Las telecomunicaciones móviles son una de las áreas más demandadas y de mayor crecimiento en el ámbito de las tecnologías de comunicación, actualmente representa un alto porcentaje de todos los suscriptores telefónicos a nivel mundial. En muchos casos, las soluciones celulares compiten exitosamente con las redes de telefonía fija. En un futuro, los sistemas que emplean la tecnología celular se convertirán en el método universal de comunicación.

El origen de las comunicaciones móviles se sucedió rápidamente después de la invención del radio hacia finales del siglo XIX; las primeras aplicaciones de radios móviles se asocian a la navegación y dispositivos de seguridad de barcos en el mar.

Por otra parte, el teléfono fue inventado por Alexander Graham Bell en 1876, y la comunicación inalámbrica tiene sus raíces en la invención del radio por Nikolai Tesla

cerca de 1880 (formalmente presentado en 1894 por un joven italiano llamado Marconi). Era de esperarse que un día ambas tecnologías fueran combinadas en un mismo aparato.

En la época predecesora a los teléfonos celulares, la gente que realmente necesitaba comunicación móvil tenía que hacer uso de radiotelefonos en sus autos. En el sistema radiotelefónico existía sólo una antena central por cada ciudad, y probablemente solo 25 canales disponibles en la torre. Esta antena central implicaba que el teléfono en el vehículo requeriría un transmisor poderoso, lo suficiente para transmitir a 50 ó 60 km de distancia. Esto también significaba que no muchas personas podrían usar los radiotelefonos ya que simplemente no existían suficientes canales para conectar a un número elevado de usuarios.

Las tecnologías inalámbricas han tenido mucho auge y desarrollo en estos últimos años. Una de las que ha tenido un gran desarrollo ha sido la telefonía celular. Desde sus inicios a finales de los 70 ha revolucionado enormemente las actividades que realizamos diariamente. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, haciéndolas sentir más seguras y productivas.

Martín Cooper fue el pionero en esta tecnología y a él se le considera "el padre de la telefonía celular". Esto sucede cuando introduce el primer radioteléfono en 1973, en Estados Unidos, mientras trabajaba para Motorola; pero no fue sino hasta 1979 cuando aparecieron los primeros sistemas comerciales en Tokio y Japón desarrollados por la compañía NTT (Nippon Telegraph and Telephone, Teléfono y telégrafo japonés).

En 1981, los países nórdicos introdujeron un sistema celular muy similar al de AMPS (Advanced Mobile Phone System, Sistema avanzado de telefonía móvil). Por otro lado, en Estados Unidos, gracias a que la entidad reguladora de ese país adoptó reglas para la creación de un servicio comercial de telefonía celular, en 1983 se puso en operación el primer sistema comercial en la ciudad de Chicago.

Con esos puntos de partida, en varios países se diseminó la telefonía celular como una alternativa a la telefonía convencional inalámbrica. La tecnología tuvo gran aceptación, por lo que a los pocos años de implantarse se empezó a saturar el servicio. En ese sentido, hubo la necesidad de desarrollar e implantar otras formas de acceso múltiple al canal y transformar los sistemas analógicos a digitales, con el objeto de dar cabida a más usuarios.

A pesar de que la telefonía celular fue concebida estrictamente para la voz, la tecnología celular de hoy es capaz de brindar otro tipo de servicios, como la transmisión de datos, audio y video, este último con algunas limitaciones

La tabla 1.1 presenta de manera cronológica la historia de la telefonía celular, resaltando los hechos más importantes.

Año	Hecho
1906	Reginal Fessenden transmite exitosamente voz humana a través de ondas de radio. Hasta ese momento las comunicaciones de radio consistían en transmisiones en código Morse.
1915	J.A. Fleming inventa el tubo de vacío haciendo posible la construcción de radios móviles.
1921	El departamento de policía de Detroit utiliza la frecuencia de 2 MHz en el primer radio vehicular móvil. El sistema era de una sola vía y el policía tenía que encontrar un teléfono para responder a los mensajes de radio.
1930s	Sistemas móviles de AM (Amplitude Modulation, Amplitud modulada) y de dos vías son utilizados en los Estados Unidos de Norteamérica, tomando ventaja de los recién desarrollados transmisores móviles y utilizando transmisión <i>half-duplex</i> . Para el final de la década la asignación de canales creció de 11 a 40.
1935	La invención de la FM (Frequency Modulation, Frecuencia modulada) mejoró la calidad de audio. El FM eliminaba la necesidad de grandes transmisores para AM y daba como resultado un equipo de radio con menores requerimientos de potencia para operar. Esto hizo más práctico el uso de transmisores en vehículos.
1940	La FCC (Federal Communication Commission, Comisión federal de comunicaciones), clasifica el servicio de comunicación móvil como DPLM (Domestic Public Land Mobile, Servicio público móvil doméstico). El primer sistema DPLM fue establecido en San Luis, Missouri en 1946 y utilizó la banda de 150 MHz. El año siguiente, un sistema para carretera fue desarrollado para el corredor de Boston a Nueva York utilizando la banda de 30-40 MHz.
1947	D.H. Ring, trabajando en Bell <i>Laboratories</i> , vislumbra el concepto celular.
1948	Shockley, Bardeen y Brittain de Bell <i>Laboratories</i> , inventan el transistor el cual permite a los equipos electrónicos, incluyendo a los equipos de radio ser miniaturizados.
1949	Son reconocidos los RCC (Radio Common Carriers, Operadores comunes de radio).
1949, 1958	Bell <i>Systems</i> hace propuestas de banda ancha.
1964	AT&T (American Telephone and Telegraph Company, Compañía americana de teléfono y telégrafo) introduce el IMTS (Improved Mobile Telephone System, Sistema telefónico móvil mejorado)
1968	La FCC comienza la asignación del espectro para los nuevos requerimientos en Estado Unidos de Norteamérica.
1969	Los países nórdicos de Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia acuerdan formar un grupo para estudiar y recomendar áreas de cooperación en telecomunicaciones. Esto da paso a la estandarización de las telecomunicaciones para todos los miembros de grupo NMT (Nordic Mobile Telephony, Telefonía móvil nórdica) el primer grupo internacional de estandarización.
1973	El grupo NMT especifica que una de las características de los teléfonos móviles debe ser el poder estar en una red y atravesar a otras redes. Esta característica se convierte en la base el concepto de <i>roaming</i> (usuario viajero).
1979	La FCC autoriza la instalación y prueba del primer sistema celular experimental en los Estados Unidos por la Illinois Bell Telephone Company.
1981	Ericsson lanza el primer sistema celular en Arabia Saudita basado en el estándar NMT 450.
1991	Es lanzado el primer sistema celular estándar GSM (Global System for Mobile Communications, Sistema global para las comunicaciones móviles).
1998	El número de suscriptores mundiales ha crecido a más de 200 millones.

Tabla 1.1. Historia de la telefonía móvil.

Para separar una etapa de la otra, la telefonía celular se ha caracterizado por contar con diferentes generaciones, las cuales se dividen tomando en cuenta los métodos de acceso y servicios que proporcionan al usuario.

1.1.1. Primera generación (1G)

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy baja, así como la velocidad. En cuanto a la transferencia entre celdas era muy imprecisa, ya que contaban con una baja capacidad basada en FDMA (Frequency Division Multiple Access, Acceso múltiple por división de frecuencia) y además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS.

1.1.2. Segunda generación (2G)

La 2G arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM, IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136), CDMA (Code Division Multiple Access, Acceso múltiple por división de código) y PDC (Personal Digital Cellular, Celular personal digital), éste último utilizado en Japón y cuyo desarrollo se dio a la par de los sistemas digitales en Europa y Estados Unidos. La difusión de este sistema no es conocido y ha sido diseñado únicamente para el entorno Japonés.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para comunicación por voz, pero limitados en comunicación de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares, como son: datos, fax y SMS (Short Message Service, Servicio de mensajes cortos). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communication Services, Servicios de comunicación personal).

1.1.3. Generación 2.5 (2.5G)

La generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, como: GPRS (General Packet Radio Services, Servicios de radio generales de paquetes), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data, Circuito conmutado de datos de alta velocidad), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution, Tasa de transmisión de datos para evolución global mejorada), IS-136B e IS-95Bm entre otros.

1.2. HISTORIA DEL GSM

La iniciativa de un sistema digital telefónico fue propuesto por la STA (Scandinavian Telecommunication Administrations, Administraciones escandinavas de telecomunicaciones), el cual fue enviado en 1981 junto con la propuesta de unión a la CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Radiocommunication, Conferencia europea de administración de correos y telecomunicaciones) para la especificación del sistema Europeo de telefonía móvil,

concebido para ser basado en un sistema de transmisión digital. En 1982 la CEPT conformó el grupo GSM (Groupe Special Mobile, Grupo especial móvil), cuyos miembros eran los países de Europa del oeste que pretendían investigar la idea de este nuevo sistema digital; es así como las bases de lo que más tarde se conocería como GSM (Global System for Mobile Communications, Sistema Global para las Comunicaciones móviles) se daban por asentado.

La historia del GSM responde a la necesidad de una homologación de los sistemas europeos existentes en la década de los 80s, y al rápido incremento de la utilización de la telefonía celular en estos países. La historia oficial de la tecnología GSM se resume cronológicamente en la siguiente tabla:

Fecha	Hecho
1982- 1985	La CEPT comienza la especificación de un estándar europeo digital de telecomunicaciones en la banda de 900 MHz. Este estándar se conoció tiempo después como GSM.
1987	Una combinación de TDMA (Time Division Multiple Access, Acceso múltiple por división de tiempo) y FDMA fue seleccionada como la tecnología de transmisión para GSM.
1988	La CEPT comenzó la producción de las especificaciones para la fase de implementación de GSM.
1989	El ETSI (European Telecommunication Standards Institute, Instituto europeo de estándares para telecomunicaciones) asumió la responsabilidad de la especificación de GSM.
1990	Las especificaciones de la fase 1 se detuvieron para permitir a los fabricantes el desarrollo de equipo para la red.
1991	El estándar GSM 1800 es liberado Una corrección al acuerdo de estandarización MoU (Memorandum of Understanding, Acuerdo de entendimiento) fue hecha para permitir a países fuera de la CEPT su adhesión a la organización.
1992	Las especificaciones de la fase 1 son completadas. Redes GSM de fase 1 son lanzadas. El primer acuerdo internacional de <i>roaming</i> fue establecido entre la Telecom Finland y la Vodafone de Gran Bretaña.
1993	Australia se convierte en el primer país no europeo en firmar el Memorando of Understanding (MoU). El MoU tiene ahora un total de 70 firmantes. Redes de GSM son lanzadas en Noruega, Australia, Irlanda, Hong Kong y Australia. El número de abonados del GSM alcanza un millón. El primer sistema DCS 1800 es lanzado en el Reino Unido.
1994	El MoU tiene ahora más de 100 millones de firmantes en 60 países. Más redes GSM son lanzadas El número total de abonados GSM excede los tres millones.
1995	Se desarrolla la especificación para PCS en EUA. Esta versión de GSM opera en la banda de 1900 MHz. Las tendencias de crecimiento de GSM continúan estables en 1995, con el número de subscriptores de GSM incrementándose en una tasa de 10,000 por día y subiendo. En abril de 1995 eran 188 miembros de la MoU en 69 países
1996	El primer sistema GSM 1900 está disponible. Este cumple con el estándar PCS 1900.
1998	Al comienzo de 1998 el MoU tiene un total de 253 miembros en más de 100 países y más de 70 millones de abonados GSM en todo el mundo. Los abonados de GSM constituyen un 31% del mercado mundial de telefonía móvil.

Tabla 1.2. Historia de la tecnología GSM.

- Telefonía de voz.
- Roaming internacional.
- Fax básico / servicios de datos (hasta 9.6 kbits/s).
- Desvío de llamadas.
- Bloqueo de llamadas.
- SMS.

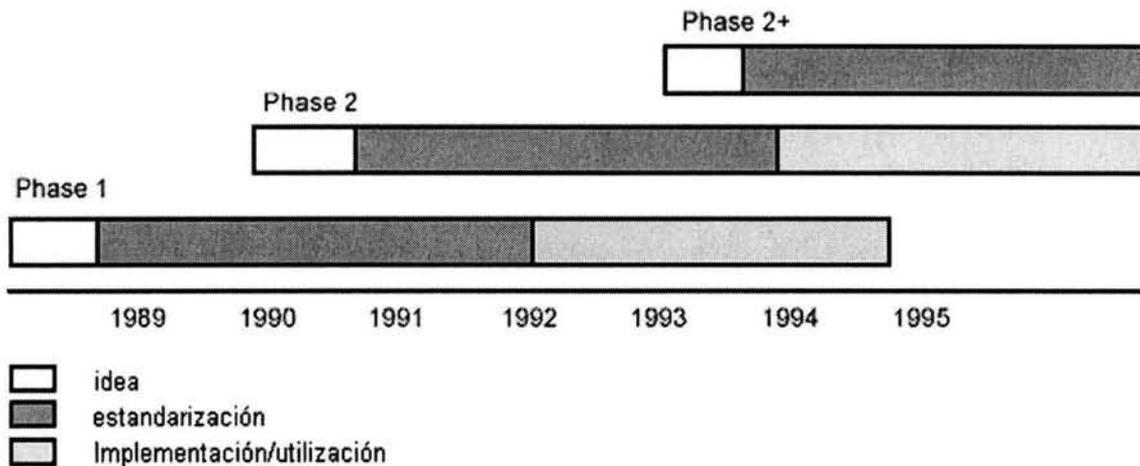


Figura 1.2. Fases de GSM.

La fase 1 también incorpora características tales como el cifrado y las SIM cards (Subscriber Identity Module, Módulo de identificación de abonado). Las especificaciones de la fase 1 fueron cerradas y no pueden ser modificadas.

- **Fase 2**

Funciones adicionales fueron introducidas en GSM fase 2 y éstas son:

- Aviso de costo de llamada.
- Identificación de llamadas.
- Llamada en espera.
- Retención de llamada.
- Llamada en conferencia.
- Grupos cerrados de usuarios.
- Capacidades adicionales para la comunicación de datos.

- **Fase 2+**

Los grupos de estandarización han empezado a definir la siguiente fase, el programa de la fase 2+ cubrirá múltiples números para un suscriptor y una serie de características orientadas a negocios.

Algunas de las mejoras ofrecidas por la fase 2+ incluyen:

- Perfiles de servicios múltiples.

- Planes de números privados.
- Acceso a centros de servicios.
- Interoperabilidad con los estándares GSM 1800, GSM 1900 y DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas).

Las prioridades y el tiempo planeado para las nuevas funciones y características dependen primordialmente del interés mostrado por las compañías operadoras y fabricantes en las áreas relacionadas.

1.3. HISTORIA DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN MÉXICO

En México, la compañía más importante en el área de telefonía celular es Telcel, quien es el primer operador a nivel nacional en cuanto a cobertura y por consiguiente a número de usuarios, además es uno de los pioneros junto con Iusacell de las comunicaciones telefónicas celulares en México. Telcel actualmente tiene cobertura en las nueve regiones del país. La historia de lo que hoy se conoce como Telcel se remonta a 1978 cuando inicia la instalación y operación de un sistema de radiotelefonía móvil (teléfono en el automóvil) en el Distrito Federal. En 1984 obtiene la concesión para explotar la red de servicio radiotelefónico móvil en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, bajo la denominación de "RADIOMOVIL DIPSA S.A. DE C.V."

En 1989 entra al mercado Iusacell, convirtiéndose en la primera compañía que opera la telefonía celular en la Ciudad de México, contando con una red digital comercial de servicios de comunicaciones. Con ello se inicia la operación de su plataforma digital basada en tecnología CDMA.

Iusacell es el segundo proveedor de comunicación inalámbrica más grande en México. Provee servicios celulares inalámbricos en siete de las nueve regiones de México (R1, R4, R5, R6, R7, R8 y R9) entre las ciudades más importantes en las que se tiene cobertura se encuentran: la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Tijuana, Acapulco, Puebla, León y Mérida.

En el año de 1989 surge la marca Telcel, cuando comenzó a ofrecer los servicios de telefonía celular analógica en la ciudad de Tijuana B.C., al autorizar la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la introducción de la telefonía celular en nuestro país.

El crecimiento de la telefonía celular y el otorgamiento de concesiones para operar en el país fueron a partir de las fechas de acuerdo a la tabla 1.3.

Tiempo después surgen otras compañías de telefonía móvil tales como Unefon y Pegaso.

Actualmente Unefon tiene cobertura en las ciudades de Acapulco, Aguascalientes, Ciudad de México, Guadalajara, Guanajuato, Monterrey, Morelia, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tampico, Toluca, Torreón, Tuxtla y San Francisco del Rincón.

A diferencia de Telcel, que inició sus operaciones con telefonía celular analógica, Iusacell, Pegaso y Unefon iniciaron sus operaciones con tecnología totalmente digital, aunque éstas dos últimas con poca presencia en el país.

Región	Fecha de Otorgamiento de Concesión
9 Metropolitana	7 de Diciembre de 1984 10 de octubre de 1989 (Ampliación de la concesión)
1 Baja California	19 de Octubre de 1989 8 de Agosto de 1991 (Ampliación de la concesión)
5 Occidente	7 de Agosto de 1990
4 Noreste	10 de Agosto de 1990
2 Noroeste	8 de Agosto de 1991
3 Norte	8 de Agosto de 1991
6 Centro	24 de Octubre de 1991
7 Golfo Sur	24 de Octubre de 1991
8 Sureste	24 de Octubre de 1991

Tabla 1.3. Otorgamiento de concesiones a Telcel.

Tras el cierre de la adquisición del 65,23% del capital del Grupo Pegaso Telecomunicaciones, a mediados de septiembre 2002, y la integración de esta compañía con las operaciones de Telefónica Movistar en el norte del país, Telefónica Movistar México se ha convertido en el tercer operador de telefonía móvil del mercado mexicano, con licencia para operar en todo el país. En este sentido, a finales de diciembre 2002, Telefónica Movistar México contaba con más de 2,4 millones de clientes.

Actualmente Telefónica Movistar cubre con la red GSM las ciudades de Ensenada, Nuevo Laredo, Mexicali, Chihuahua, Reynosa, Cuernavaca, Toluca, Monclova, Matamoros, Saltillo, Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Tijuana, Ciudad Juárez, Veracruz y Puebla.

Telcel tiene cobertura con sus redes D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone System, Sistema digital avanzado de telefonía móvil) y GSM en todos los estados del país, así como las ciudades más importantes, incrementando la cobertura de su red GSM en aproximadamente una población diaria.

Al día de hoy, Radiomovil Dipsa es subsidiaria de América Móvil, uno de los mayores proveedores de comunicaciones celulares de Latinoamérica, grupo líder con inversiones en telecomunicaciones en varios países del Continente Americano. En México, de todos los servicios de telecomunicaciones, probablemente la telefonía móvil es la que ha experimentado el mayor crecimiento en los últimos años, tanto en términos de ingresos como de número de usuarios.

De 1999 al 2000, el número de usuarios se incrementó en 89%, gracias a los sistemas de prepago, la reducción en términos reales de las tarifas, la aceptación positiva de los usuarios y la modalidad conocida como "el que llama paga". Cifras preliminares de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) indican que al 31 de marzo del 2001 el número de usuarios se ubicó cerca de los 15.5 millones. En diciembre del 2001, esta cifra alcanzó los 18.5 millones de usuarios, y para el año 2004 se estiman los 33.4 millones. Esto significa crecer 18% en promedio cada año.

1.4. NECESIDADES

Durante los últimos cuatro años las comunicaciones móviles en el país han experimentado un incremento acelerado en su demanda y en la versatilidad de los servicios que provee, motivando el interés de compañías nacionales e internacionales en la aplicación de nuevas tecnologías que puedan satisfacer la creciente demanda.

Las redes actuales de telefonía celular se encuentran en un estado de saturación y si bien algunas de ellas proveen un servicio con la cobertura adecuada, el constante incremento de la utilización de teléfonos celulares ha convertido en insuficientes los recursos que las compañías operadoras pueden proveer; es normal en este momento intentar realizar una llamada con un teléfono celular y no encontrar acceso a la red por saturación en el sistema. Todo esto sin contar con la demanda de transmisión de datos y el tráfico generado por el envío de mensajes cortos entre usuarios.

Con todo lo expuesto, la migración de estas redes se vuelve imprescindible, tanto desde el punto de vista operativo como en lo relacionado a los servicios adicionales que en este momento pueden ofrecer los operadores. En Europa, esta situación se ha presentado desde hace poco más de diez años, por una penetración más acelerada del uso de celulares, lo que ha propiciado la evolución más acelerada de las tecnologías existentes.

Es de esta manera que la adopción de nuevas tecnologías, más que la ampliación de las redes existentes, cobra una gran importancia, ya que las redes instaladas no son capaces de satisfacer al mismo tiempo la demanda de más servicios, más cobertura, mejor calidad y mayor capacidad.

Si bien es cierto que tales tecnologías de 2G existentes en nuestro país poseen excelentes características y son capaces de satisfacer la demanda actual, la migración a 2.5G no es porque estas tecnologías (de 2G) sean obsoletas, si no más bien por la necesidad de ofrecer al usuario nuevas opciones, con mejor calidad y abriendo paso así a la tan deseada estandarización internacional en el uso de los móviles.

Actualmente en el mercado nacional existen 4 diferentes operadores ofreciendo diversas opciones tecnológicas, como son: CDMA y D-AMPS, ambas de segunda generación. La falta de capacidad en estas redes para ofrecer un servicio de mejor calidad a un número mayor de usuarios y la necesidad por nuevos servicios tal como la transmisión de datos, imágenes y video motivó el interés en la búsqueda de nuevas opciones. A consecuencia de esto, el operador más importante en nuestro país, Telcel, decide hacer un contrato con una empresa internacional que le provea tanto el servicio

de diseño, implementación y optimización para una nueva red con tecnología GSM. De igual manera Telefónica Movistar despliega una red GSM en el país.

GSM es un estándar probado en Europa que permite el manejo de datos y la homologación con una red mundial, permitiendo a usuarios de otros países tener una cobertura en cualquier parte del mundo en la que exista un operador con la misma tecnología.

1.5. ESTÁNDARES

Un sistema cerrado puede funcionar exclusivamente según sus reglas y protocolos. Sin embargo, cuando dos sistemas tienen que funcionar juntos, entrelazados, han de tener reglas comunes para lo que pase en el punto de interconexión, la interfaz. Estas cuestiones se plantearon muy pronto en las telecomunicaciones, por ejemplo, en el punto en el que los sistemas de telégrafos se encontraban en límites nacionales, geográficos e idiomáticos.

En el transcurso del siglo XX, la necesidad de crear estándares creció en importancia, y las telecomunicaciones, que implican cada vez más el manejo de datos, se han convertido en un área clave de interés.

En el periodo posterior a la segunda guerra mundial, la ITU (International Telecommunication Union, Unión internacional de telecomunicaciones), que es un organismo de la ONU, mostró una gran actividad en el desarrollo de estándares de transmisión y señalización para la telefonía internacional. Las redes telefónicas nacionales fueron rápidamente cambiadas a marcación automática de larga distancia (troncal), con lo que muy pronto mediante convenios bilaterales, se establecieron formas para hacer llamadas automáticas o por marcación de operadoras hacia las fronteras o países vecinos.

La tarea que se impuso a sí misma la ITU fue la de establecer procedimientos y especificaciones técnicas comunes internacionales, de forma que un abonado de cualquier país pudiera llamar directamente a un abonado de cualquier otro. Con el tiempo, surgieron una serie de estándares de señalización internacional, denominados según el CCIT (Comité Consultative International Téléphonique, Comité consultivo telefónico internacional) que es el Comité para las Telecomunicaciones dentro de la ITU, como: el CCIT número 5, para la marcación por medio de telefonista; el CCIT número 6, para la marcación del abonado; y el CCIT número 7, señalización por canal común, que es el dominante en la actualidad. Los sistemas de señalización internacional no son más que un ejemplo de los muchos campos en que la ITU ha actuado con éxito para posibilitar las comunicaciones internacionales.

Hoy en día, el papel de establecer estándares, en especial estándares tecnológicos ha sido asumido en cierta medida por otros organismos internacionales. Entre ellos se cuentan el ETSI en el viejo continente, así como cierto número de instituciones nacionales, grupos de usuarios y asociaciones industriales.

Con la liberación y el surgimiento de la adquisición pública de multi-vendedores, el establecimiento de estándares y la conformidad con ellos han adoptado una nueva dimensión crítica. Un operador de red puede comprar los distintos elementos de la red a distintos vendedores en competencia. Este es un requisito previo y absoluto para asegurar precisamente esa competencia y evitar así el riesgo de un solo vendedor, o grupo de vendedores, que cree un mercado protegido, aunque ésta es la idea, los grandes fabricantes de la tecnología tienden a monopolizar el mercado o el operador tiende a comprar todo a un mismo fabricante para así obtener soluciones que lo lleven de la mano.

El desarrollo en las comunicaciones por radio está influenciado por la tecnología en los sistemas de comunicación y las limitaciones de la tecnología en los equipos existentes. Otros factores son la creciente utilización de frecuencias y la creciente demanda de requerimientos de usuario. Las especificaciones del equipo para aspectos como la selectividad del sistema, la separación de los canales y la estabilidad de la frecuencia necesitan ser revisados regularmente acorde al ritmo de los avances en los sistemas y equipos. La utilización práctica de bandas de frecuencia más y más altas tiene que esperar hasta que componentes de radio apropiados estén disponibles a un precio razonable.

Los factores que se ponen en juego en la planeación de las especificaciones de radio, proporcionan la información básica para la planeación e implementación del desarrollo del producto. El punto de inicio es la definición mínima de la especificación por parte de autoridades en telecomunicaciones y otras organizaciones, las cuales en un principio, deben ser verificadas de manera oficial, probándolas antes de que la producción en masa sea iniciada. El fabricante entonces define las propias especificaciones de su equipo, el cual es más amplio, tomando en cuenta los requerimientos del mercado, y lo que ofrece la competencia.

En la figura 1.3 se aprecia lo complejo que éste proceso de elaboración de estándares puede ser, inicialmente se definen especificaciones mínimas (1) por autoridades en telecomunicaciones y otros organismos (2 y 3), requiriendo su verificación de manera oficial. El fabricante define sus especificaciones (4) tomando en cuenta los requerimientos del mercado y lo que ofrecen otras compañías, incluyendo las limitaciones técnicas, económicas y prácticas (5 y 6); dando como resultado limitaciones de autoridades respecto al desempeño del equipo y estándares nacionales e internacionales (7).

El actualizar las especificaciones técnicas oficiales de manera que cumplan con las nuevas condiciones es un negocio laborioso y tardado. Esto es usualmente hecho mediante cooperación internacional de acuerdo a las siguientes razones:

- Razones para la cooperación internacional en especificaciones de radio.
- Acceso a toda la experiencia en sistemas y tecnología de equipo internacional.
- Cooperación internacional necesaria para el uso óptimo del espectro de radio.
- Los servicios de radio internacionales se han vuelto muy importantes, p.e. comunicaciones satelitales, telefonía móvil, comunicación de onda corta, etc.

- La estandarización Internacional de las especificaciones de radio ha dado la pauta para el mercado internacional de este tipo de equipo.

La cooperación internacional toma lugar principalmente a través de ITU-R, anteriormente CCIR (Comité Consultative International des Radiocommunication, Comité consultivo internacional de radiocomunicación), de donde toma la letra R (Radiocommunication), la cual publica recomendaciones y propuestas para sistemas y equipo de radio. En el pasado, el procedimiento de elaboración de estándares en Europa del Este consistía en la entrega de documentos por parte del CEPT para la estandarización de esa región de Europa, de esta manera las propuestas no eran hechas por las autoridades de telecomunicaciones nacionales, y como una regla, las especificaciones en cada país tendían a ser consistentes con las recomendaciones del CEPT y respaldadas por documentos del CCIR.

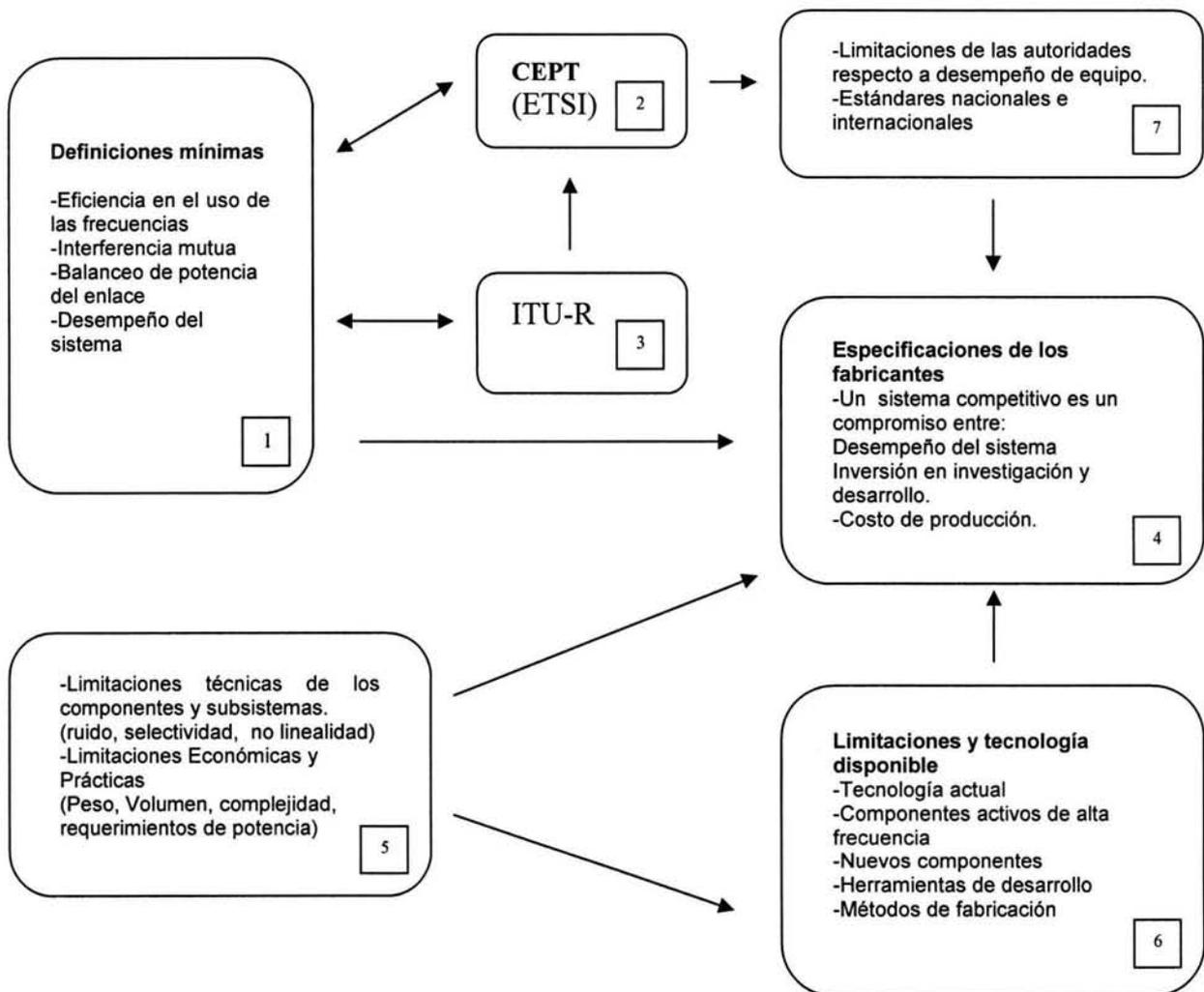


Figura 1.3. Planeación de las especificaciones de radio.

Desde la conformación de la comunidad europea, el papel de armonización que realizaba de la CEPT fue tomado por sobre el de la ETSI. Se le proporcionaron grandes recursos después de una ronda consultiva y formaron la base de la estandarización europea, los cuales son adoptados en los países miembros de la comunidad europea.

Un ejemplo de esto, es la especificación de GSM, el primer proyecto fue realizado por el grupo GSM trabajando bajo el CEPT y la documentación final en la cual está basado el trabajo hecho por el grupo de estudio del ETSI. El ETSI también fue responsable por las especificaciones para DECT y UMTS (Universal Mobile Telecommunication System, Sistema universal de telecomunicación móvil). Los estándares de ETSI han ganado una gran aceptación por los grupos de estudio que incluyen expertos de autoridades en telecomunicaciones, de operadores de sistemas y de los mayores fabricantes. ETSI está también cooperando con grupos de ITU y sus contrapartes en otras regiones.

Una lista de algunos grupos internacionales prominentes que tienen influencia en las regulaciones técnicas y principios que aplican a la utilización del espectro de radio son ITU, CEPT, ETSI, CCIT, CCIR y:

- WARC: (World Administrative Radio Conference, Conferencia mundial de administración de radio).
- IEC: (International Electrotechnical Commission, Comisión internacional electro-técnica).
- SEK: (Svenska Elektriske Kommissionen, Comisión eléctrica sueca), miembro de la IEC.
- IEEE: (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos). Institución de EUA.
- EIA: (Electronic Industries Association, Asociación de industrias electrónicas), ésta es una asociación de EUA.
- TIA: (Telecommunication Industries Association, Asociación de industrias de la telecomunicación), ésta es una asociación de EUA.

Las propuestas para las regulaciones generales internacionales aplicables al público de las redes de telefonía móvil son elaboradas en cercana cooperación entre ITU-R e ITU-T, anteriormente CCIT, de donde toma la letra T (Téléphonique). ITU es un cuerpo de las Naciones Unidas y un foro para la cooperación internacional entre las autoridades de las telecomunicaciones mundiales, ITU es también responsable de la WARC.

El objetivo principal de las regulaciones de tipo aprobatorio (type-approval regulations) es minimizar el riesgo de interferencia mutua entre conexiones simultáneas en la misma área geográfica.

La realización de estándares internacionales es de gran importancia debido al alto grado de penetración de la tecnología celular en los últimos años. La historia del desarrollo de estándares internacionales comienza en 1981 con el NMT 450, desde ese entonces muchos estándares para comunicaciones móviles han sido desarrollados en todo el mundo; cada estándar para móviles ha sido desarrollado para cumplir con los requerimientos particulares de países y grupos interesados en la especificación. Por esta razón, a pesar de que un estándar puede ser apropiado para un país, puede no serlo para otro. Los estándares y los principales mercados en los cuales son utilizados se sintetizan en la tabla 1.6.

En la telefonía móvil se establecieron dos estándares analógicos distintos en Europa: NMT y TACS (Total Access Communication System, Sistema de comunicación de

acceso total), que luego se convirtió en ETACS (Extended Total Access Communication System, Sistema de comunicación extendido de acceso total). El primero proporcionó el surgimiento del abonado entre los países nórdicos y algunos otros como Suiza. Sin embargo, fue la CEPT en sus preparativos para el importante paso a la telefonía móvil digital, la que primero creó la necesidad de establecer un estándar único Europeo (el estándar que se convirtió en GSM y que recibió en un principio el nombre de Grupo Especial Móvil). Esa norma Europea fue creada para asegurar, por un parte, que cualquier abonado estuviera en la posibilidad de usar su teléfono móvil en cualquier país de Europa y, por otra, que tanto los operadores como los abonados pudieran comprar equipos y teléfonos móviles en un mercado abierto.

Año	Estándar	Sistema de telefonía móvil	Tecnología	Mercados principales
1981	NMT 450	Nordic Mobile Telephone	Analógica	Europa, Oriente Medio
1983	AMPS	Advanced Mobile Phone System	Analógica	Norte y Sudamérica
1985	TACS	Total Access Communication System	Analógica	Europa y China
1986	NMT 900	Nordic Mobile Telephone	Analógica	Europa y Oriente Medio
1991	GSM	Global System for Mobile Communication	Digital	Mundial
1991	TDMA (D-AMPS) (IS136)	Time Division Multiple Access (Digital- AMPS)	Digital	Norte y Sudamérica
1992	GSM 1800	Global System for Mobile Communication	Digital	Europa
1993	CDMA One	Code Division Multiple Access One	Digital	EUA y Korea
1994	PDC	Personal Digital Cellular	Digital	Japón
1995	PCS 1900	Personal Communication Services	Digital	EUA

Tabla 1.6. Estándares y principales mercados.

En Estados Unidos, el primer estándar móvil analógico fue el AMPS, desarrollado originalmente por Bell *Laboratories*. La gran diferencia en comparación con Europa fue que el país quedó dividido en muchos mercados con dos operadores móviles con licencia en cada uno. Eso aseguraba la competencia entre operadores, y también entre vendedores, pero condujo a serias limitaciones en la cobertura nacional del abonado.

1.6. SOLUCIONES ALTERNAS A GSM

Algunas de las soluciones alternas a la tecnología GSM han sido desarrolladas de manera paralela a ésta y presentan ventajas y desventajas respecto a este estándar. Estas tecnologías son abordadas aquí tratando de exponer en forma más clara en que consisten, las características de GSM se expondrán a lo largo de los capítulos posteriores en donde se analizará con más profundidad el funcionamiento del sistema.

En cuanto a la elección de una nueva tecnología, muchas veces ésta responde a cuestiones de costos y rapidez con la que se implementa la nueva red, respuesta del mercado, conocimiento de los usuarios de estas tecnologías en otros países y acuerdos entre operadores y fabricantes. GSM es un estándar muy extendido en el mundo y si bien CDMA presenta mejores características en cuanto a manejo de interferencia y calidad de voz, GSM está más orientado a la transmisión de datos y cuenta con mucha experiencia para su implementación en Europa. Un usuario de casi cualquier parte del mundo podría utilizar las redes GSM existentes en el país. Si comparamos a D-AMPS con GSM éste último es más evolucionado y más robusto en cuanto al manejo de interferencia. Por otra parte, PDC utiliza canales menos amplios y está adaptado para el entorno japonés, en donde es muy importante la cobertura *indoor* (interiores) tomando en cuenta espacios muy concurridos como centros comerciales o trenes subterráneos. Actualmente las consideraciones de este tipo en otras redes han tomado una mayor importancia, porque se ha visto que la mayoría del tráfico se genera en entornos *indoor* (interiores).

1.6.1. D-AMPS

La planeación de un sistema telefónico digital móvil en los Estados Unidos comenzó varios años después que en Europa. Sin embargo, intensos trabajos y especificaciones se hicieron entre 1988-1989. El sistema D-AMPS de Estados Unidos entró en operación al mismo tiempo que GSM en 1991.

Dado que los canales de radio serían utilizados para transmisión analógica en áreas rurales y para transmisiones digitales en áreas metropolitanas, las terminales tenían que usar el modo dual.

El sistema D-AMPS se lanzó como una adición para el sistema AMPS, los dos sistemas formaban un sistema integrado. El sistema digital sería gradualmente introducido en las áreas urbanas más importantes. La capacidad del sistema se incrementó reemplazando radios analógicas con canales de voz de 30 kHz por radios digitales con tres canales de voz TDMA de 30 kHz; de tal forma que la capacidad se incrementaba al triple al sustituir los radios analógicos por los digitales.

En México dentro de la red de Telcel algunas poblaciones rurales utilizan aún AMPS.

Diferentes tipos de sistemas de telefonía digital móvil fueron introducidos para la banda de 1900 MHz. En 1996 el trabajo de desarrollo continuo después de 1990, dio como resultado una nueva especificación IS-136. El sistema D-AMPS original fue aumentado con un arreglo completo de canales de señalización más un canal de control y de monitoreo del equipo móvil, haciendo a éste un sistema de radio autónomo.

1.6.2. CDMA

CDMA es una tecnología digital inalámbrica, de las más modernas que ha permitido la generación de nuevos productos y servicios de comunicación inalámbrica. Se basa en métodos de codificación digital, técnicas de radio frecuencia (RF) y spread spectrum (amplio espectro).

CDMA es una tecnología de "amplio espectro" que denota la separación de la información contenida en una señal determinada, dando como resultado una señal con un ancho de banda mayor que el de la señal original, permitiendo una mejor calidad de voz, más privacidad, capacidad y flexibilidad que otras tecnologías inalámbricas.

La tecnología de amplio espectro separa los usuarios asignándoles códigos digitales diferentes dentro del mismo canal. El principio del amplio espectro es usar una portadora con un ancho de banda muy grande (noise-like carrier waves). Esta tecnología data de los años 40 y fue usada en sistemas de comunicaciones militares, porque estas señales de espectro amplio eran inmunes a la interferencia del enemigo. En los años 70s y 80s aumentó el interés por aplicaciones comerciales de ésta tecnología, principalmente en sistemas celulares. A fines de los 80s y principios de los 90s la compañía Qualcomm propuso y desarrolló un sistema CDMA. En 1996 el sistema desarrollado por Qualcomm fue modificado y aceptado por la TIA como estándar IS-95.

Varios operadores de redes adoptaron el estándar CDMA, con lo que planearon adoptar la operación de modo dual con el analógico en 800 y 1900 MHz. En 1996 los sistemas comerciales comenzaron a aparecer y operar; en México fue hasta 1998, dado a conocer por IUSACELL.

La meta más importante del diseño de CDMA fue hacer el espectro más eficiente con gran incremento en capacidad, privacidad y seguridad en la red. IS-95 incorpora un sistema de autenticación criptográfica. Los operadores más importantes que están usando CDMA en EUA son Air Touch, Bell Atlantic/Nymex GTE, Sprint PCS.

CDMA provee de 10 a 20 veces más capacidad para manejo de llamadas que otras tecnologías analógicas inalámbricas, y más de tres veces la capacidad que otras tecnologías digitales (TDMA, GSM), tiene un área de cobertura más amplia y con un alcance de cobertura superior. CDMA mejora la cobertura *outdoor* (exteriores) e *Indoor*, interacciona con AMPS, que es la base de la mayoría de las redes de teléfonos celulares analógicos. Actualmente se está desarrollando la interacción con redes GSM/MAP (GSM Management Application Part, Parte de manejo de aplicación de GSM) que permiten amplia cobertura y conexión entre redes CDMA y GSM.

1.6.3. PDC

El PDC es una tecnología de la 2ª generación, utilizada en comunicaciones inalámbricas en Japón. Utiliza una variante de TDMA que divide cada canal celular en entradas individuales en el tiempo, aumentando la cantidad de información que puede ser transmitida. Diversas implementaciones de tecnología TDMA compatibles se utilizan en todo el mundo, la más prolífica es el sistema GSM.

Actualmente PDC sólo se utiliza en Japón con los primeros sistemas introducidos por NTT en 1991, reemplazando las redes analógicas. Opera en bandas de 800 MHz y 1500 MHz, haciendo muy eficiente el uso de éstas. Con una demanda de ancho de banda tan grande en Japón, el sistema puede operar en 2 modos: tasa media y tasa

completa. Los canales de tasa media reducen la calidad de la conversación y la tasa de transmisión de información, pero permiten dentro del mismo ancho de banda atender a más usuarios. El número de suscriptores es tan alto en Japón, que a pesar de que solamente opera en este país, ocupó el 12% de suscriptores digitales globalmente para 1999.

Entre las características técnicas de PDC se encuentran:

PDC es la tecnología TDMA más eficiente espectralmente hablando, con 6 canales de media tasa o 3 de tasa completa en un espacio de frecuencia de 25 kHz, comparado con tres canales en 30 kHz en D-AMPS y ocho canales en 200 kHz para GSM. Aún se compara favorablemente con CDMA utilizando tecnología de espectro esparcido para permitir hasta 131 canales en un ancho de banda de 1250 kHz.

La tasa de transmisión completa normalmente requiere una tasa de transmisión de datos digitales de 9.6 kbps, como la que se utiliza en redes GSM, TDMA y CDMA. PDC ofrece dos tasas alternativas, 9.6 kbps en canales de tasa completa o 5.6 kbps en canales de tasa media. La calidad de la conversación en una conexión de 5.6 kbps es significativamente más baja que la estándar de 9.6 kbps, pero es una buena opción con el número de canales disponibles.

Utilizando sus habilidades de red inteligente (IN), PDC también permite llamadas con prepago, números personales, números de acceso universal, esquemas de cargo avanzados y redes privadas virtuales sin cables (VPNs). VPNs son grupos de usuarios cerrados que permiten que colegas trabajando en diferentes lugares se comuniquen a través de redes telefónicas móviles, como si se utilizara un sistema telefónico convencional.

La cobertura interna en Japón es de gran importancia, ya que provee un importante servicio para redes diferentes. PDC se diseñó para habilitar soluciones que mejoren el congestionamiento en lugares como centros comerciales, oficinas y estaciones de metro.

Para propósitos de transmisión de datos, se ha introducido el sistema PDC-P (Personal Digital Cellular – Packet, Celular personal digital – paquete) que utiliza un sistema basado en paquetes, permitiendo a los usuarios utilizar un solo canal simultáneamente. Esto es útil para algunas aplicaciones como navegar en Internet, donde los circuitos de conmutación convencionales desperdician ancho de banda normalmente, al requerir que el canal se dedique permanentemente a un usuario individual. La transmisión de datos de paquetes es más conveniente también para usuarios que están conectados permanentemente, siendo que solamente se paga por el volumen de datos transmitidos. PDC-P permite una tasa de transmisión de datos de 28.8 kbps al hacer más eficiente la red.

Una vez estudiada la historia de la tecnología celular, tanto a nivel mundial como en nuestro país, y con un panorama más amplio de las necesidades de telefonía celular en México, procederemos a estudiar los conceptos básicos de telefonía celular y de tecnología GSM requeridos para la elaboración de este proyecto.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS BÁSICOS

Para comprender de mejor manera el posterior desarrollo de nuestro estudio, en este capítulo estudiaremos los conceptos básicos involucrados.

2.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Existen varios tipos diferentes de ondas electromagnéticas. Estas incluyen ondas de radio, rayos infrarrojos, luz visible, rayos-x, y rayos gama, entre otras. Otros tipos de radiación electromagnética son causados por calor intenso, reacciones nucleares y emisiones estimuladas (láser). Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética. Éstas son generadas como perturbaciones emitidas por cargas oscilantes en una antena de transmisión. Sin importar su origen, una onda electromagnética consta de oscilaciones eléctricas y campos magnéticos. En una onda plana viajera, los campos eléctrico y magnético son perpendiculares entre sí y también la dirección de propagación. Las ondas pueden ser descritas por simples funciones sinusoidales, como se muestra en la figura 2.1.

Las propiedades de propagación son diferentes a través del espectro de frecuencia. Las ondas de radio se encuentran en el espectro de frecuencias entre 3 Hz y 3000 Ghz. Esta parte del espectro se divide en doce bandas como se muestra en la tabla 2.1.

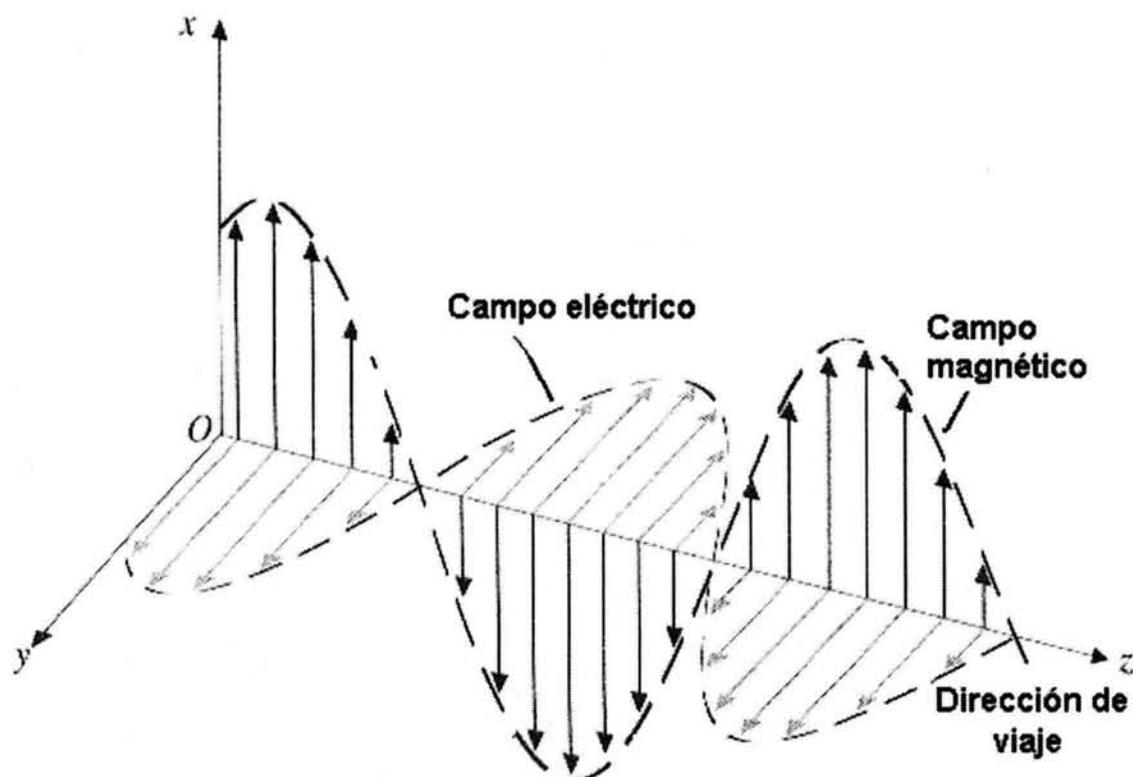


Figura 2.1. Una onda electromagnética plana.

Frecuencia	Clasificación	Designación
3 – 300 Hz	Extremely Low Frequency (Extremadamente baja frecuencia)	ELF
300 Hz – 3 kHz	Voice Frequency (Frecuencia de voz)	VF
3 kHz – 30 kHz	Very-Low Frequency (Muy baja frecuencia)	VLF
30 kHz – 300 kHz	Low Frequency (Baja frecuencia)	LF
300 kHz – 3 MHz	Medium Frequency (Frecuencia media)	MF
3 MHz – 30 MHz	High Frequency (Alta frecuencia)	HF
30 MHz– 300 MHz	Very High Frequency (Muy alta frecuencia)	VHF
300 MHz- 3 GHz	Ultra High Frequency (Ultra alta frecuencia)	UHF
3 GHz – 30 GHz	Super High Frequency (Super alta frecuencia)	SHF
30 GHz –300 GHz	Extremely High Frequency (Extremadamente alta frecuencia)	EHF
300 – 3000 GHz	Extremely High Frequency (Super extremadamente alta frecuencia)	EHF

Tabla 2.1. Bandas del Espectro de Frecuencias.

2.1.1. Polarización de las ondas electromagnéticas

La polarización de una onda plana uniforme describe el comportamiento variable con el tiempo del vector de intensidad de campo eléctrico E en un punto determinado del

espacio. Por ejemplo, si el vector E de una onda plana permanece fijo en la dirección x, se dice que la onda está polarizada linealmente en la dirección x. No se requiere una descripción aparte del comportamiento del campo magnético H, ya que la dirección de H está relacionada con la de E.

2.1.2. Generación de las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas de ultra alta frecuencia son normalmente generadas por cargas oscilantes en una antena de transmisión; en el caso de una estación de radio, la antena es frecuentemente un cable largo (un dipolo) alimentado por una fuente alterna de voltaje / corriente. El campo eléctrico hace que se emitan perturbaciones por la fuente del dipolo y que la frecuencia de oscilación del campo eléctrico (la onda electromagnética) sea igual a la frecuencia de la fuente.

Cada antena tiene un único patrón de radiación. Este patrón puede ser representado gráficamente trazando el tiempo promedio de la potencia del receptor, como una función del ángulo con respecto a la dirección del poder máximo en un diagrama log-polar. El patrón es representativo del desempeño de una antena en pruebas del entorno. Sin embargo, esto sólo aplica en un medio de espacio libre en el cual las mediciones de las pruebas toman lugar. En la instalación, el patrón llega a ser muy complejo debido a factores externos que afectan la propagación bajo las condiciones del campo. Así la eficiencia real de cualquier antena es medida en el campo una vez que ha sido instalada.

2.1.3. Frecuencia de una onda electromagnética

La frecuencia de una onda de radio es el número de veces que la onda oscila en un segundo. La frecuencia es medida en Hertz (Hz), donde 1 Hertz indica una oscilación en un segundo. Las frecuencias usadas por las redes de telefonía celular varían de acuerdo al estándar que estén usando. Un operador puede usar las frecuencias disponibles, o bien se pueden obtener a través de una subasta como en los Estados Unidos.

Las ondas electromagnéticas pueden ser descritas por una función sinusoidal, la cual está caracterizada por una longitud de onda. La longitud de onda (λ) es la longitud de una oscilación completa y es medida en metros (m). La frecuencia (f) y la longitud de onda están relacionadas por la velocidad de propagación (v), la cual para las ondas de radio es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

La longitud de onda para una frecuencia dada puede ser determinada usando la siguiente fórmula,

$$\lambda = \frac{v}{f} (m) \quad (2.1)$$

Para una red GSM en la banda de 1900 MHz la longitud de onda resulta ser

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1900 \text{ MHz}} = 0.15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

De ésta fórmula se concluye que mientras más grande sea la frecuencia menor es la longitud de onda. Las ondas de radio de baja frecuencia poseen una longitud de onda más grande y son más apropiadas para transmisiones sobre grandes distancias.

Las ondas de radio de alta frecuencia son más apropiadas para transmisión a pequeñas distancias, ya que son muy sensibles a problemas, tal como obstáculos que se encuentran en su camino de propagación. Las altas frecuencias son apropiadas para pequeñas áreas de cobertura, donde el receptor está relativamente cerca al transmisor.

Las frecuencias usadas para los sistemas móviles están entre las bajas frecuencias para cubrir grandes áreas, y las altas frecuencias para pequeñas coberturas.

El ancho de banda es el término usado para describir el intervalo de frecuencia dedicado a una aplicación. El ancho de banda dado a una aplicación depende del espectro disponible. El ancho de banda disponible es un factor importante para determinar la capacidad de un sistema móvil.

2.2. LA ANTENA

Entre las características importantes de las antenas en los sistemas de comunicaciones se encuentra la pérdida por propagación entre la entrada de la antena de transmisión y la salida de la antena de recepción, la cual se obtiene mediante la aplicación de un factor de corrección para la ganancia de la antena en ambos extremos. La posibilidad de utilizar antenas de alta ganancia está limitada por las dimensiones largas (expresada en longitudes de onda) y un ancho de lóbulo pequeño. Consecuentemente, las antenas omni-direccionales e incluso sectoriales, para sistemas de radio móviles tienen sólo una ganancia moderada.

Otra importante característica de una antena es la polarización. La polarización de una antena transmisora determina las características de polarización de una onda de radio transmitida. En principio la polarización de las antenas de recepción y transmisión debe estar acoplada, de otra manera la pérdida por polarización incrementa la pérdida por propagación, sin embargo, esto es menos significativo en donde se tiene una fuerte propagación por multitrayectoria. Después de que una onda ha sido reflejada varias veces, la polarización de la onda de radio se vuelve aleatoria. Una onda con polarización vertical tiene un campo eléctrico E vertical, el cual corresponde a los dipolos de la antena orientados verticalmente. Otro tipo es la polarización circular, aquí el vector eléctrico E rota en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda de radio.

2.2.1. Antenas direccionales

Desde el punto de vista de los sistemas de comunicación, una antena direccional se caracteriza por el patrón de radiación, la directividad de la antena (D), y la ganancia de la antena (G_A) dada en dB. La directividad de la antena depende del patrón de radiación; mientras más angosto sea el lóbulo de la antena mayor será la directividad. Las pérdidas que ocurren en la antena pueden ser descartadas, en cuyo caso la ganancia de la antena será la misma que la directividad:

$$G_A = D \quad (2.2)$$

Para una antena transmisora, la EIRP (Effective Isotropic Radiated Power, Potencia isotrópica efectiva radiada) dada en dBWatts, en la dirección de la antena receptora está dada por:

$$EIRP = P_T G_A \quad (2.3)$$

En donde P_T es la potencia de transmisión en Watts de la antena y G_A es la ganancia de la antena de transmisión en dirección a la antena receptora. La figura 2.2 muestra el patrón de radiación de una antena direccional en la que el lóbulo de la antena está dirigido de manera óptima hacia la antena receptora.

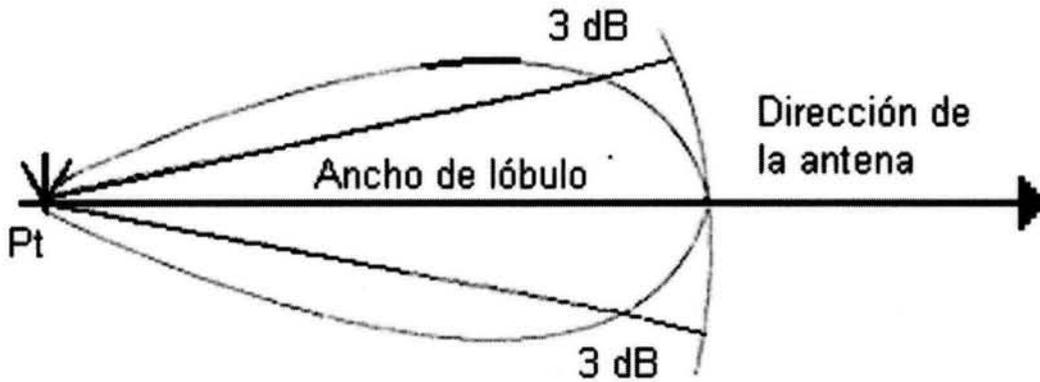


Figura 2.2. Patrón de radiación de una antena direccional.

El área efectiva de recepción para una antena receptora es:

$$A = G_A \frac{\lambda^2}{4\pi} = A_0 G_A \quad (2.4)$$

donde

- A: es el área efectiva de la antena dada en m^2
- λ : es la longitud de onda en metros
- G_A : es la ganancia de la antena en dB
- A_0 : es la relación $\lambda^2 / 4\pi$ llamada área efectiva de la antena isotópica

El área efectiva de recepción (figura 2.3) está relacionada con la potencia de recepción de la antena como sigue:

$$P_R = A * S \quad (2.5)$$

donde

- P_R : es la potencia de recepción dada en Watts

- A: es el área efectiva de la antena en m^2
 S: es la densidad de potencia de la antena receptora en $Watts/m^2$



Figura 2.3. Área de absorción de la antena receptora.

Las características del ancho del lóbulo de la antena y la ganancia en una antena direccional son idénticas, sin importar si la antena recibe o transmite (se asume que la polarización de la antena coincide con la polarización de la onda plana entrante).

2.3. MÉTODO DE MODULACIÓN

En un sistema GSM 1900, la frecuencia que es usada para enviar la información a través de la atmósfera es alrededor de 1900 MHz. Dado que ésta no es la frecuencia a la cual la información es generada, diferentes técnicas de modulación son usadas para trasladar la información a esta frecuencia. El traslado de frecuencia es implementado modulando su amplitud, frecuencia o fase de la onda portadora de acuerdo con la forma de la señal de entrada. Cualquier esquema de modulación incrementa el ancho de banda de la portadora, y es aquí donde se presenta el problema del espectro disponible. En GSM tenemos 24 canales disponibles con un ancho de banda de 200 kHz, por lo que se tiene 4800 kHz (4.8 MHz) de ancho de banda total.

En particular, la técnica de modulación usada en un sistema GSM es GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying, Modulación por desplazamiento mínimo Gaussiano), que es un tipo de modulación digital de fase. Para entender este método de modulación tendremos que revisar primero los métodos digitales de los cuales proviene.

2.3.1. Modulación por corrimiento de fase

En el método de modulación por corrimiento de fase (PSK, Phase Shift Keying), específicamente para una modulación binaria PSK tenemos que:

$$S_0(t) = A \cos(\omega t) \tag{2.6}$$

$$S_1(t) = A \cos(\omega t + \pi) \tag{2.7}$$

donde la primera ecuación representa un "0" binario y la segunda ecuación representa un "1" binario. Es decir, cada cambio de fase π representa un bit.

2.3.2. Modulación por corrimiento de frecuencia en cuadratura

Si definimos cuatro señales portadoras, cada una con un corrimiento de fase de 90° entre ellas, entonces podemos tener una modulación digital QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, Corrimiento de frecuencia en cuadratura).

Supongamos una cadena de bits a la entrada del modulador, $d_k = d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, \dots$, a una velocidad de $1/T$ bits/seg, la cual es separada en dos cadenas (figura 2.4) como:

$$d_I(t) = d_0, d_2, d_4, \dots$$

$$d_Q(t) = d_1, d_3, d_5, \dots$$

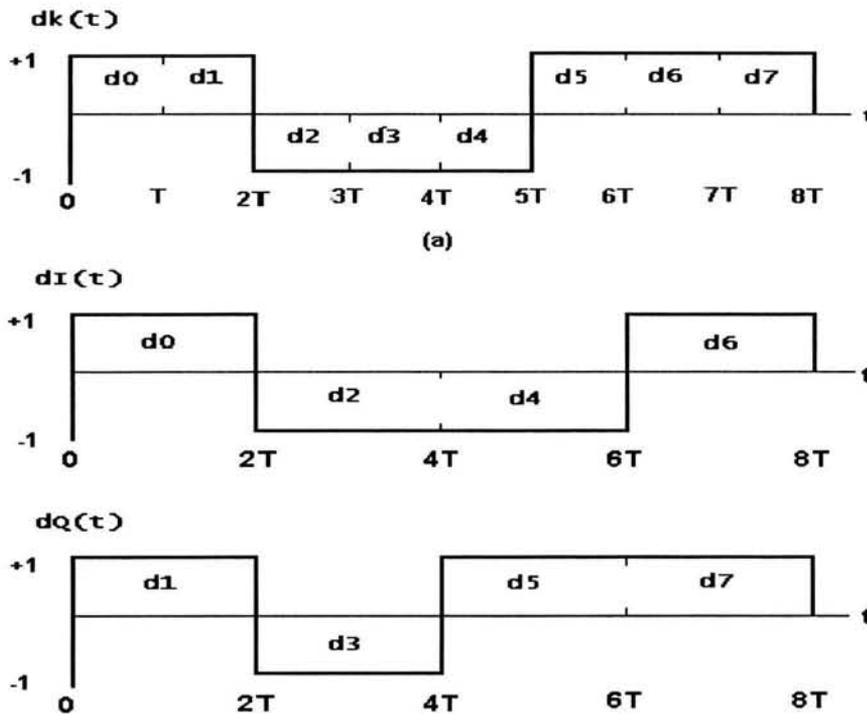


Figura 2.4. División de la cadena de bits.

Cada una de las cuatro posibles fases de la portadora representa dos bits (figura 2.5). De esta forma hay dos bits por cada símbolo. Usando una modulación QPSK se puede transmitir el doble de información usando el mismo ancho de banda, comparado con una modulación BPSK. Esto es posible porque las dos señales I y Q son ortogonales entre ellas y pueden ser transmitidas sin interferirse una con otra.

En QPSK la fase de la portadora puede cambiar solamente una vez cada $2T$ segundos. Si de un intervalo T al siguiente, ningún bit cambia de signo, la fase de la portadora permanecerá sin cambio. Si una componente $a_I(t)$ o $a_Q(t)$ cambia de signo, entonces ocurrirá un cambio de fase de $\pi/2$. Sin embargo, si ambas componentes cambian de signo, entonces ocurrirá un corrimiento de fase de π .

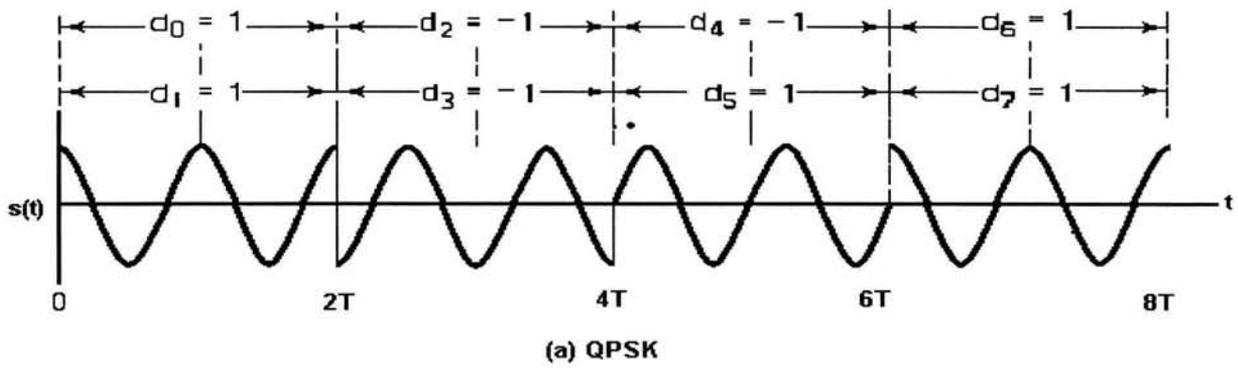


Figura 2.5. Correspondencia de 2 bits por cada cambio de fase.

2.3.3. Modulación por corrimiento de frecuencia en cuadratura con offset

Si a las dos cadenas de bits I y Q se les da un *offset* entre ellas de un intervalo de $\frac{1}{2}$ bit, entonces las fluctuaciones de amplitud son minimizadas, dado que la fase nunca cambia en 180° . Este esquema de modulación OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying, Corrimiento de frecuencia en cuadratura con *offset*) proviene del método QPSK de acuerdo a la figura 2.6.

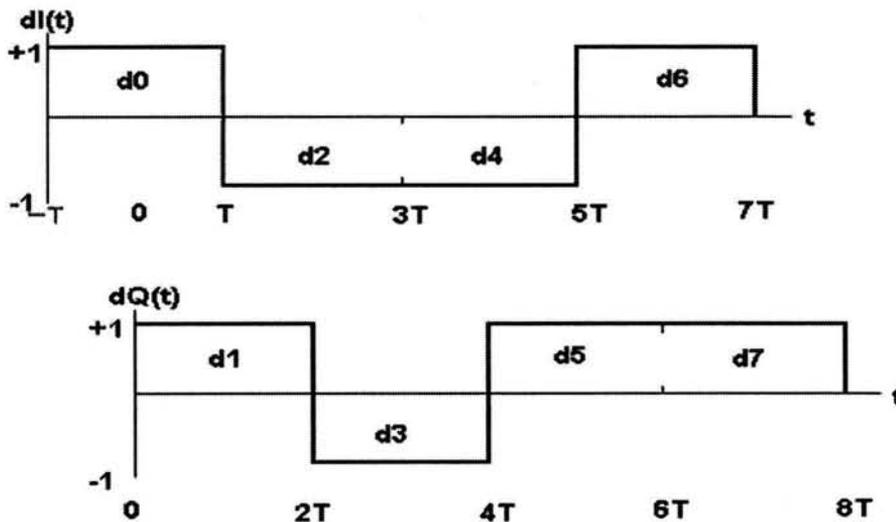


Figura 2.6. Offset para QPSK.

De esta forma el intervalo de cambio de fase es de 0° y 90° (la posibilidad de un corrimiento de fase de 180° está eliminada, figura 2.7) y ocurre dos veces pero con la mitad de intensidad de QPSK. Aunque las fluctuaciones de amplitud siguen ocurriendo en el transmisor y receptor, estas son ahora de menor magnitud. La tasa de bits erróneos para QPSK y OQPSK es la misma que para BPSK.

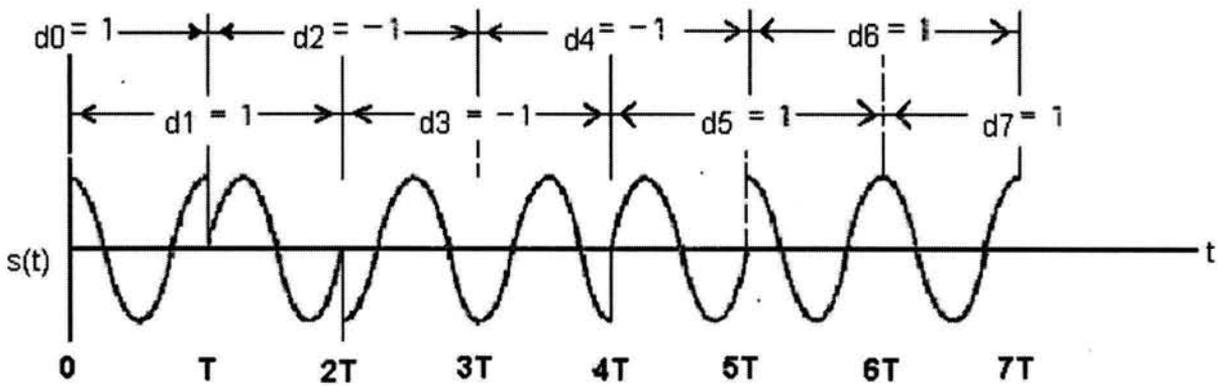


Figura 2.7. Modulación OQPSK.

2.3.4. Modulación por corrimiento mínimo

El método MSK (Minimum Shift Keying, Corrimiento mínimo) se deriva de OQPSK reemplazando el pulso rectangular en amplitud con un pulso sinusoidal de medio ciclo como se vea a continuación.

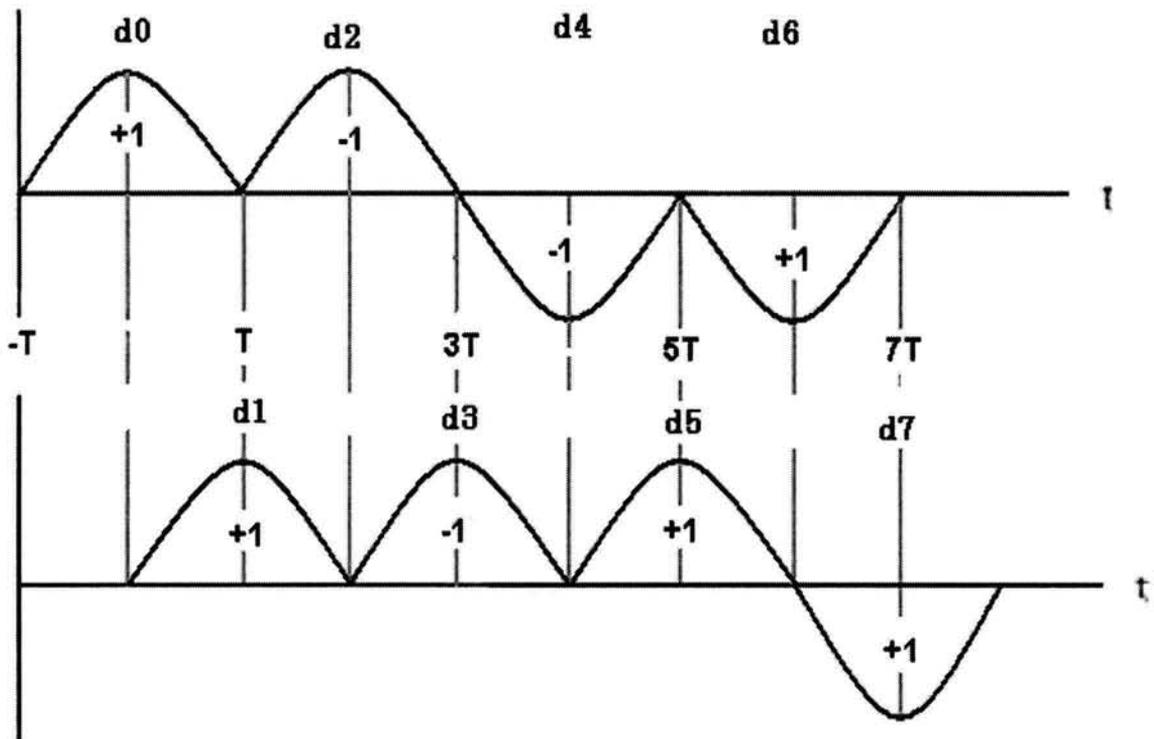


Figura 2.8. Reemplazo por un pulso sinusoidal.

La modulación MSK hace el cambio de fase lineal y limitado a $\pm\pi/2$ sobre un intervalo T . Esto hace posible que MSK provea una mejora significativa sobre QPSK. Esto es porque el cambio lineal en la fase provoca que la densidad espectral de potencia tenga lóbulos laterales pequeños que ayudan a controlar la interferencia adyacente. Sin embargo, el lóbulo principal se convierte más ancho que en QPSK.

2.3.5. Modulación por corrimiento mínimo Gaussiano

La respuesta al impulso de un filtro Gaussiano genera una señal con lóbulos laterales más pequeños y un lóbulo principal más angosto que con un pulso rectangular. Si la señal MSK la pasamos a través de un filtro Gaussiano el método de modulación resultante es GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying, Corrimiento mínimo Gaussiano).

En la siguiente figura podemos observar la constelación correspondiente a este método de modulación. Para cada cambio de bit corresponde un desplazamiento en frecuencia de acuerdo a la siguiente relación.

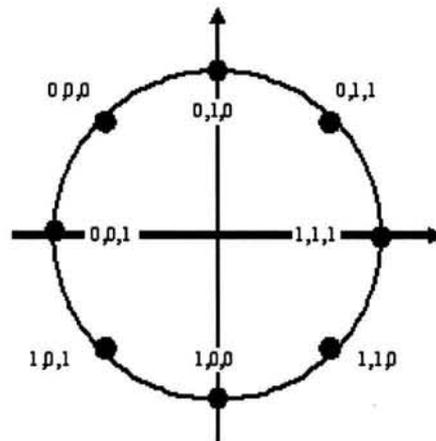


Figura 2.9. Un bit diferente por cambio de fase.

2.4. COMPONENTES DE UNA RED GSM

Una red GSM está dividida en dos sistemas y dos centros de operación, además de una unidad móvil. Estos dos sistemas constan de un número de unidades funcionales, las cuales son componentes individuales de la red móvil. Estos dos sistemas son:

- SS (Switching System, Sistema de conmutación).
- BSS (Base Station System, Sistema de estación base).

Los Centros de operación son el OMC (Operation and Maintenance Center, Centro de operación y mantenimiento) y el NMC (Network Management Center, Centro de administración de la red) que se encargan del monitoreo y control de la red. Por último tenemos al MS (Mobile Station, Estación móvil) que es sin duda el elemento más importante, ya que es el contacto directo con el usuario. La figura 2.10 muestra la interconexión de los diferentes sistemas mencionados.

2.4.1. Sistema de conmutación

El SS es el responsable del desarrollo de las llamadas y de las funciones relacionadas con los usuarios. Este sistema contiene las siguientes unidades funcionales:

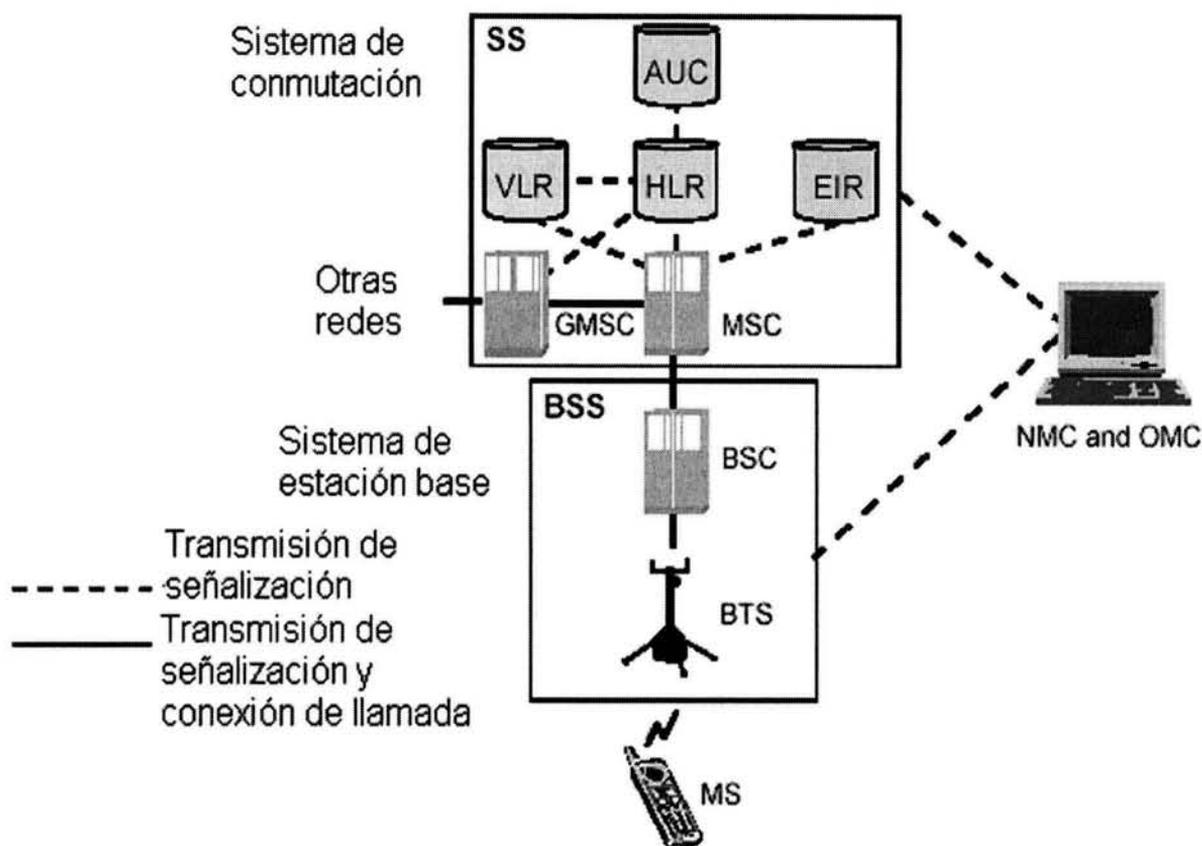


Figura 2.10. Sistema GSM.

- MSC (Mobile Services Switching Center, Centro de servicios de conmutación móviles).
- GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center, Puerta de enlace de centro de servicios de conmutación móviles)
- HLR (Home Location Register, Registro local de abonados).
- VLR (Visitor Location Register, Registro de abonados visitantes).
- AUC (AUthentication Center, Centro de autenticación).
- EIR (Equipment Identity Register, Registro de identidad de equipo).

- **Centro de servicios de conmutación móviles**

El MSC realiza funciones de conmutación de telefonía para una red móvil. Este controla las llamadas desde y hacia a otros sistemas telefónicos y de datos, como las Redes Públicas Telefónicas Conmutadas, Redes Digitales de Servicios Integrados, Redes de Datos Públicas, Redes Privadas y hacia otras redes móviles.

- **Puerta de enlace del centro de servicios de conmutación móviles**

La Puerta de enlace habilita una MSC para interrogar al HLR de una red, con el objeto de dar ruta a una llamada de una estación móvil, de manera que ésta MSC es llamada GMSC (Gateway Mobile Services Switching Center, Puerta de enlace de Centro de Servicios de conmutación móviles); por ejemplo, si una persona conectada a la red

pública desea hacer una llamada a un usuario GSM, entonces la red pública de intercambio obtiene un acceso a la red GSM conectándose a una GMSC, sucede lo mismo desde un móvil a otro.

Cualquier MSC en la red móvil puede funcionar como puerta de enlace mediante la integración del software asociado.

- **Registro local de usuarios**

El HLR es una base de datos de la red centralizada que almacena y administra todas las características de los usuarios móviles para un operador específico. Actúa como un almacén permanente para la información de suscripción de una persona hasta que ésta es cancelada. La información almacenada incluye:

- Identidad del usuario.
- Servicios suplementarios del usuario.
- Información de ubicación del usuario.
- Información de autenticación del usuario.

El HLR puede ser implementado en el mismo nodo de red que la MSC o como una base de datos separada. Si la capacidad de un HLR es excedida por el número de usuarios, HLR adicionales pueden ser agregados.

- **Registro de usuarios visitantes**

La base de datos del VLR contiene información acerca de todos los usuarios móviles actualmente localizados en un área de servicio de MSC. De ésta manera hay una VLR por cada MSC en una red. El VLR almacena temporalmente información de usuarios para que la MSC pueda dar servicio a todos los usuarios visitantes que estén actualmente en el área de servicio. El VLR puede ser considerado como un HLR distribuido que mantiene una copia de la información almacenada del usuario.

Cuando un usuario viajero entra a una nueva área de servicio de MSC, el VLR conectado a esa MSC solicita información acerca del usuario desde su HLR. El HLR envía una copia de la información al VLR y actualiza su información de localización. Cuando el usuario hace una llamada, el VLR deberá tener ya la información requerida para hacer una llamada.

- **Centro de autenticación**

La principal función del AUC es la autenticación de los usuarios que intentan usar la red. De esta manera, esto es usado para proteger a los operadores de una red de algún fraude. El AUC es una base de datos conectada al HLR, la cual proporciona parámetros de autenticación y llaves de cifrado usadas para la seguridad de la red.

- **Registro de identidad de equipo**

Es una base de datos que contiene información de identidad del equipo móvil, la cual ayuda a bloquear llamadas desde un equipo robado, no autorizado o defectuoso.

2.4.2. Sistema de estación base

El BSS realiza todas las funciones relacionadas con la radio. El BSS comprende las siguientes unidades funcionales:

- BSC (Base Station Controller, Controladora de estación base)
- BTS (Base Transceiver Station, Estación base trans-receptora)

- **Controladora de estación base**

El BSC dirige todas las funciones relacionadas con la radio de una red GSM. Ésta tiene una alta capacidad de conmutación proporcionando funciones de *handover*, asignación de un canal de radio y la recolección de datos de celda. Varias BSC pueden ser controladas por una MSC.

- **Estación base trans-receptora**

La BTS controla la interfaz de radio hacia el móvil. La BTS consta de equipo de radio como trans-receptores y antenas los cuales son usados en cada celda en la red. Un grupo de BTS es controlado por una BSC.

2.4.3. Centro de operación y mantenimiento

El OMC desarrolla toda la operación y mantenimiento en la red, así como el monitoreo de tráfico y alarmas en la red.

Un OMC es un centro de monitoreo computarizado el cual es conectado a otra red con componentes como MSCs y BSCs. En la OMC, el personal a cargo obtiene datos acerca del estado de la red y puede monitorear y controlar una variedad de parámetros en el sistema. Existen uno o varios OMCs dentro de una red dependiendo del tamaño de ésta.

2.4.4. Centro de administración de la red

El control centralizado de una red es hecho en el NMC. Un solo NMC es requerido para una red y éste controla OMCs subordinadas. La ventaja de ésta organización jerárquica es que el personal a cargo de la NMC puede concentrarse en temas más amplios relativos a la red, mientras que el personal a cargo de un OMC puede hacerlo a temas más regionales.

La funcionalidad de un OMC y un NMC puede ser combinados en el mismo nodo o implementada en localizaciones diferentes.

2.4.5. Estación móvil

Un MS es usado por un usuario para la comunicación con la red. Todos los tipos de MS existentes permiten al usuario hacer y recibir llamadas. La fabricación del MS ofrece una variedad de diseños y características que coinciden con las necesidades de diferentes mercados.

El rango de cobertura del área del MS depende de la salida de potencia del MS. Diferentes tipos de MSs tienen diferentes salidas de potencia y consecuentemente diferentes rangos.

Los MS de GSM consisten de:

- Una terminal móvil.
- Una SIM (Subscriber Identity Module, Módulo de identidad de usuario).

La información de cada usuario está almacenada en una tarjeta inteligente denominada SIM- Card.

La SIM puede ser insertada en cualquier teléfono GSM. Esto conduce a avances de seguridad y portabilidad para el usuario.

2.5. MÉTODO DE ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO

Entre los diversos métodos de acceso al medio de comunicación aplicados actualmente existen tres tipos fundamentales que son:

- FDMA.
- CDMA.
- TDMA.

De los métodos de acceso mencionados, el primero se utilizó en la primera generación celular, y los dos últimos son utilizados por los sistemas de 2G y 2.5G actualmente en operación.

Con TDMA, las transmisiones para usuarios múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo. Las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo.

El método de acceso TDMA tiene varios objetivos claves, el principal es proveer el incremento de la capacidad para poder atender a un mayor número de usuarios. El método TDMA en el sistema D-AMPS provee un incremento en la capacidad del sistema permitiendo atender a tres usuarios en un mismo canal, a diferencia del método FDMA en el sistema AMPS en el que solamente una llamada es atendida en un canal.

Muchos de los sistemas celulares digitales utilizan la tecnología TDMA para transmitir y recibir señales de voz. Con TDMA una portadora es utilizada para manejar un número múltiple de llamadas, donde cada llamada utiliza esa portadora en periodos asignados de tiempo. A estos periodos de tiempo se les denomina TS (Time Slot, Ranuras de

tiempo). A cada móvil en una llamada se le asigna un TS en la frecuencia de *uplink* (enlace móvil a BTS) y uno en la frecuencia de *downlink* (enlace de BTS a móvil), y la información enviada durante un TS es llamada *burst* (ráfaga). En un sistema D-AMPS la trama TDMA tiene 3 TS.

En GSM el método de acceso utilizado es TDMA y a diferencia del sistema D-AMPS ésta trama tiene 8 TS, esto quiere decir que un radio GSM puede manejar 8 llamadas. En la figura 2.11 se muestra el método de acceso utilizado por GSM y sólo se indica el enlace de BTS a móvil.

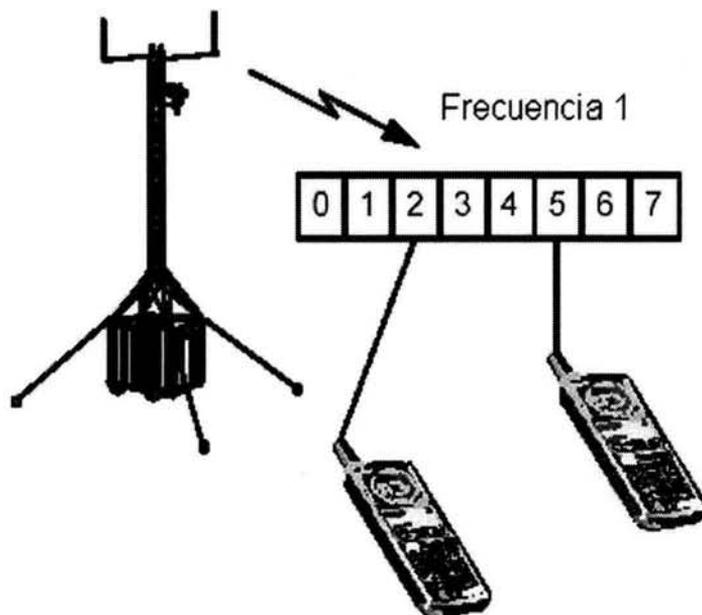


Figura 2.11. Método de acceso TDMA.

Las principales ventajas de TDMA son:

- TDMA puede ser fácilmente adaptado para la transmisión de datos así como para la comunicación de voz.
- TDMA separa a los usuarios en tiempo, asegura que no haya interferencia de otra transmisión simultánea.
- TDMA permite una mayor duración de la batería debido a que sólo transmite en una porción del tiempo efectivo de conversación.

Las desventajas principales de TDMA en comparación con FDMA es que en TDMA se requiere de una sincronización precisa. La comunicación de cada transmisión terrena debe ocurrir durante una ranura de tiempo exacta. Además, la sincronización de los bits y tramas deben alcanzarse y mantenerse con TDMA.

2.6. CANALES FÍSICOS

Cada TS en una trama TDMA es llamado canal físico, de manera que hay 8 canales físicos por cada frecuencia portadora en GSM. Los canales físicos pueden ser utilizados para transmitir voz, datos o información de señalización.

Un factor importante en la determinación de la capacidad de los sistemas móviles es el número de canales. El canal es la frecuencia o conjunto de frecuencias que pueden ser asignadas para la transmisión y posible recepción de información. Los canales de comunicación pueden ser de los tipos mostrados en la tabla 2.2.

Tipo	Descripción	Ejemplos
Simple	Un sólo sentido	Radio FM, televisión
Medio Dúplex	Dos sentidos, sólo uno a la vez	Radio de Policía
Dúplex	Dos sentidos, los dos al mismo tiempo	Sistemas móviles

Tabla 2.2. Tipos de canales de comunicación.

Una trama TDMA con 8 canales físicos se muestra en la figura 2.12.

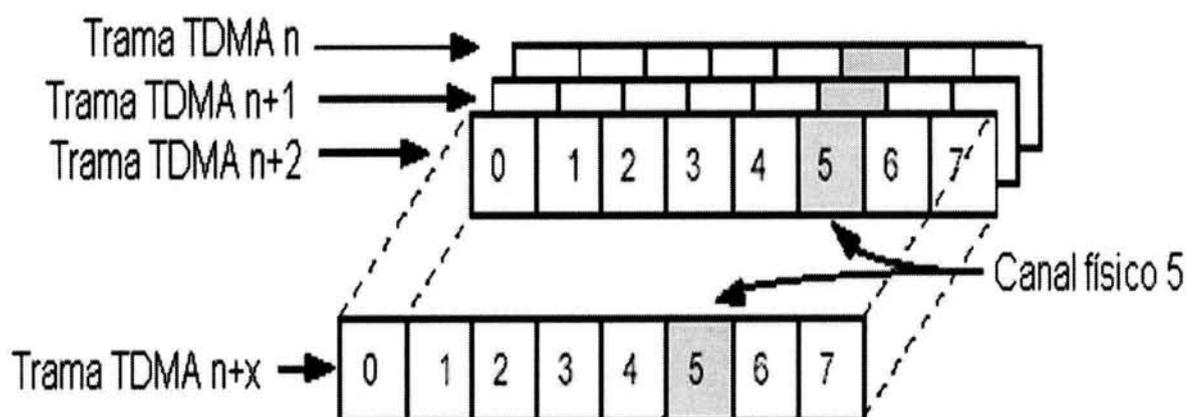


Figura 2.12. Trama TDMA.

2.6.1. Distancia dúplex

La banda de 1900 MHz está dividida en 6 sub-bandas. La figura 2.13 muestra las 6 sub-bandas donde cada una está dividida en dos partes, la primera es para los enlaces de *uplink* y la segunda para los enlaces de *downlink*. De esta forma es posible una comunicación *full duplex* entre el móvil y la BTS, donde las frecuencias de transmisión entre uno y otro dispositivo están separadas por 45 MHz, evitando así problemas de interferencia. La distancia entre las frecuencias de los canales de *uplink* y *downlink* es conocida como distancia Dúplex.

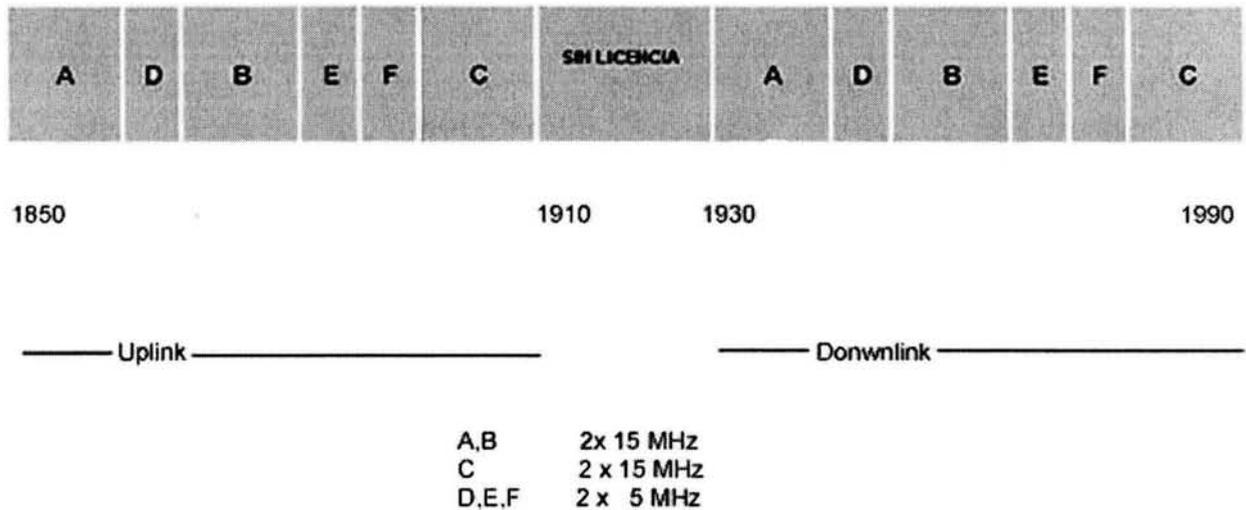


Figura 2.13. Banda de 1900 MHz.

La distancia dúplex es diferente para cada una de las bandas de frecuencia como se muestra en la tabla 2.3.

Estándar	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Distancia Dúplex	45 MHz	95MHz	80MHz

Tabla 2.3. Distancias dúplex.

2.6.2. Separación de canal

La distancia entre frecuencias de canales adyacentes en el *uplink* o en el *downlink* es llamada separación de canales. El ancho de banda para un canal GSM es de 200 kHz, por lo tanto la separación mínima entre canales adyacentes es de 200 kHz, sin importar el estándar elegido de los mencionados anteriormente. Esta distancia es necesaria para reducir la interferencia de una portadora a otra de una frecuencia vecina.

2.7. CANALES LÓGICOS

A través de un canal lógico se puede transmitir diferentes tipos de información, como voz, datos o señalización. A través de los canales lógicos se envía señalización hacia los móviles dentro de la red celular, ocupando solamente una fracción de un *time slot*.

Existen varios tipos de canales lógicos, cada uno diseñado para enviar o recibir información entre el móvil y la BTS. Los canales lógicos están divididos principalmente en canales de tráfico y en canales de control, como muestra la figura 2.14.

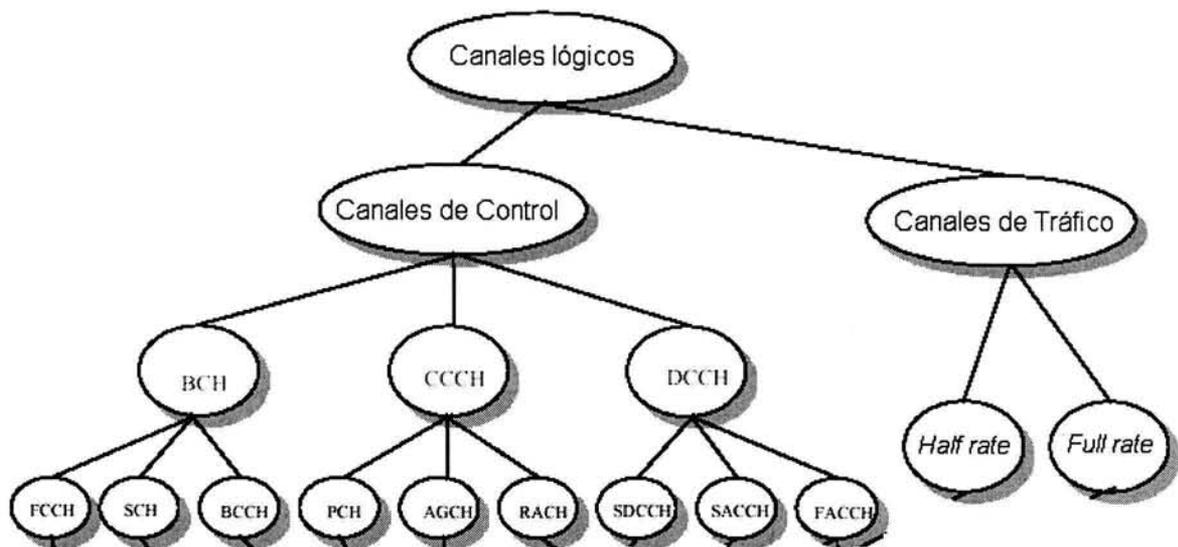


Figura 2.14. Canales lógicos.

2.7.1. Canales de control

Los canales de control se encargan principalmente de enviar la información de la red celular en la que se encuentran los móviles, ya sea para identificar la celda en la que se encuentran o bien para iniciar o responder una llamada. Los canales de control están divididos en BCH (Broadcast Channels, Canales de Difusión), CCCH (Common Control Channels, Canales comunes de control) y DCCHs (Dedicated Control Channels, Canales de control dedicado).

Los BCH envían información importante de la red hacia los móviles y la dirección de ésta es en el *downlink*, es decir solamente es escuchada por los móviles y estos no tienen que enviar ningún tipo de respuesta de regreso a la BTS. Los canales lógicos de difusión a su vez se subdividen en:

- FCCH (Frequency Correction Channel, Canal de corrección de frecuencia)
- SCH (Synchronization Channel, Canal de sincronización)
- BCCH (Broadcast Control Channel, Canal de control de difusión)

Los CCCH son utilizados cuando el usuario recibe o hace una llamada, la dirección de la información puede fluir de o hacia la BTS, siendo ésta de *uplink* o *downlink*, según sea el caso. Estos canales comunes se subdividen en:

- PCH (Paging Channel, Canal de voceo)
- AGCH (Access Grant Channel, Canal de acceso confirmado)
- RACH (Random Access Channel, Canal de acceso aleatorio)

Los canales que utiliza el sistema para iniciar los procedimientos de llamada son los DCCH, de igual manera la dirección de la información en estos canales puede ser en el *uplink* o en el *downlink*. Estos canales se subdividen en:

- SDCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel, Canal de control dedicado)
- SACCH (Slow Associated Control Channel, Canal de control lento adjunto)
- FACCH (Fast Associated Control Channel, Canal de control rápido adjunto)

2.7.2. Canales de tráfico

El canal lógico en el cual se transmite la voz es el TCH (Traffic Channel, Canal de tráfico) y puede ser de dos tipos: canal de tráfico a tasa completa (full rate), que transmite voz a 13 kbits/s; o canal de tráfico a media tasa (half rate) que transmite voz a 6.5 kbits/s. En el primer caso, la transmisión de voz se hace usando todo el *time slot* completo y en el segundo caso, se hace una subdivisión del *time slot* en dos ranuras, de tal manera que para una trama GSM con 8 *time slots*, ésta duplica su capacidad al tener ahora 16 *time slots* con esta partición. Si bien es cierto que al activar esta característica obtenemos mayor capacidad, el costo que tenemos que pagar es que la calidad de la voz se degrada, ya que ahora el tiempo efectivo de transmisión para una llamada se reduce a la mitad.

Para el establecimiento de una llamada, el procedimiento involucra a varios canales lógicos como sigue:

1. El Centro de conmutación sabe el área donde el móvil está localizado, y envía un mensaje de voceo (paging) hacia la BSC que controla el área de localización donde se ubica el móvil.
2. La BSC envía el mensaje de voceo a la BTS en el área de localización deseada y entonces esta última emite el mensaje sobre la interfaz aérea a través del Canal de voceo.
3. Cuando el móvil detecta el mensaje hacia él, éste manda una respuesta a través del Canal de acceso.
4. La BSC informa al móvil a través del Canal de acceso de qué canal de señalización va a usar.
5. Los Canales de control adjunto y dedicado son usados para el establecimiento de la llamada, y un Canal de tráfico es asignado al mismo tiempo que se libera el Canal de señalización dedicado.
6. Tanto el móvil como la BTS se sintonizan a la frecuencia del Canal de tráfico y *time slot* asignados. Si el usuario contesta, entonces se establece la conexión. Durante la llamada, la señalización se lleva a cabo a través del Canal de control asociado.

Existen muchos tipos de canales lógicos, cada uno de ellos ha sido diseñado para transportar diferentes mensajes desde y hacia el móvil. La asignación básica de los canales para una trama GSM se muestra en la figura 2.15, con 6 Canales para tráfico, un Canal de control de difusión y ocho Sub-canales de control dedicados que se encuentran todos alojados en el *time slot* 2.

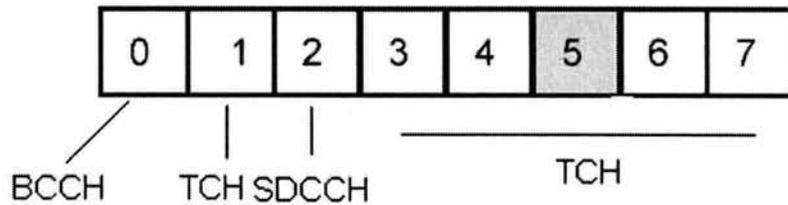


Figura 2.15. Canales para una trama TDMA.

2.8. FACTORES QUE AFECTAN LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL

Muchos problemas pueden ocurrir durante la transmisión de una señal de radio. Algunos de los problemas más comunes se describen a continuación.

2.8.1. Pérdida por trayectoria

Las pérdidas por trayectoria ocurren cuando la señal recibida se vuelve más y más débil debido al incremento de la distancia entre dos fuentes de transmisión, incluso si no hay obstáculos entre la transmisión y recepción de estas.

2.8.2. Sombras

Las sombras se presentan cuando hay obstáculos físicos como edificios o elevaciones del terreno entre dos fuentes de transmisión. Los obstáculos crean un efecto de sombras, lo que puede disminuir la intensidad de la señal recibida. Cuando un teléfono móvil está en movimiento, los niveles de intensidad de señal varían dependiendo de los obstáculos en su camino de transmisión. Una señal afectada por atenuaciones provoca variaciones en su intensidad, dando lugar a caídas en el nivel de señal, lo cual es llamado caídas por atenuación.

La figura 2.16 muestra los obstáculos o sombras que pueden presentarse en la transmisión de un móvil.

2.8.3. Atenuación por multitrayectoria

La atenuación por multitrayectoria ocurre cuando existe más de un camino de transmisión desde o hacia el móvil, y por lo tanto existe más de una señal que está llegando al receptor. Esto puede ser debido a edificios o elevaciones del terreno, incluso a pesar de que las dos fuentes estén cerca una de la otra.

La atenuación Rayleigh y la dispersión en el tiempo son formas de atenuación por multitrayectoria.

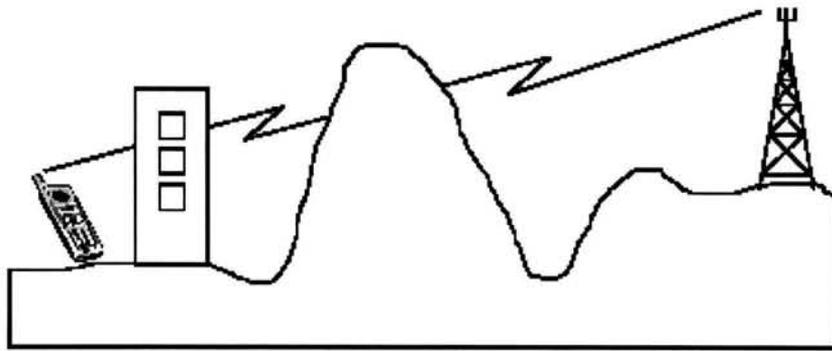


Figura 2.16. Sombras.

- **Atenuación Rayleigh**

Esto ocurre cuando una señal toma más de un camino entre las antenas de las fuentes de transmisión. En este caso, la señal no es recibida directamente de la antenna de transmisión, sino que se recibe de diferentes direcciones. La atenuación Rayleigh ocurre cuando los obstáculos están cercanos a la antenna receptora. Esto se muestra en la figura 2.17.

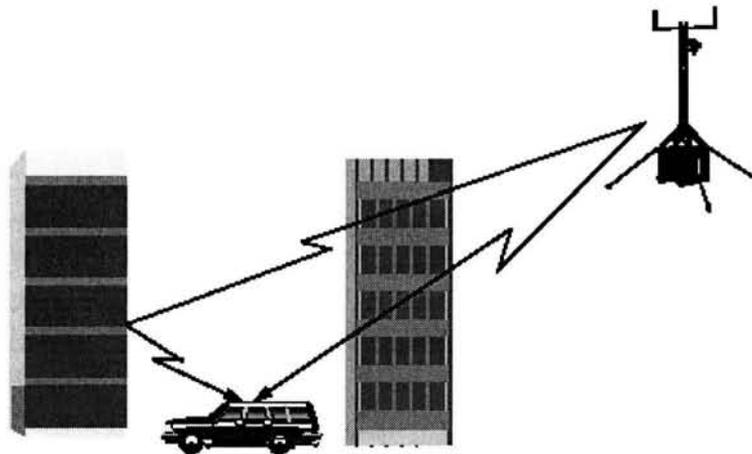


Figura 2.17. Atenuación Rayleigh.

La señal recibida es la suma de muchas señales idénticas que difieren solamente en su fase y muy ligeramente en su amplitud. Las caídas por atenuación y el tiempo que existe entre dos caídas por atenuación dependen de la velocidad del móvil y de la frecuencia a la que está transmitiendo. Como una aproximación, la distancia entre dos caídas de nivel de intensidad causadas por atenuación Rayleigh es cerca de media longitud de onda. Así, para un sistema GSM 1900 la distancia entre dos caídas de nivel de señal es aproximadamente 8 cm.

- **Dispersión en el tiempo**

La dispersión en el tiempo es otro problema relacionado a múltiples trayectorias de la señal hacia la antenna receptora. Sin embargo, en este caso las señales reflejadas

proviene de un objeto que está muy lejos de la antena receptora a diferencia del caso anterior.

La dispersión en el tiempo causa interferencia inter-simbólica, donde los símbolos consecutivos (bits) interfieren uno con el otro haciéndole difícil al receptor determinar qué símbolo es el correcto. La figura 2.18 muestra en ejemplo donde la secuencia 1,0 es mandada hacia el móvil.

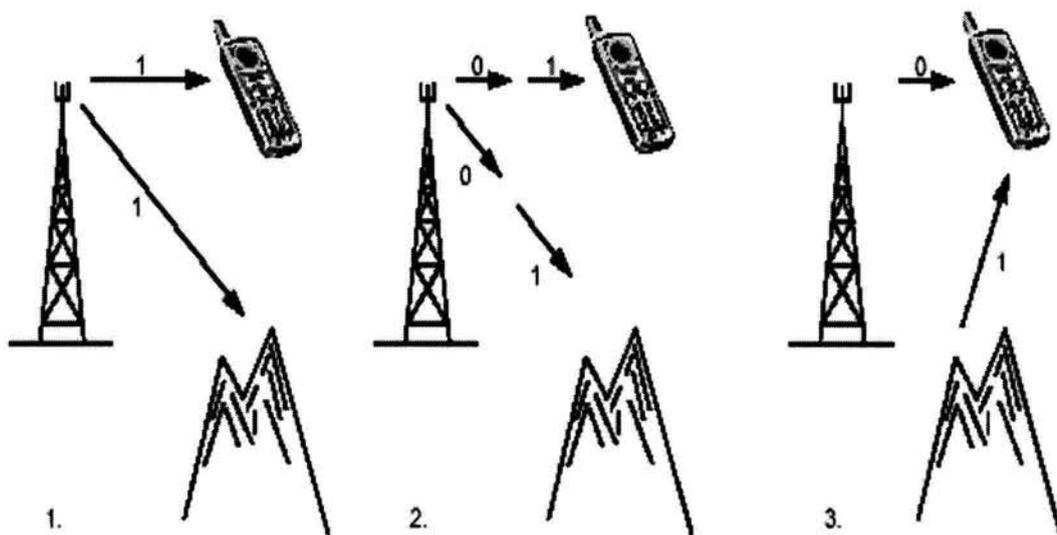


Figura 2.18. Dispersión en el tiempo.

Si la onda reflejada llega un tiempo de un bit después que la señal directa, el receptor detecta un 1 de la señal reflejada y al mismo tiempo detecta un cero de la señal directa. El símbolo 1 interfiere con el símbolo 0 y el móvil no sabe cuál es el correcto.

2.8.4. Alineación en el tiempo

A cada móvil en una llamada se le asigna un *time slot* de la trama TDMA. Esto es una cantidad de tiempo durante la cual el móvil transmite información hacia la BTS. La información también debe llegar a la BTS dentro del mismo *time slot*. El problema de *time alignment* (alineación en el tiempo) ocurre cuando parte de la información transmitida por un móvil no llega dentro del *time slot* asignado; por el contrario, esta información puede llegar durante el siguiente *time slot* y puede interferir con la información de otro móvil que esté usando ese segundo *time slot*. Si hay una distancia muy larga entre el móvil y la BTS esto causa des-alineación en el tiempo.

Por ejemplo, a un móvil en la posición A que está cerca de la BTS se le ha asignado el *time slot* 2. Durante la llamada, el móvil se aleja de la BTS causando que la información que se envía desde la BTS hacia el móvil llegue retrasada. Si no se aplica una solución, cuando el móvil se encuentra en la posición B el retraso es tan largo que la transmisión desde el móvil en el *time slot* 2 se traslapa con la información que la BTS recibe en el *time slot* 1. Esto se puede apreciar mejor apoyándose en la figura 2.19.

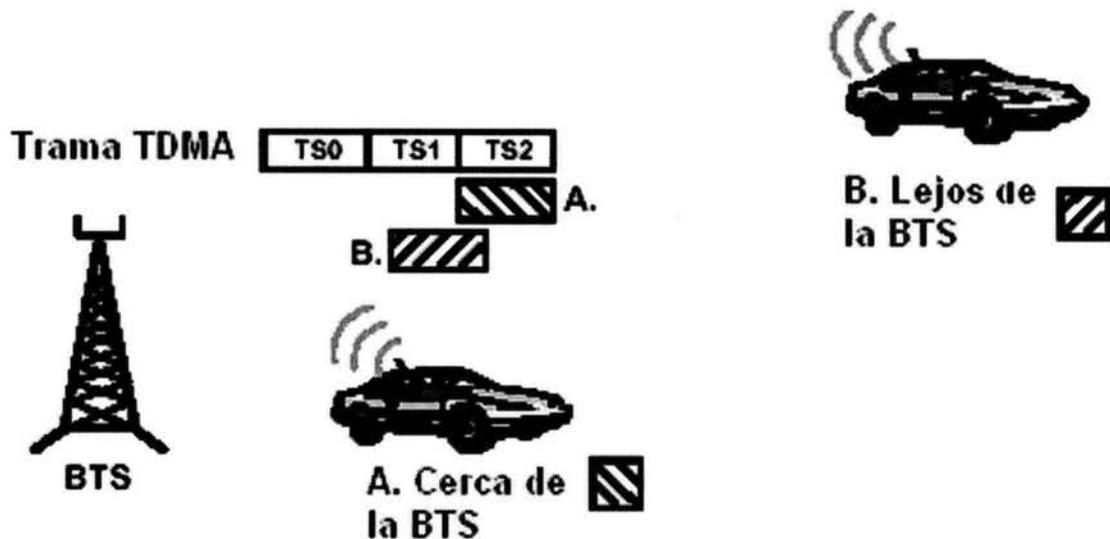


Figura 2.19. Desalineación en el tiempo.

2.9. SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE PROPAGACIÓN

Existen diferentes arreglos físicos que se pueden hacer con las antenas o bien mediante la aplicación de algún método para contrarrestar los problemas que se presentan cuando una señal se propaga en un medio.

2.9.1. Diversidad en antenas

La diversidad en antenas incrementa el nivel de señal recibido, tomando como ventaja las propiedades naturales de las ondas de radio. Existen dos métodos de diversidad: diversidad por espacio y diversidad por polarización.

- **Diversidad por espacio**

Un nivel de señal recibido se puede incrementar en la BTS montando dos antenas receptoras en vez de una sola. Si dos antenas receptoras están físicamente separadas, la probabilidad de que ambas sean afectadas por la misma atenuación al mismo tiempo es muy baja. La distancia de separación de las antenas está relacionada con la longitud de onda de la señal portadora. Tomando un promedio de las dos señales recibidas se puede reducir considerablemente el impacto de las atenuaciones.

- **Diversidad por polarización**

Con la diversidad por polarización el espacio que ocupaban dos antenas en la diversidad por distancia es reducido a la de una sola antena que posee una polarización dual. Esta antena tiene un tamaño normal pero contiene dos diferentes arreglos de polarización. Los tipos más comunes son arreglos verticales-horizontales y arreglos de $\pm 45^\circ$. Los dos arreglos son conectados a las terminales respectivas de recepción en la BTS. Los dos arreglos también pueden usar antenas de transmisión y recepción combinadas. El arreglo de $\pm 45^\circ$ es el más usado actualmente, ya que se reduce espacio

y además las ondas electromagnéticas emitidas por los móviles viajan muy aproximadamente con esos ángulos por la posición en la que son utilizados.

La diversidad por espacio ofrece ligeramente una mayor ganancia que la diversidad por polarización, pero ocupa mucho más espacio.

2.9.2. Salto en frecuencia

Como ya se mencionó anteriormente, la atenuación Rayleigh es dependiente del tiempo. Esto significa que las caídas por atenuación ocurren en diferentes lugares a diferentes frecuencias. Para contrarrestar esto, es posible hacer que la BTS o el móvil transmitan a una frecuencia diferente en cada instante, activando la función FH (Frequency Hopping, Salto en frecuencia). El salto en frecuencia entre la BTS y el móvil está sincronizado. Veamos la figura 2.20 y la descripción del funcionamiento del salto en frecuencia.

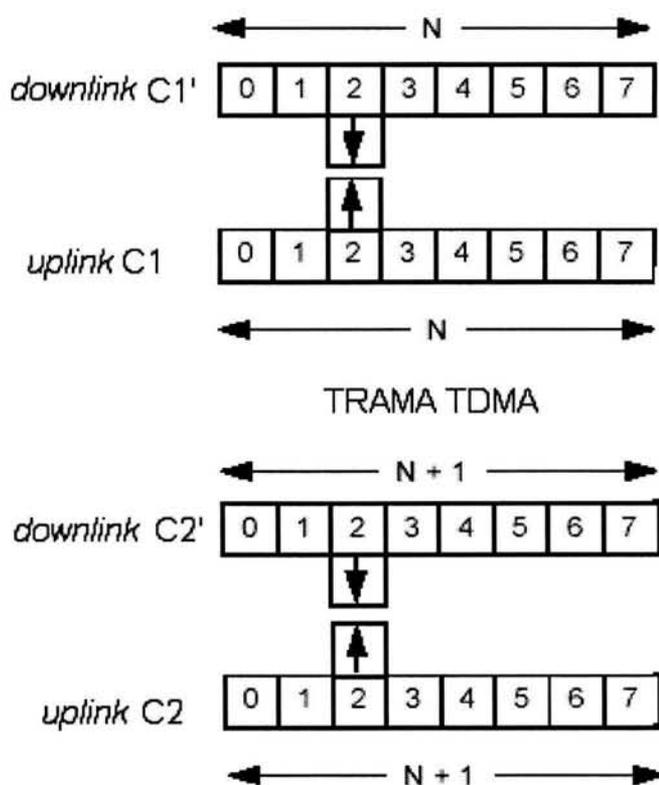


Figura 2.20. Salto en Frecuencia.

En GSM hay 64 patrones para salto en frecuencia. Entre los cuales uno de ellos es cíclico o secuencial y los 63 restantes son patrones pseudo-aleatorios. El salto en frecuencia funciona de tal forma que durante la trama N tanto el *downlink* como el *uplink* transmiten a una frecuencia de portadora C1' y C1 respectivamente (hay que recordar que la frecuencia de transmisión en el *uplink* y *downlink* son diferentes), mientras que para la siguiente trama N+1 las frecuencias para el *downlink* y *uplink* son C2' y C2 respectivamente. Esto quiere decir que para cada trama consecutiva las frecuencias

tanto de *downlink* como de *uplink* estarán cambiando de acuerdo al patrón seleccionado. Es importante resaltar que la transmisión siempre es hecha sobre el mismo *time slot*. En la figura 2.29 se muestra la transmisión hecha sobre el mismo *time slot* 2, así como el cambio en las frecuencias de la portadora para cada trama.

Durante una trama TDMA N, C1 es usado y durante una trama TDMA N+1 se usa C2; es decir, que la primer trama se transmite a una frecuencia 1 y la segunda trama se transmite a una frecuencia 2. La llamada usa el mismo TS pero la frecuencia a la que se está transmitiendo cambia de acuerdo al patrón elegido.

2.9.3. Desplazamiento en el tiempo

El TA (Timing Advance, Desplazamiento en el tiempo) es una solución específicamente diseñada para contrarrestar el problema de des-alineación en el tiempo. Esto funciona mediante instrucciones para que el móvil que se encuentra lejos de la BTS (referirse a la figura 2.28) y que está desalineado en el tiempo transmita su información más rápido o más lento de la que éste lo hace normalmente. La figura 2.21 muestra que incluso si el móvil se está alejando de la BTS, la transmisión siempre se debe de hacer en el instante adecuado para mantener la sincronía entre ambos equipos.

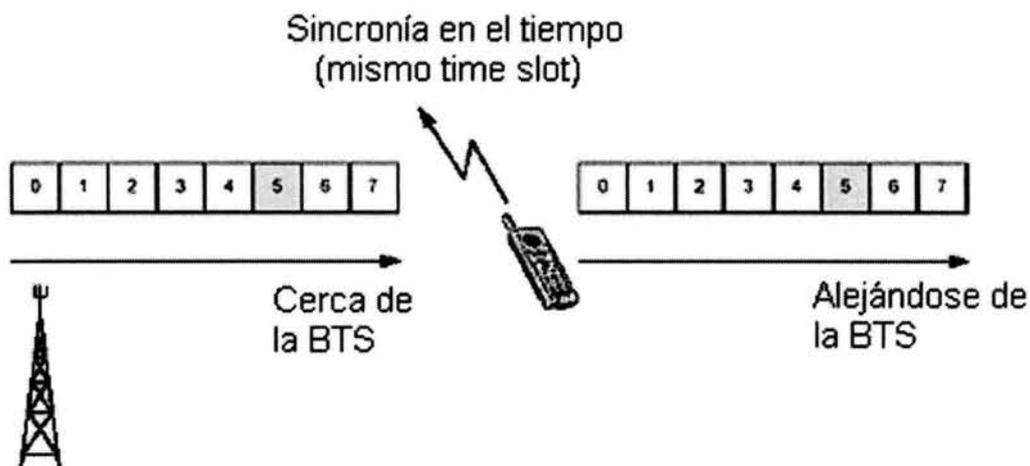


Figura 2.21. Sincronización de la BTS al móvil.

En GSM el *timing advance* se relaciona al tiempo de transmisión de los bits. Todo esto es con la intención de que el móvil se sincronice con la BTS para que tome su *time slot* correspondiente. El límite de alcance de una celda en GSM es de 35 km. Sin embargo, usando otra característica del sistema *Extended Range* (rango extendido) se pueden alcanzar distancias de entre 70 y 200 km, que consiste en usar 2 TS.

2.10. INTERFERENCIA

Existe un factor llamado interferencia que afecta el desempeño de una red celular y que está relacionada directamente con los canales de transmisión de las radio bases.

2.10.1. Interferencia co-canal

Las redes celulares son mayormente afectadas por problemas de interferencia que por problemas de bajos niveles de señal. La interferencia cocanal es causada por el uso de la misma frecuencia muy cercana a esta celda. De esta manera una interferirá a la otra dando lugar a los términos de interferencia (I) y portadora (C) de la señal.

Las especificaciones GSM recomiendan que la relación portadora/interferencia (C/I) sea mayor que 9 decibeles (dB). Sin embargo, la experiencia de las empresas que se encargan de hacer los diseños de redes celulares recomienda un valor de 12 dB, para dar un margen adecuado y así minimizar los índices de interferencia incluso en terrenos muy irregulares.

La relación de C/I está influenciada por los siguientes factores

- La localización del móvil.
- La geografía local.
- Tipo, elevación y localización de las antenas.

La figura 2.22 muestra la relación C/I en la que cuando el móvil se encuentra cerca de la BTS el nivel de la portadora es mayor que la interferencia.

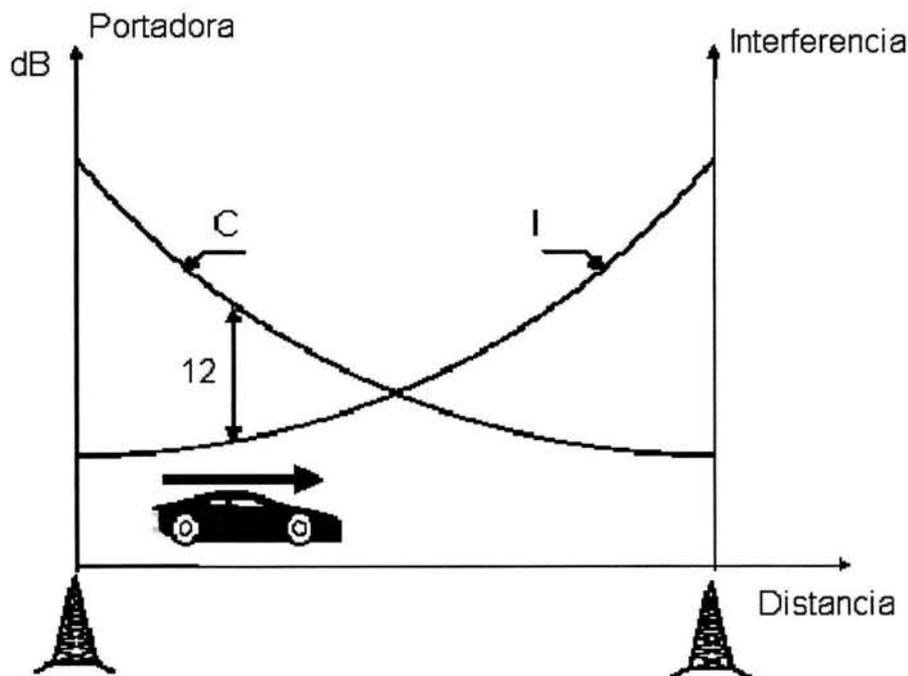


Figura 2.22. Interferencia cocanal.

2.10.2. Interferencia adyacente

Las frecuencias adyacentes (A) son las frecuencias que se encuentran desplazadas 200 kHz de la frecuencia portadora (C), y deben de ser evitadas dentro de la misma

celda o bien con celdas vecinas. A pesar de que una frecuencia adyacente transmite en un canal diferente a la frecuencia de la portadora, se pueden presentar problemas de interferencia y de calidad.

Las especificaciones de GSM establece que la relación portadora/adyacente (C/A) debe ser mayor que -9 dB, pero el valor considerado en el diseño de una red celular puede ser de 3 dB. La figura 2.23 muestra la relación C/A.

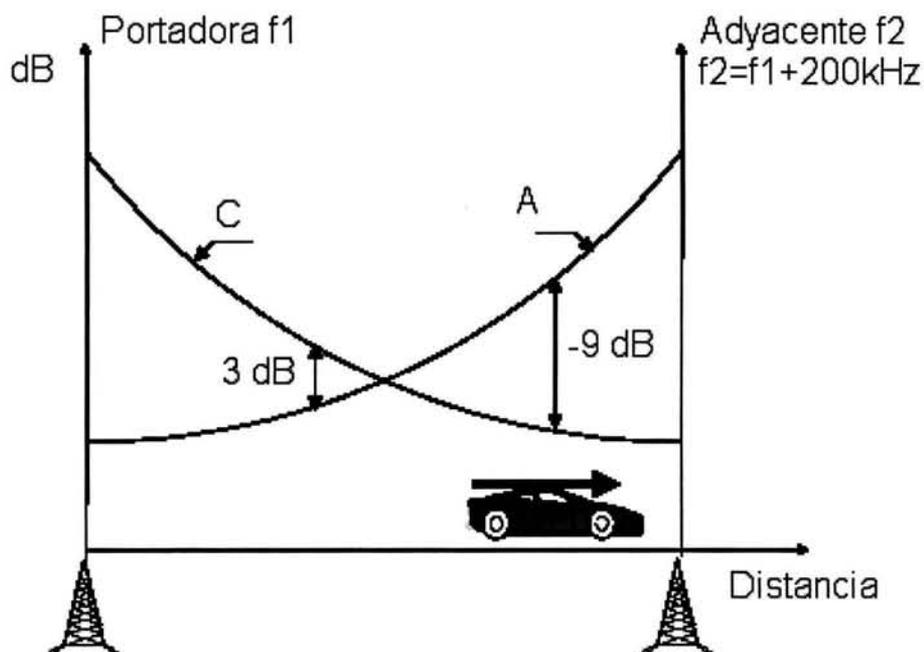


Figura 2.23. Interferencia adyacente.

Planeando un adecuado reuso de frecuencia mediante un patrón específico, no se presentará interferencia cocanal ni adyacente en las celdas que sean homogéneas.

Sin embargo, el tamaño real de una celda varía dependiendo de las zonas por cubrir o bien de la cantidad de tráfico que se estima tener. Por lo tanto, se deben de hacer predicciones del diseño propuesto para verificar que no se presenten problemas de interferencia.

2.11. CONCEPTO DE ERLANG

Los sistemas celulares de radio tienen como objetivo acomodar un gran número de usuarios en un espectro de radio reducido. Como el número de canales de tráfico de un sitio es pequeño, la posibilidad de que todos los canales estén ocupados para dar servicio a más usuarios se incrementa.

La unidad de medición estándar de tráfico para telefonía es el Erlang. Un Erlang de tráfico indica que un dispositivo está en uso por una hora. Para nuestro caso, el Erlang es la unidad para medir la utilización del canal. El tráfico en Erlangs se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$A = n \frac{T}{3600} N \quad (2.12)$$

donde

- A: es el tráfico en Erlangs solicitado por uno o más usuarios dentro de la red.
- n: es el número de llamadas en una hora.
- T: es el tiempo promedio de duración de la llamada en segundos.
- N: es el número de usuarios.

Por ejemplo, considerando como especificaciones típicas para un usuario las siguientes:

- Número de llamadas en una hora: 1.
- Tiempo promedio de duración de la llamada: 120 segundos.
- Número de usuarios: 1000.

y sustituyendo en la ecuación 2.5, tenemos

$$A = 1 \cdot \frac{120}{3600} \cdot 1000 = 33$$

Esto quiere decir que el tráfico total que va a generar este número de usuarios es de 33 Erlangs.

2.11.1. Grado de servicio

El GoS (Grade of Service, Grado de servicio) de manera indirecta es la medida de la posibilidad de que un usuario tenga acceso a un sistema. Dado un número específico de canales disponibles en un sistema, el GoS es usado para definir el desempeño deseado de un sistema celular, especificando la probabilidad deseada para que a un usuario se le asigne un canal de tráfico. Un valor comúnmente usado es $\text{GoS} = 2\%$; esto significa que de cada 100 llamadas que se intenten, solamente 2 de ellas no van a poder ser enlazadas. Debido a que el GoS indica el desempeño de una red celular, éste debe ser lo más cercano a cero para ofrecer el servicio a todos los usuarios que intenten hacer una llamada.

2.11.2. Demanda de tráfico

Algunas consideraciones basadas en estadísticas de una red que esté operando son hechas acerca de un usuario para calcular la demanda de tráfico estimada. Basado en estas consideraciones, se usa la función probabilística adecuada que involucre tales consideraciones. Estas funciones probabilísticas ayudan a calcular el número necesario de dispositivos para atender la cantidad de tráfico dada por el GoS.

Existen tres funciones probabilísticas que son mayormente usadas, las cuales son Poisson, Erlang B y Erlang C. La descripción para cada una de ellas es la siguiente:

- Poisson. Las llamadas bloqueadas esperan un tiempo no mayor que su tiempo promedio de duración. Si un canal se libera antes de que el tiempo promedio de duración se termine, la llamada usará este canal por el tiempo restante.
- Erlang B. Las llamadas bloqueadas no esperan o abandonan el intento de llamada inmediatamente.
- Erlang C. Las llamadas bloqueadas están en espera de un canal libre.

La función probabilística Erlang B es la más usada por los operadores de telefonía celular como un estándar.

2.11.3. Tabla B de Erlang

La función probabilística Erlang B determina la probabilidad de que una llamada sea bloqueada y es la medida del GoS para un sistema que provee un tiempo no muy grande de espera para llamadas bloqueadas. Para un análisis práctico de tráfico se utiliza la tabla B de Erlang, que proviene de la función probabilística del mismo nombre, en la que se encuentran ya tabulados los valores que relacionan el GoS, el tráfico que se espera tener y el número de canales necesarios para satisfacer esta demanda de capacidad. La tabla 2.4 muestra parte de estos valores, la tabla completa se encuentra en el apéndice B.

Por ejemplo, de la tabla 2.4, 10 canales con un GoS de 0.01 soporta 4.46 Erlangs de tráfico, o 2 grupos de 5 canales pueden manejar $2 \times 1.36 = 2.72$ Erlangs de tráfico.

GoS											
n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4	n
1	.00705	.00806	.00908	.1010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15279	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.3395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13

Tabla 2.4. Tabla B de Erlang.

2.12. PLAN DE FRECUENCIA

Un plan de frecuencia apropiado es esencial en el desarrollo de un sistema celular de calidad. Debido a lo limitado del espectro de radio frecuencia, el número de canales disponibles para cada operador es muy pequeño y se deben de reusar para incrementar la capacidad del sistema. Las frecuencias son asignadas a cada celda de tal manera que los niveles de interferencia cocanal y adyacente sean lo menor posible y así lograr mejor calidad en las llamadas. Normalmente un sitio está formado por tres celdas (o 3 sectores), aunque en algunos casos puede tener dos o solamente una celda, como por ejemplo en tramos carreteros. Dentro de la red celular cada celda está identificada con un número único llamado CGI (Cell Global Identity, Identificación global de celda) que distingue a una celda de otra. Dentro de un *cluster*, que está formado por un grupo de celdas de acuerdo al patrón de reuso, se utilizan todas las frecuencias disponibles sin que una sola se repita dentro del *cluster*. Un patrón de reuso de frecuencias es designado como N/F, donde N es el número de sitios y F es el número de frecuencias usadas dentro del *cluster*. Los patrones de reuso recomendados para GSM son 4/12 y 3/9. El 4/12 significa que hay cuatro sitios con 12 frecuencias distintas. La figura 2.24 muestra el patrón 4/12, con cuatro sitios (cada uno de ellos con tres sectores) y 12 frecuencias distintas dentro del *cluster*, es decir una frecuencia distinta para cada celda.

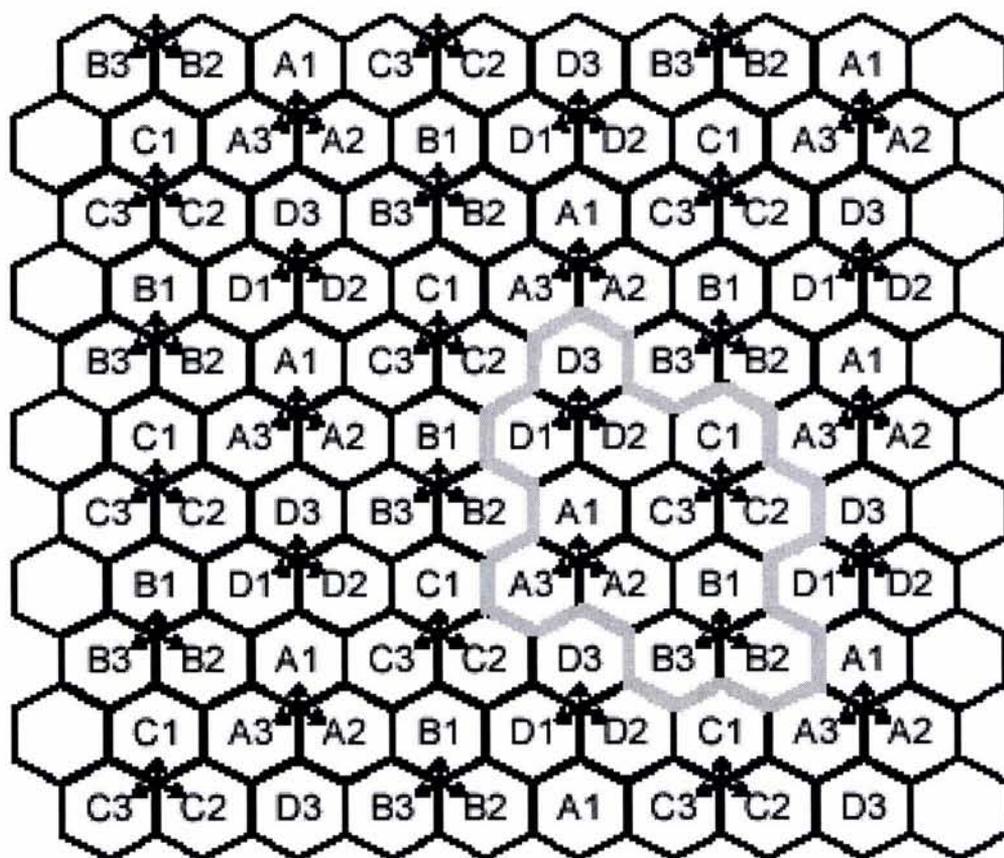


Figura 2.24. Patrón de reuso 4/12.

La tabla 2.5 muestra un ejemplo de cómo un operador puede dividir 24 frecuencias disponibles usando un patrón 3/9. En este caso, se tendría un grupo de hasta 8 sitios con 24 frecuencias distintas. Esto quiere decir que mientras más frecuencias disponibles tengamos mayor será la distancia de reuso y así tendremos menor riesgo de interferencia.

GRUPO DE FRECUENCIAS	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
CANALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24			

Tabla 2.5. Patrón de frecuencias 3/9.

En el patrón 3/9 las celdas A1 y C3 son vecinas y usan frecuencias adyacentes (10 y 9 respectivamente). Por lo tanto la interferencia C/A se incrementará. En este caso el operador puede usar FH, el cual planeado correctamente puede reducir la posibilidad de interferencia adyacente. La figura 2.25 muestra un patrón 3/9. De la misma forma se tienen tres sitios con 9 frecuencias diferentes.

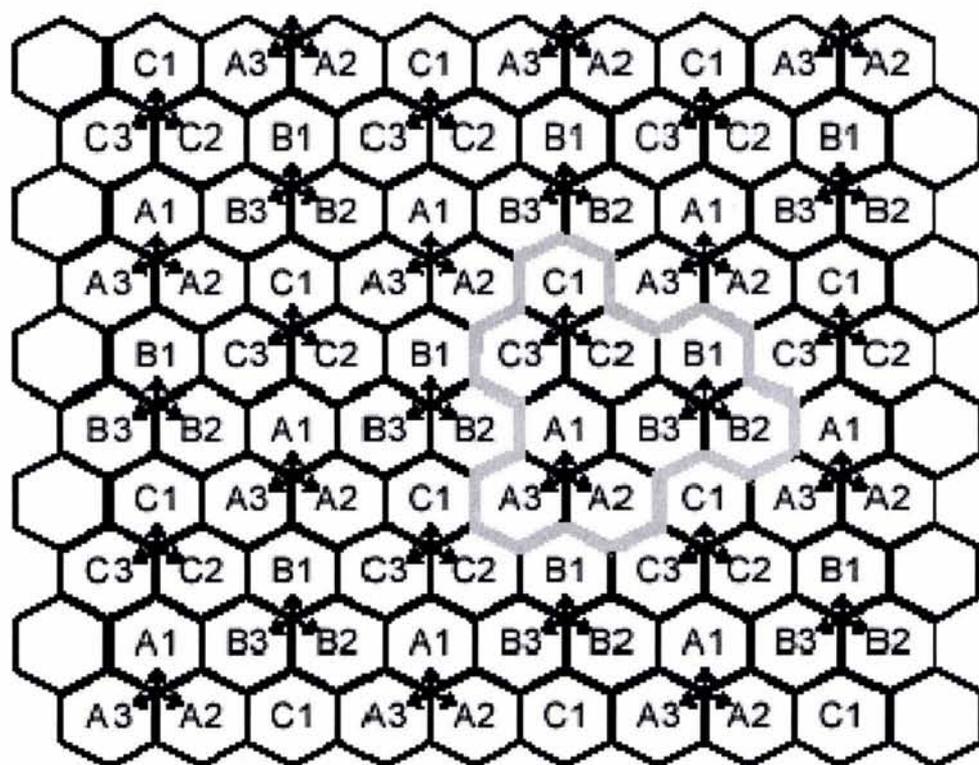


Figura 2.25. Patrón 3/9.

En una red real la asignación de canales no será uniforme como en la tabla 2.5, ya que algunos sitios requerirán menor número de canales (si son de uno o dos sectores). En este caso, este canal sobrante será llevado a otra celda con mucho tráfico, teniendo siempre como objetivo primordial reducir la interferencia al valor mínimo posible.

2.12.1. Tipos de celdas

Existen diferentes tipos de celdas dependiendo del tamaño del área que cubren o bien si son para interiores o exteriores.

- **Macrocelda**

Una macrocelda normalmente opera con una potencia alta de salida (aproximadamente 45 dBm) y las antenas están montadas en la parte alta de una construcción o en la plataforma de una torre. Estas celdas son diseñadas para proveer una cobertura tanto para exteriores como para interiores. Su área de cobertura normalmente es de 2 a 3 km.

- **Microceldas**

Una microcelda es una celda pequeña que puede estar ubicada en exteriores o en interiores. Cuando se utiliza en exteriores tienen el objetivo de cubrir únicamente un par de calles o algún lugar público en donde se concentra mucha gente. Cuando se instala en interiores tiene el objetivo de cubrir lugares muy concurridos como oficinas, teatros, centros de espectáculos, etc. Las antenas para este tipo de celdas se ubican entre 5 y 10 metros sobre el nivel de piso. Las microceldas tienen una baja potencia de salida (aproximadamente 29 dBm) y por lo tanto un área de cobertura pequeña.

2.12.2. Cambio de celda

Un sistema celular, como ya se trató, está formado por un conjunto de celdas las cuales interactúan entre sí. Cuando un móvil se desplaza dentro de la red celular necesita cambiar de celda conforme avanza, el cambio del móvil de una celda a otra se llama *handover* (cambio de celda). Para que el cambio de celda se pueda llevar a cabo, es necesario que se declare en el sistema la relación de vecindad entre dos celdas que sean vecinas o bien que estén una junto a la otra. Es decir, cuando el móvil se encuentre en una celda solamente podrá hacer el *handover* con las celdas que se encuentren a su alrededor. En algunos casos muy particulares se puede llegar a definir la relación de vecindad entre celdas que estén separadas por una o varias celdas, pero habrá que tener mucho cuidado pues en lugar de ayudarnos podría generar problemas de llamadas caídas o interferencia.

2.12.3. Sub-celdas

El sistema GSM ofrece otra característica para incrementar la capacidad de tráfico en una red celular, sin la necesidad de construir nuevos sitios; esto es mediante la definición de sub-celdas llamadas *overlaid* (capa superior) y *underlaid* (capa inferior).

Un grupo de canales en la BTS es asignado para transmitir con un cierto nivel de potencia, siendo estos los canales de la capa inferior. Otro grupo de canales en la misma BTS son asignados para transmitir a una menor potencia, y estos son los canales de la capa superior.

Esta característica hace posible usar dos diferentes patrones de frecuencia, un patrón para la capa superior y otro patrón para la capa inferior. Las sub-celdas de la capa superior dan servicio a un área menor que las sub-celdas de la capa inferior; y por lo tanto, la distancia de reuso de frecuencias para la capa superior puede ser menor. Consecuentemente, el número de frecuencias por celda se puede incrementar teniendo al mismo tiempo un incremento en la capacidad de tráfico dentro de una red celular. La figura 2.26 muestra el área de cobertura para cada sub-celda.

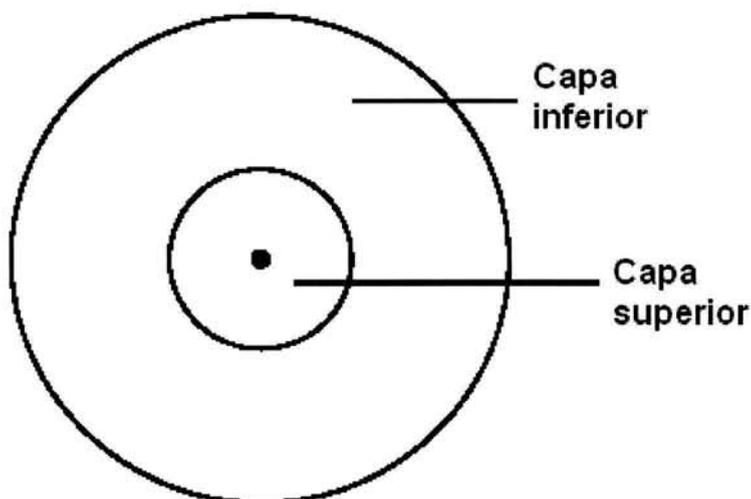


Figura 2.26. Sub-celdas.

En la capa inferior la trama de 8 *time slots* está configurada de acuerdo a la figura 2.9, con 6 canales para tráfico, 1 para señalización y otro para el canal de control; mientras que la capa superior tiene los 8 *time slots* dedicados para canales de tráfico. Todas las llamadas siempre se originan en la capa inferior, y después pueden pasar a la capa superior si es que los móviles se encuentran en el área correspondiente a esta capa; esto es porque los móviles necesitan hacer uso del canal de control y señalización para establecer la llamada.

2.12.4. Área de localización

Un LA (Location Area, Área de localización) está constituida por un grupo de celdas. Para ciudades hasta con 100 sitios aproximadamente se utiliza la misma área de localización, por lo que para ciudades más grandes se deben utilizar varias áreas de localización. Esto es por la capacidad que el sistema tiene para administrar un número determinado de celdas con la misma área de localización. El área de localización actual es en la que el móvil está ubicado y se almacena en el Registro local de abonados. Cuando un móvil cruza los límites entre dos celdas pertenecientes a diferentes áreas de localización, éste debe reportar su nueva área de localización a la red. Si éste cruza de una celda a otra dentro de una misma área de localización, el móvil no reporta cambio de área a la red puesto que es la misma. Cuando hay una llamada para un móvil, un mensaje de búsqueda es enviado dentro de todas las celdas que pertenecen al área de localización almacenada en el Registro local de abonados, que es donde se encuentra el móvil.

2.12.5. Código de identidad de estación base

El BSIC (Base Station Identity Code, Código de identidad de estación base) sirve para identificar cada una de las celdas dentro de la red celular y está compuesto por dos elementos:

- NCC (Network Color Code, Código de color de la red)
- BCC (BTS Color Code, Código de color de la BTS)

El código de color de la red es utilizado para diferenciar las celdas que pertenecen a dos redes diferentes pero que están usando las mismas frecuencias de transmisión. Dos redes pueden estar ocupando la misma banda del espectro de frecuencias, siempre y cuando estas pertenezcan a países diferentes; en este caso, los dos operadores deberán decidir entre ellos que valores del NCC usará cada uno principalmente en el borde de las dos redes (ver figura 2.27). Hacia el interior de la red cada operador puede utilizar todos los posibles valores de NCC. Los valores que puede tomar el NCC son del 0 al 7.

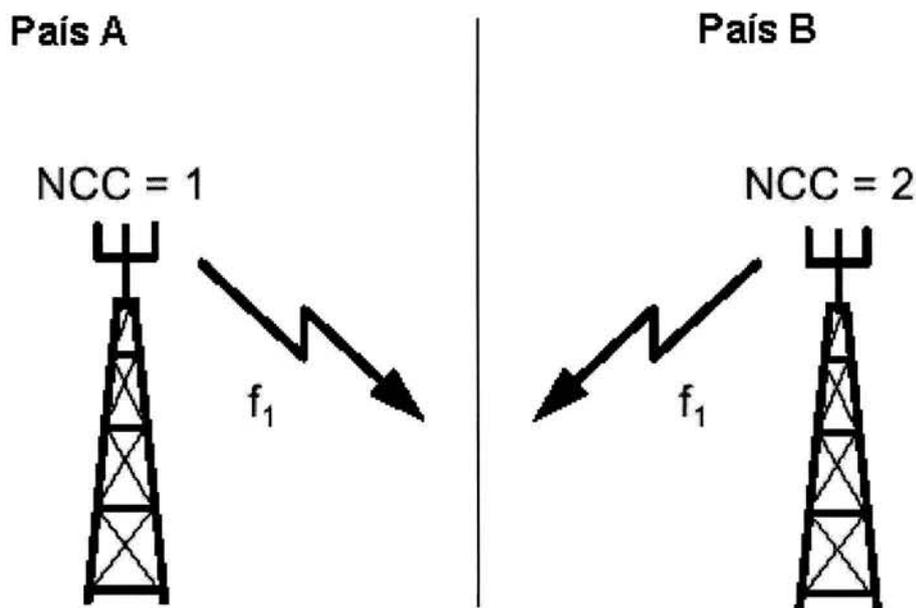


Figura 2.27. Frontera entre dos redes con diferente NCC.

El código de color de la BTS distingue a una estación base de otra que se encuentre en otro sitio transmitiendo con la misma frecuencia. Cuando el móvil está registrado a la red y está sin llamada (modo libre) recibe de parte de la red la combinación del NCC y del BCC. Se puede identificar fácilmente la celda en la que está ubicado el móvil por la combinación del BSIC y la frecuencia del BCCH (canal de control) al que está enlazado.

Una vez que hemos tratado los conceptos más importantes, relacionados con radio frecuencia y telefonía celular, podemos abordar ya el siguiente capítulo, donde trataremos el diseño de la Red Celular

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

En este capítulo abordaremos la etapa de diseño de la red celular, tratando cada uno de los pasos y su descripción; al mismo tiempo se presentarán pequeños ejemplos donde sea conveniente para ilustrarlos los conceptos de mejor manera. Para hacer los cálculos del balance de los enlaces es necesario saber las características de los equipos usados, lo cual también es tratado.

3.1. PROCESO DE PLANEACIÓN CELULAR

La planeación celular se puede describir como la determinación de los sitios necesarios para satisfacer las necesidades de cobertura en un cierto lugar, así como la configuración del equipo que se necesita instalar. Con el fin de garantizar cobertura y evitar interferencia, cada red celular necesita una adecuada planeación. El proceso de planeación se encuentra descrito gráficamente en la figura 3.1. La descripción de cada uno de los pasos es la siguiente.

3.1.1. Análisis de tráfico y cobertura

El proceso de planeación empieza con el análisis de tráfico y cobertura. Este análisis produce información acerca de la capacidad esperada de acuerdo a las necesidades de tráfico. Los datos obtenidos de este análisis son:

- Capacidad.
- Cobertura.

- Grado de Servicio.
- Frecuencias disponibles.
- Índice de calidad de voz.
- Expectativas de crecimiento del sistema.
- Costo.

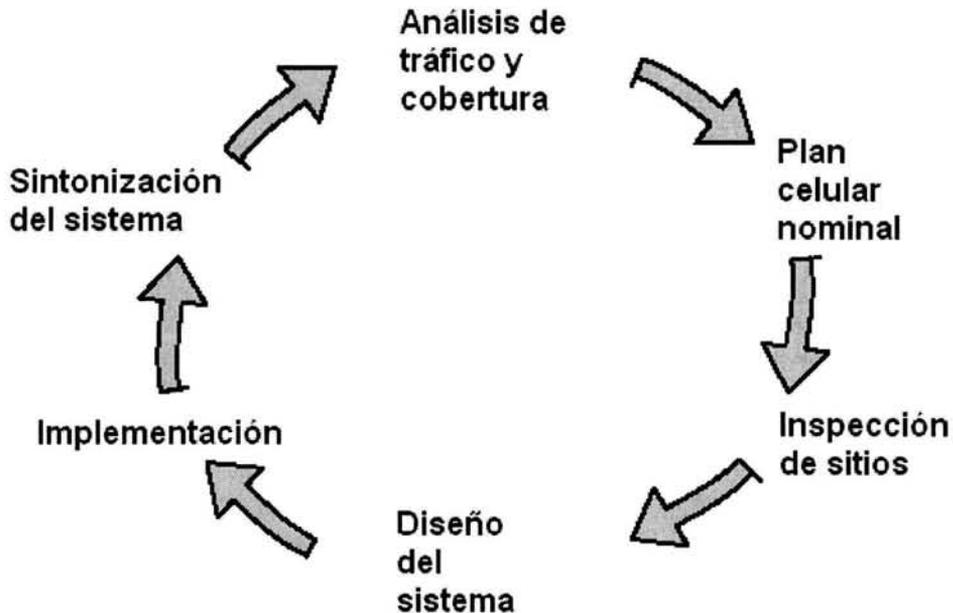


Figura 3.1. Proceso de planeación celular.

La base de la planeación celular es la demanda de tráfico, que está dada en Erlangs. La distribución de la demanda de tráfico puede ser estimada con el uso de datos demográficos tales como:

- Distribución de la población.
- Distribución del uso de automóviles.
- Distribución del nivel de ingresos.
- Datos del uso de suelo.
- Estadísticas del uso de teléfono.
- Otros factores como cargos por suscripción, cargos por llamadas y precios de estaciones móviles.

En la determinación del número de BTS necesarias para satisfacer cierta demanda, se deben conocer ciertos datos, tales como: el tráfico generado por usuario, el GoS, etc. Consideremos los siguientes datos para ejemplificar este hecho:

- Número de llamadas en una hora: 1.
- Tiempo promedio de duración de llamada: 90 segundos.
- Número de usuarios: 1.

de la expresión 2.5 resulta un tráfico de

$$A = 1 \cdot \frac{90}{3600} \cdot 1 = 25mE$$

Si una red presenta las siguientes características:

- Número de usuarios: 10,000.
- Frecuencias disponibles: 24.
- Plan de frecuencia: 4/12.
- GoS: 2%.
- Tráfico por cada usuario: 25 mE.

esto lleva a los siguientes cálculos

- Número de frecuencias asignadas por celda (para un *cluster* de 12 celdas): $24/12 = 2$.
- Número de canales de tráfico que se tienen (*time slots*) por celda: $2 \cdot 8 = 16$, menos 2 canales (uno para señalización y otro para control) quedan 14 canales.
- De la tabla B de Erlang, 14 canales de tráfico con un GoS = 2% implica 8.2 Erlangs de tráfico que puede manejar cada celda (ver apéndice B).
- El número de usuarios al que le puede dar servicio una celda es $8.2 E / 25 mE = 328$.
- Si hay en total 10,000 usuarios en la red, entonces el número de celdas necesarias para darles servicio es $10,000/328 = 30$ celdas aproximadamente.
- Si un sitio está formado por tres celdas, entonces el número de sitios necesarios para esta red celular es: $30/3 = 10$ sitios.

Todo esto quiere decir que para atender a un número de 10,000 usuarios con las características mencionadas es necesaria una red con 10 sitios, cada uno con 3 sectores.

3.1.2. Plan celular nominal

El plan celular nominal proviene de la compilación de los datos obtenidos del análisis de tráfico y cobertura. El plan celular es una representación gráfica de la red y aparece como un patrón de celdas en un mapa. Los planes celulares nominales son los primeros en ser producidos y forman la base para la planeación posterior del sistema.

Una planeación sucesiva debe tomar en cuenta las propiedades de propagación de las ondas de radio en el medio. En la práctica, se utilizan herramientas de predicción computacionales para hacer estos estudios. Existen diferentes herramientas en el mercado ofrecidas por los diferentes proveedores de tecnología GSM a nivel mundial, pero en general cada una de ellas ofrece las siguientes características:

- Predicciones de cobertura.
- Predicciones de interferencia.
- Generación de planes de frecuencias.

Estas herramientas han sido diseñadas para simplificar los procedimientos de planeación y optimización de una red celular. Las predicciones generadas por estas herramientas se pueden visualizar en mapas que muestran, ya sea los niveles de interferencia o cobertura. También son capaces de mostrar, con el uso de una base de datos, información tal como ubicación de los sitios, configuración de sitios, geografía del terreno, etc. La herramienta de predicción que ocuparemos para este proyecto es TEMS (Test Mobile System, Sistema móvil de pruebas) *Cell Planner* de Ericsson.

3.1.3. Inspección de sitios

Una vez que el plan celular nominal ha sido completado y las predicciones de cobertura e interferencia están disponibles, las inspecciones en los sitios y mediciones de radio se llevan a cabo.

La inspección de sitios es hecha para todas las posibles localizaciones de estos, y se verifican los siguientes puntos:

- Localización exacta.
- Espacio para el equipo, incluyendo torre.
- Servicio de alimentación externa.
- Contrato con el propietario del lugar.
- Facilidad para el acceso a la zona.
- Permiso para construcción del sitio.
- Si se trata de azoteas, verificar la facilidad para instalar las antenas.
- Verificar que los alrededores se encuentren libres de obstáculos (líneas de vista sin obstrucciones o sombras).

Para hacer la inspección del sitio se necesita de equipo especial para realizarlo:

- Brújula. Se mide la orientación de objetos que posiblemente pudieran representar obstáculos para cuando se instalen las antenas.
- GPS (Global Positioning System, Sistema de posicionamiento global). Este nos da las coordenadas exactas de la ubicación del posible sitio.
- Cámara digital. Es necesario sacar fotos de los alrededores del sitio futuro para conocer las líneas de vista de cada sector.
- Cinta métrica. Si es una azotea en la que se van a montar las antenas, se toma la altura de la posible ubicación; o bien si ya existe alguna torre se toma la misma medición.
- Inclinómetro. Si ya existe una plataforma en una torre, se puede verificar la inclinación de los mástiles (tubos) donde se montarán las antenas.
- Mapas. En estos se ubica la localización de los sitios.
- Documento de inspección de sitio. En este se anotan los datos necesarios para la entrega de un reporte.
- Computadora. En esta se almacena una base de datos que contiene todos los sitios futuros.
- Binoculares. Se utilizan para estudiar líneas de vista, o las plataformas existentes desde la parte baja de la torre.

- Equipo de seguridad. Es necesario este equipo para subir a las torres sin riesgo alguno para los ingenieros de campo.

Para la búsqueda de la ubicación de los sitios, el diseño arroja las coordenadas del punto óptimo en el que se debe instalar. Sin embargo, por diferentes circunstancias muchas de las veces no es posible instalarlo en ese lugar, por lo que habrá que definir un área alrededor de este punto dentro de la cual pueda ubicarse el sitio. Esta zona es llamada área de búsqueda, y dentro de ella quedará ubicado el sitio. En la práctica se toma un radio de búsqueda de 100 m alrededor de la ubicación nominal para zonas urbanas y un radio de 200m para zonas rurales. La figura 3.2 muestra el área alrededor de la ubicación nominal delimitada por un anillo de búsqueda, de tal manera que el sitio es posible ubicarlo en cualquier punto dentro de esta zona incluso en el mismo borde.

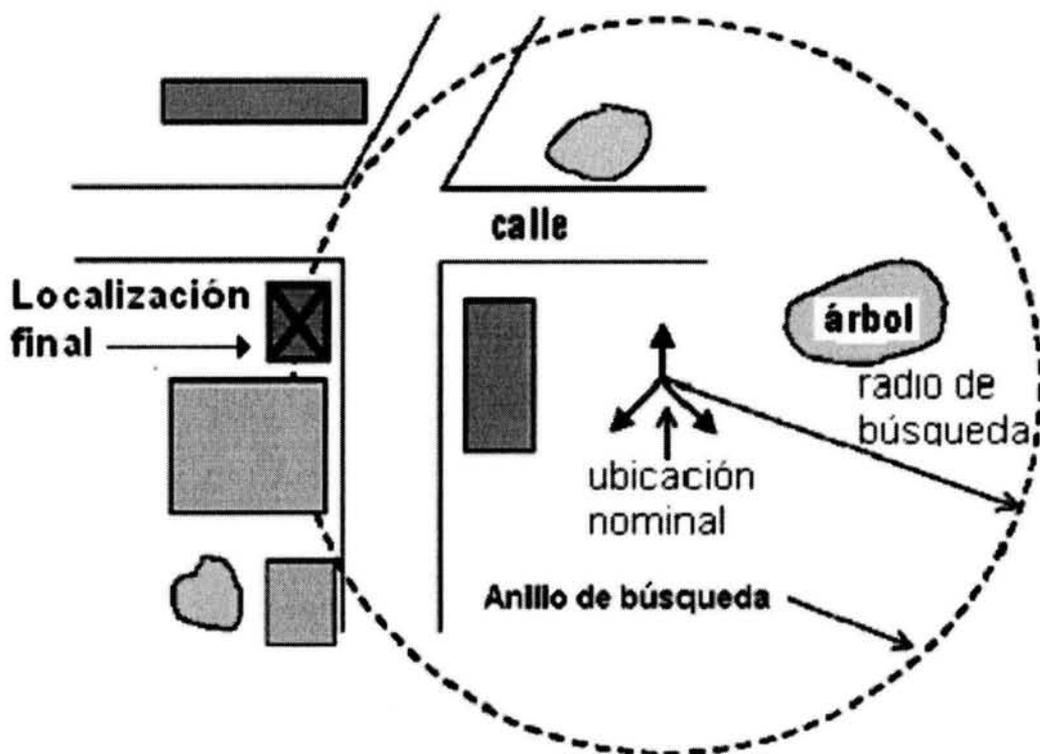


Figura 3.2. Área de búsqueda.

Además de localizar las futuras ubicaciones de los sitios, se tienen que hacer pruebas de campo para estudiar la forma en la se propagan las ondas de radio en el medio, y así retroalimentar a las herramientas de predicción con datos más reales. En estas mediciones de radio también se debe verificar que no existan otras fuentes de radiación muy cercanas al sitio que puedan provocar futuros problemas de interferencia externa. Para efectuar estas pruebas, se monta un transmisor en un punto fijo simulando una torre, mientras que un vehículo se mueve alrededor de éste, tomando mediciones de los niveles de señal recibidos; para hacer las mediciones en campo se utiliza otra herramienta diferente a la que genera las predicciones anteriormente mencionadas. El equipo para hacer estas mediciones en campo consta de un teléfono móvil, que muestrea los niveles de señal; un GPS, el cual nos da la posición del móvil en todo

instante, y una laptop que tiene cargado el *software* apropiado. El equipo que usaremos para este proyecto es el TEMS *Investigation* de Ericsson. La conexión de este equipo se muestra en la figura 3.3.

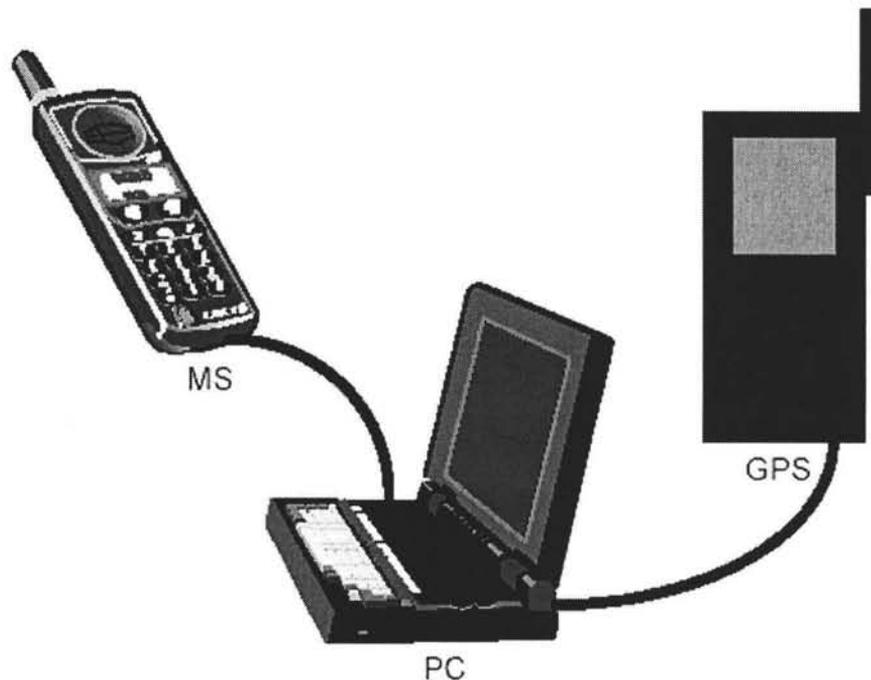


Figura 3.3. Equipo de medición de campo.

3.1.4. Diseño del sistema

Una vez que los parámetros de planeación han sido ajustados con las mediciones reales en campo, se puede calcular la capacidad necesaria de las BSC y de las MSC; así como la capacidad del enlace entre ellas. Después de que se han hecho estas correcciones, se genera el plan celular final, el cual es usado para la instalación del sistema.

En esta etapa se generan nuevas predicciones de interferencia y cobertura, resultando en un documento final llamado CDD (Cell Design Data, Datos de diseño de celda) que contiene toda la información de configuración y parámetros de celda.

3.1.5. Implementación del sistema

Una vez finalizados los trabajos de ingeniería civil, el grupo responsable de esto tiene que entregar un reporte de las características de la obra que se hizo, para saber la forma en que quedó construido finalmente el sitio. Este documento de construcción de sitio describe cada uno de los siguientes aspectos:

- Torre y plataforma para las antenas.
- Cimentación de la torre.
- Ubicación del cuarto para instalar el equipo de BTS.
- Reforzamiento de azoteas.

- Sistemas de tierra.
- Instalación de equipo de potencia.
- Red de transporte.
- Permisos de uso de suelo.

Cuando se han terminado los trabajos de construcción, llega el turno a la gente de instalación que se encargará de montar el equipo de BTS, del enlace, las antenas, etc. Cuando se termina la instalación se genera un documento de instalación de sitio o también llamado TR (Technical Review, Revisión técnica), el cual contiene la siguiente información:

- Información de la ubicación.
- Configuración del sitio.
- Un diagrama de la ubicación del equipo dentro del cuarto.
- Un diagrama de la posición de las antenas.
- Una lista de todo el equipo instalado.
- Fotografías del equipo instalado.

3.1.6. Sintonización del sistema

Una vez que se han hecho las revisiones mencionadas y como parte de la sintonización del sistema, se hace una verificación inicial que involucra las siguientes actividades:

- Verificar que el plan celular nominal final haya sido implementado exitosamente.
- Verificar instalación de los sitios mediante auditorias.
- Verificar parámetros de potencia, de histéresis del *handover*, etc, de acuerdo al diseño.
- Verificar mediante pruebas de campo que los niveles de señal reales sean muy parecidos a las predicciones.
- Detectar posibles problemas de interferencia.
- Si es necesario, hacer cambios físicos o a nivel de datos para que el desempeño sea aceptable.

Este proceso continua, puesto que la red crece constantemente y los problemas y necesidades también.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS GSM

Las características del equipo necesario para la instalación de los sitios son de gran importancia, ya que permiten la correcta generación del plan celular nominal. La potencia de transmisión de las BTS y móviles, pérdidas en estos, sensibilidades, tipos de equipo y funciones, son la base para los cálculos que se hacen con las herramientas computacionales para la planeación de la red.

Las especificaciones para equipos GSM establecen los niveles recomendados para todas estas características. La sensibilidad de un equipo es la potencia mínima que requiere tener la señal para que pueda ser procesada, ya sea en el móvil o en la BTS.

Cabe mencionar que estos valores de sensibilidad pueden cambiar a altas temperaturas (más de 30°C) y en terrenos muy irregulares.

La instalación de un sitio involucra varios dispositivos o equipos, los cuales están conectados como muestra el diagrama de bloques de la figura 3.4.

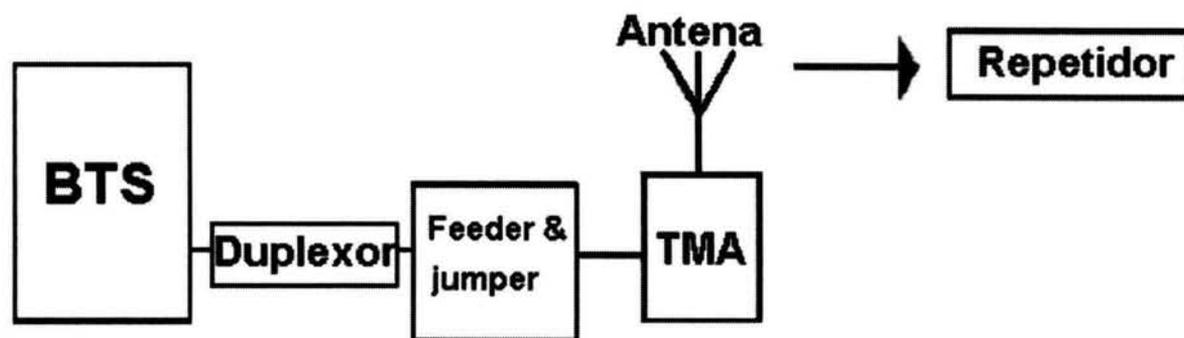


Figura 3.4. Conexión del equipo en sitio.

3.2.1. Especificaciones de las BTS

Una BTS contiene el equipo necesario para la transmisión de radio en sitio para una o varias celdas. Los equipos para redes GSM que existen en el mercado han sido especialmente diseñados ofreciendo un bajo costo en su instalación y una probabilidad muy baja de fallas en su operación. También ofrecen un alto desempeño para la transmisión de radio con una alta potencia de salida, una buena sensibilidad en la recepción, lo cual significa una mayor cobertura y una alta capacidad de tráfico.

La función principal de una BTS es proveer la conexión con el móvil a través de la interfaz área. Además incluye las siguientes tareas:

- Iniciación y configuración del sistema. Para poder arrancar y configurar correctamente el sistema para su operación se necesita hacer la carga del *software* adecuado, esta carga se hace de manera remota desde la BSC; algunos parámetros son: frecuencias de transmisión y recepción, potencia máxima de salida, el código de identificación de la BTS dentro de la red, etc.
- Transmisión de radio. Para poder realizar la transmisión de diferentes frecuencias en una misma antena, se utiliza un combinador o un grupo de estos. La potencia de transmisión está controlada por la BSC.
- Recepción de radio. Además de realizar la transmisión de radio, se encarga de hacer la recepción sobre los canales físicos de las llamadas, incluso de las peticiones por parte de los móviles para establecer una llamada.

Existen dos tipos de BTS: las BTS Macro, que son las más usadas y se utilizan para cubrir áreas grandes tanto para interiores como para exteriores; y las BTS Micro, que son de menor tamaño y son instaladas para cubrir áreas pequeñas, en interiores principalmente, como oficinas, estacionamientos subterráneos, etc. Una BTS está formada por los módulos que se muestran en la figura 3.5.

- **Unidad de transmisión-recepción**

Un TRU (TRansceiver Unit, Unidad de transmisión-recepción) o radio incluye las funcionalidades para el manejo de una portadora TDMA con una capacidad de 8 *time slots*, y es responsable por la transmisión, recepción, amplificación de potencia y procesamiento de la señal. Cada BTS soporta normalmente hasta 6 radios.

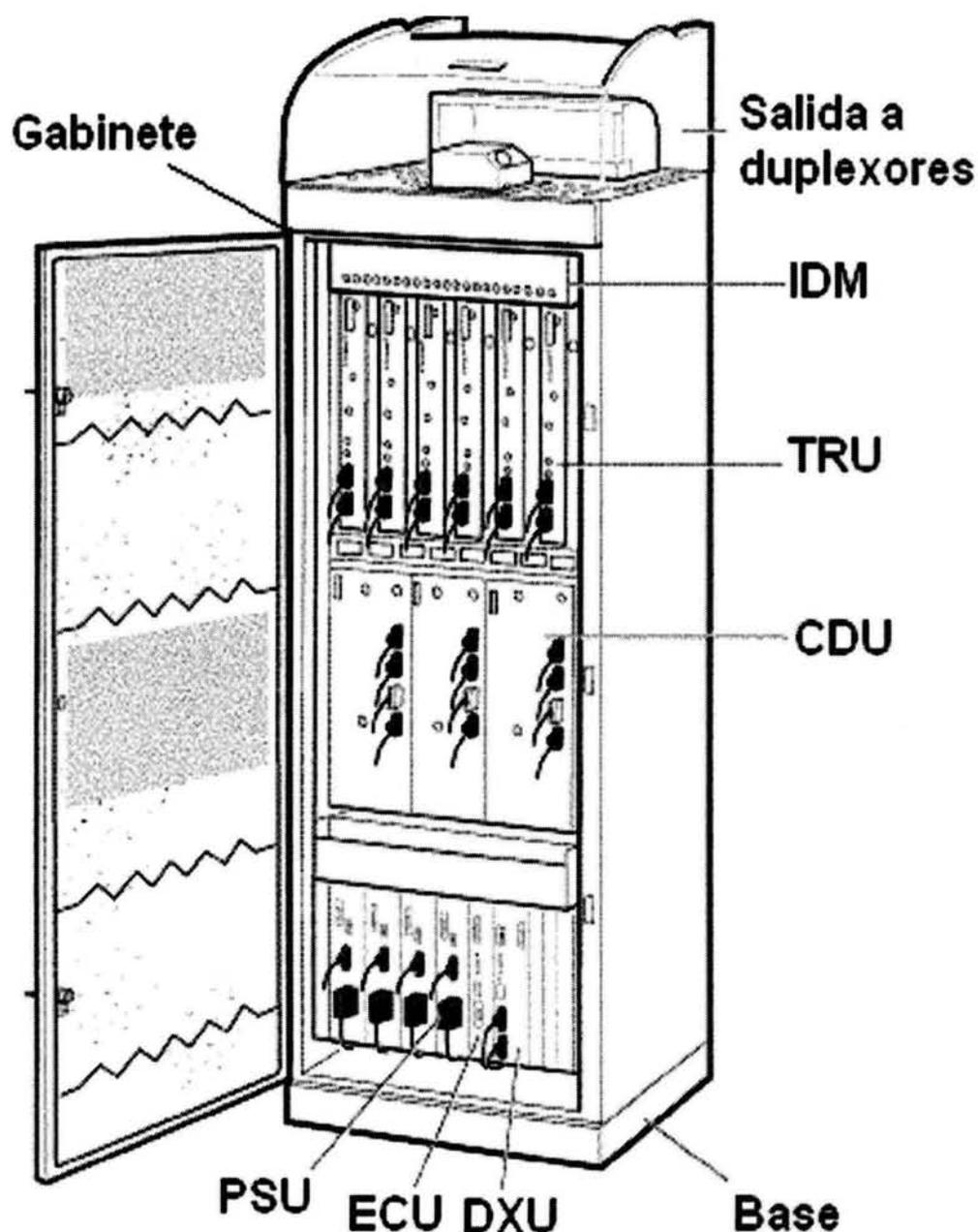


Figura 3.5. Gabinete completo de la BTS.

- **Unidad del switch de distribución**

El módulo DXU (Distribution Switch Unit, Unidad del *switch* de distribución) ejecuta las siguientes tareas:

- Es la interfaz hacia la BSC.
- Administra los recursos del enlace hacia la BSC y conecta el enlace de tráfico desde la BSC hacia los radios o viceversa.
- Controla la señalización hacia la BSC a través del enlace entre estos.
- Extrae sincronización del enlace para indicarle a los radios el tiempo en el que deben de transmitir.
- Tiene una base de datos que almacena información del *hardware* que se encuentra instalado.

- **Unidad de distribución y combinación**

El CDU (Combining and Distribution Unit, Unidad de distribución y combinación) es la interfaz entre los TRU y el sistema de antenas. La tarea del CDU es combinar las señales que van a ser transmitidas provenientes de diferentes radios y distribuir las señales recibidas hacia el radio correspondiente. Todas las señales son filtradas antes de la transmisión y después de la recepción usando filtros pasabanda.

Este módulo es el que tiene mayor importancia para la planeación de una red, pues sus características tales como sensibilidad o potencia de transmisión son valores que inciden directamente en el cálculo de las condiciones del enlace entre el móvil y la BTS. Existen diferentes tipos de CDU, como son:

- CDU - tipo A. Este tipo está diseñado para obtener una alta potencia de salida y puede ser usado con un TMA. Este CDU permite hasta dos radios por cada sector, teniendo en total de 6 radios por BTS. Se usa una antena por sector.
- CDU – tipo C+. Tiene un tipo de combinador diferente llamado híbrido que a diferencia del anterior permite conectar hasta 4 radios por sector, lo cual significa un incremento del 100% en capacidad.
- CDU - tipo D. El tipo de combinador que tiene este módulo permite conectar hasta 12 radios por sector usando una sola antena.
- CDU – Micro. Este CDU es usado en las BTS Micro.

Los valores de los diferentes parámetros para estos CDU se encuentran en la tabla 3.1.

Tipo de CDU	Potencia de salida [dBm]	Sensibilidad [dBm]
A	43.5	-111.5
C+	40	-111.5
D	40	-111.5
Micro	33	-106

Tabla.3.1. Potencia y sensibilidad para diferentes CDU.

- **Módulo de identidad**

El módulo IDM (IDentity Module, Módulo de identificación) contiene varios puntos de conexión que son usados para tener acceso a la BTS a través de una laptop. Cuando una BTS presenta fallas en su operación y no es posible arreglarla vía remota desde la oficina, es posible hacer una evaluación en sitio de la falla con un software que ha sido previamente instalado en la laptop y conectándola a la BTS; de ésta manera el programa enviará los comandos necesarios a la BTS para diagnosticar la falla y así conocer la solución más adecuada.

- **Unidad de fuente de energía**

El módulo PSU (Power Supply Unit, Unidad de fuente de energía) rectifica la alimentación externa de 127 V de corriente alterna a 24 V de corriente directa, el cual es el voltaje de operación de la BTS.

- **Unidad de control de energía**

El ECU (Energy Control Unit, Unidad de control de energía) controla y supervisa el equipo de potencia y regula las condiciones ambientales dentro del gabinete.

3.2.2. Especificaciones de las estaciones móviles

Las estaciones móviles son los equipos usados para acceder a la red. Los MS consisten de dos partes independientes:

- Modulo de Identificación de Usuario.
- Equipo Móvil.

Existen cuatro clases de estaciones móviles para GSM900, dos clases para GSM1800 y una para GSM1900. En la tabla 3.2 se presentan las características principales para los móviles mencionados.

GSM	Clase de MS	Potencia de salida [dBm]	Sensibilidad [dBm]
900	2	39	-106
900	3	37	-106
900	4 (tipo Agenda electrónica)	33	-104
900	5 (tipo Agenda electrónica)	29	-104
1800	1	30	-104
1800	2	24	-104
1900	1	30	-104

Tabla 3.2. Características de Móviles.

La antena de las estaciones móviles no tiene ni ganancia ni pérdida alguna que considerar cuando se hace el balance del sistema. La potencia de salida varía de

acuerdo a la distancia a la que se encuentre de la BTS, si se encuentra muy lejos de la fuente, la señal será más débil. La localización de la estación móvil también afecta la potencia recibida de la señal transmitida, una estación móvil localizada en lo alto de un edificio tiene una mejor línea de vista que uno que se encuentra obstaculizado por edificios.

3.2.3. Feeders, jumpers y conectores

El *feeder* es la guía de ondas que lleva la señal desde la BTS hacia las antenas, es un tubo flexible y existen diferentes calibres. Cuando es necesario tender grandes longitudes de *feeder* se utiliza un calibre más grande para contrarrestar las pérdidas por la distancia. También se debe tomar en cuenta la pérdida en el *feeder* para los cálculos de diseño, el más usado es el *feeder* de 7/8". En la tabla 3.3 se muestran las pérdidas para los *feeders* usados en BTS Macro y Micro.

Calibre <i>Feeder</i>	GSM 900 [dB/100m]	GSM 1800/1900 [dB/100m]
1/2"	7.2	10.5
7/8"	4.0	6.5
1 1/4"	3.0	5.3
1 5/8"	2.5	4.2

Tabla 3.3. Atenuación para tipos de *feeder*.

Además de las pérdidas en el *feeder* se deben considerar las pérdidas en los *jumpers*, los cuales son una extensión de los *feeders* y brindan un mejor acoplamiento hacia los conectores. Los *jumpers* y los conectores se encuentran tanto en el extremo que va hacia el *duplexor* como el que va hacia el TMA (Tower Mounted Amplifier, Amplificador montado en torre). Los valores para estos elementos son los siguientes

Dispositivo	Calibre	Pérdidas
<i>Jumper</i>	1/2"	0.5 dB/100m
Conector	1/2"	0.1 dB

Tabla 3.4. Atenuación de *jumper* y conector.

3.2.4. Duplexores

Los filtros *duplexores* hacen posible el uso de la misma antena tanto para transmisión y recepción. Cuando se utiliza un *duplexor* se toma en cuenta una pérdida adicional en el *uplink* y en el *downlink*, La tabla 3.5 muestra el valor de la pérdida por *duplexor*.

Además de los *duplexores* externos, algunos TMA contienen filtros *duplexores* internamente que también deben ser tomados en cuenta al enumerar las pérdidas en la BTS.

Tipo	Pérdida típica [dB]
Filtro <i>duplexor</i>	0.5

Tabla 3.5. Atenuación en duplexores.

3.2.5. Amplificadores montados en torre

Para mejorar la sensibilidad en el *uplink* se puede utilizar un TMA. El propósito de un TMA es amplificar la señal recibida antes de que éste sufra más atenuaciones en el *feeder*. La tabla 3.6 muestra las características de tres tipos de TMA más comúnmente utilizados.

Productos TMA	Ganancia en el <i>uplink</i> (dB)	Pérdida en el <i>downlink</i> [dB]
TMA 1900 <i>Simplex</i>	9	0
TMA 1900 <i>Dual</i>	9	0.3
TMA 1900 <i>Full Duplex</i>	10	0.3

Tabla 3.6. Ganancia y atenuación para diferentes TMA.

3.2.6. Antenas

La antena es la interfaz entre el *feeder* y el aire. Una señal proveniente del *feeder* será radiada en una dirección definida por el sistema. La antena se encarga simultáneamente de recibir las señales de radio provenientes de la misma dirección y llevarla hacia el *feeder*. La configuración usada anteriormente era una antena para transmisión y dos para recepción, pero el crecimiento de las redes obligó a reducir el número de antenas en los sitios, esto fue posible al introducir filtros *duplexores* permitiendo así la transmisión y recepción a través de una sola antena.

Existen dos tipos de antenas usados en los sistemas celulares, antenas omni-direccionales y direccionales. Una antena omni-direccional radia de la misma forma en todo el plano horizontal (360°), mientras que una antena direccional solamente radia en una dirección específica.

El patrón de radiación de una antena indica la forma en la que la antena transmite idealmente sobre un plano horizontal. La figura 3.6 muestra el patrón de radiación de una antena direccional con un lóbulo principal hacia el frente y un lóbulo trasero que debe ser minimizado para evitar interferencia con otras celdas.

Una antena direccional estándar para un sitio con tres sectores tiene las siguientes características, de acuerdo a la tabla 3.7.

Ancho del lóbulo horizontal	Ganancia
65°	15 a 18 dBi

Tabla 3.7. Características de una antena direccional

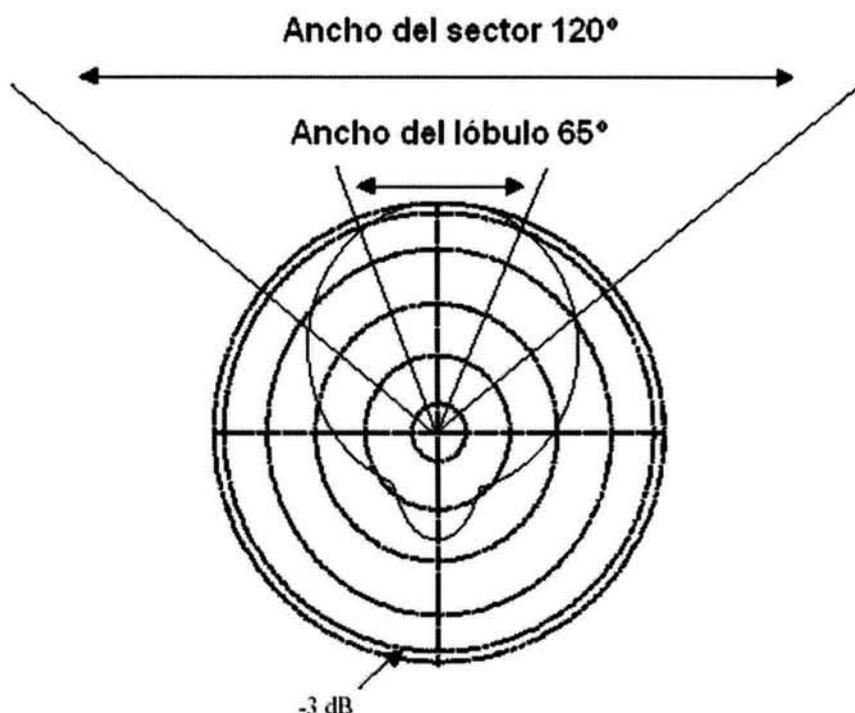


Figura 3.6. Patrón de radiación de una antena direccional.

Para sitios con tres sectores cada uno de 120°, se utilizan antenas con las características dadas en la tabla 3.7. La ganancia de una antena es una medida relativa y puede estar referida a una antena isotrópica. Una antena isotrópica es una antena teórica que radia de la misma forma en todas las direcciones formando una esfera. Para este caso las unidades de la ganancia de la antena están expresadas en dBi. Cuando la ganancia de una antena se refiere a una antena dipolo ideal, las unidades son expresadas en dBd. La relación entre los dBi y dBd es la siguiente:

$$\text{dBi} = \text{dBd} + 2.15 \text{ dB} \quad (3.1)$$

tal y como se puede apreciar en la figura 3.7.

De tal manera que la potencia efectiva radiada de una antena será:

$$\text{EIRP (dBm)} = \text{potencia de salida de BTS (dBm)} - \text{pérdida en el feeder (dB)} + \text{ganancia de antena (dBi)} \quad (3.2)$$

o bien

$$\text{ERP (dBm)} = \text{potencia de salida de BTS (dBm)} - \text{pérdida en el feeder (dB)} + \text{ganancia de antena (dBd)} \quad (3.3)$$

La diversidad en las antenas es una forma de reducir la influencia de la atenuación por multitrayectoria. Existen dos tipos de arreglos para la diversidad en las antenas:

diversidad por espacio y diversidad por polarización. La ganancia y pérdida que se obtiene al utilizar la diversidad por espacio o por polarización se presenta en la tabla 3.8.

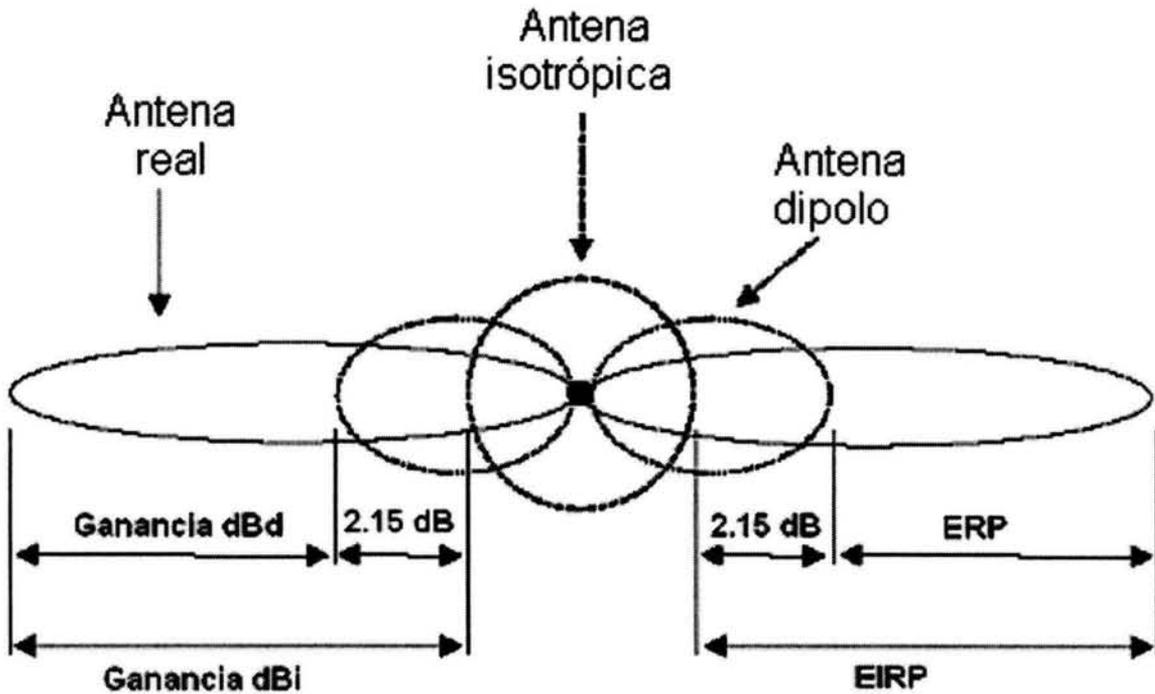


Figura 3.7. Relación entre unidades de ganancia para antenas.

Diversidad	Ganancia en el <i>uplink</i> (dB)	Pérdida en el <i>downlink</i> [dB]
Por distancia	3.5	1
Por polarización	3.5	1

Tabla 3.8. Ganancia y atenuación por diversidad.

Si una antena tiene una cobertura excesiva puede provocar problemas de interferencia en otras celdas, esto pasa sobre todo con antenas que se encuentran ubicadas en partes muy altas. De manera contraria, si una antena cubre muy poco, puede haber zonas con bajos niveles de cobertura, provocando también mala calidad en las llamadas. La forma de contrarrestar estos problemas es aumentando o disminuyendo la cobertura de las antenas según sea el caso. Las antenas tienen externamente la forma de un panel, como se muestra en la figura 3.8. La forma de reducir la cobertura de la antena es dándole una inclinación al panel hacia abajo, en cuyo caso se dice que se le dio una inclinación mecánica. Existen otros modelos de antenas a los que no se les puede dar una inclinación mecánica, sino que la inclinación se hace de manera directa al arreglo de dipolos que tiene internamente el panel, en este caso se hace una inclinación eléctrica. Si el problema que se presenta es la falta de cobertura se puede aplicar el proceso inverso.

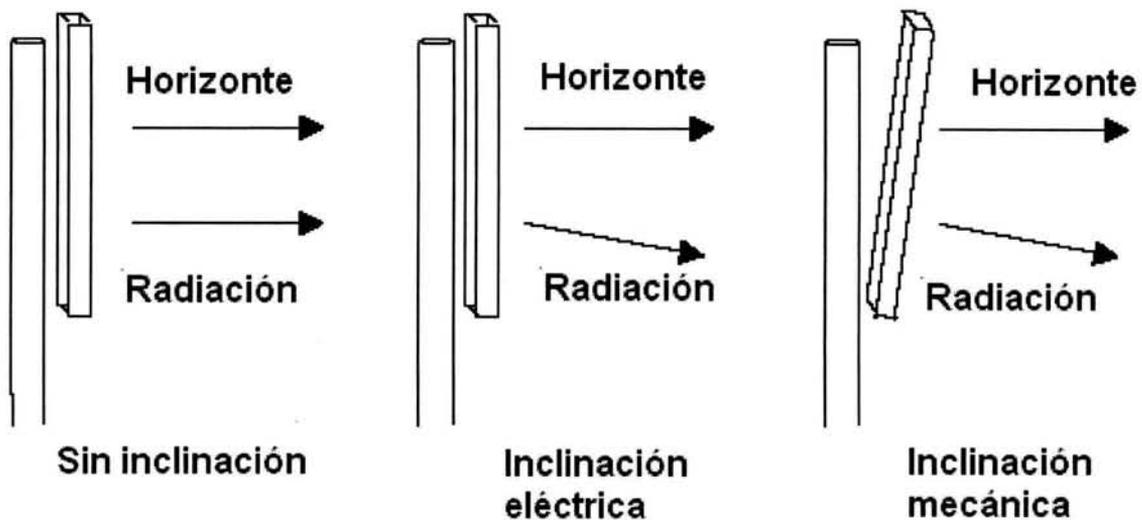


Figura 3.8. Inclinación de antenas.

Las antenas presentan una impedancia de entrada, la cual debe ser correctamente acoplada con la impedancia del *feeder*. En caso contrario, la onda proveniente de los radios puede verse reflejada y regresar hacia la BTS, lo cual puede dañar tanto a los radios como al CDU. Existe una relación llamada VSWR (Voltaje Standing Wave Ratio, Razón de voltaje de onda estacionaria) que indica que tan bien está acoplada la impedancia de la antena a la impedancia del *feeder*. Si la relación es cercana a 1 el valor es el óptimo, pero si éste empieza a incrementar quiere decir que parte de la señal que se transmite está siendo reflejada. La ecuación que representa la relación mencionada es como sigue:

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_R}{P_T}}}{1 - \sqrt{\frac{P_R}{P_T}}} \quad (3.4)$$

donde

P_R : es la señal reflejada y
 P_T : es la señal transmitida.

3.2.7. Repetidores

Un repetidor puede cubrir áreas que son difíciles de hacerlo con los sitios que han sido previamente diseñados, las áreas que cubren están obstaculizadas y no tienen una línea de vista directa hacia las antenas del sitio. Los repetidores se pueden instalar en zonas donde el terreno tiene demasiadas irregularidades, en túneles o también para interiores. La señal de entrada al repetidor es amplificada entre 50 y 80 dB. La instalación de repetidores no es eficiente al tratar de cubrir con estas zonas en las que

se debe instalar un sitio, ya que puede ser el caso que lo que se necesita es más capacidad, lo cual no puede ser solucionado con repetidores.

3.3. BALANCE DEL SISTEMA

Cuando se hace el balance de un sistema celular, el objetivo es lograr en lo mayor posible que la cobertura del *downlink* sea la misma que en el *uplink*. Se dice que un área está cubierta si el nivel de intensidad de señal recibido por los móviles es en al menos el 95% de esta área, y este nivel es mayor que un cierto nivel mínimo requerido; este valor es alrededor de -90dBm (1 pW) para garantizar cobertura en exteriores. Sin embargo, la cobertura en un sistema de comunicación de radio de 2 vías se rige por el enlace de menor potencia, es decir el *uplink*. Esto provoca una pequeña diferencia entre la cobertura del *uplink* y la del *downlink*, simplemente porque el primero es más débil; debido a que la cobertura en el *downlink* es mayor, esto puede causar problemas de interferencia. El balance del sistema consiste básicamente en igualar la potencia de entrada en el móvil a la potencia de entrada en la BTS.

La potencia de entrada en el receptor de la estación móvil (P_{inMS}) es igual a:

$$P_{inMS} = P_{outBTS} - L_{fBTS} + G_{aBTS} - L_p + G_{aMS} - L_{MS} \quad (3.5)$$

y la potencia de entrada en el receptor de la BTS (P_{inBTS}) es:

$$P_{inBTS} = P_{outMS} - L_{MS} + G_{aMS} - L_p + G_{aBTS} + G_{dBTS} - L_{fBTS} \quad (3.6)$$

donde:

P_{outBTS} : es la potencia de salida de la BTS.

L_{fBTS} : es la pérdida en el feeder.

G_{aBTS} : es la ganancia de la antena de la BTS.

L_p : es la pérdida por trayectoria.

G_{aMS} : es la ganancia de la antena del móvil.

L_{MS} : es la pérdida en los circuitos del móvil.

G_{dBTS} : es la ganancia por diversidad en las antenas de la BTS.

Asumiendo que la pérdida L_p es idéntica en el *uplink* y el *downlink*, y que las antenas de transmisión y recepción de la BTS tienen la misma ganancia, restando la ecuación 3.3 de la ecuación 3.4, tenemos que:

$$P_{inMS} - P_{inBTS} = P_{outBTS} - P_{outMS} - G_{dBTS} \quad (3.7)$$

Dado que la sensibilidad es la potencia mínima requerida a la entrada tanto del móvil como de la BTS, podemos considerar lo siguiente:

$$P_{inMS} - P_{inBTS} = MS_{SENS} - BTS_{SENS} \quad (3.8)$$

donde:

MS_{SENS} : es la sensibilidad del móvil y

BTS_{SENS} : es la sensibilidad de la BTS.

sustituyendo 3.7 en 3.6 queda,

$$P_{out_{BTS}} = P_{out_{MS}} + G_{dB_{BTS}} + (MS_{SENS} - BTS_{SENS}) \quad (3.9)$$

con lo que obtenemos la potencia de salida de la BTS, la cual es mayor que la potencia de salida del móvil.

Por ejemplo, para un sistema con las siguientes características: $P_{out_{MS}} = 2W$ o 33dBm, $G_{dB_{BTS}} = 3.5$ dB, $MS_{SENS} = -104$ dBm y $BTS_{SENS} = -110$ dBm se obtiene una potencia de salida de:

$$P_{out_{BTS}} = 33 + 3.5 + (-104 + 107) = 42.5 \text{ dBm } \text{ ó } 18 \text{ W}$$

Para este sistema se necesita una BTS con una potencia de salida de 18W o 42.5 dBm. El balance del sistema es independiente de la ganancia de la antena, en donde influye esta ganancia es en el tamaño de la cobertura de una celda.

Como conclusión, la potencia de salida de la BTS no se recomienda cambiar una vez que el sistema ha sido balanceado para una configuración en particular, así como para una clase de móvil. Si se desean celdas más pequeñas, tanto la potencia de la BTS como del móvil tiene que ser reducida de tal manera que se mantenga el balance previamente calculado.

3.4. COBERTURA DE CELDAS

Es importante la estimación de la cobertura de una celda, no sólo para determinar el tamaño de ésta, sino también para conocer los niveles de cobertura e interferencia. Cuando se hace la planeación de un sistema celular no es suficiente considerar únicamente los niveles de sensibilidad de los equipos como criterio de planeación de la cobertura de una celda. Varias consideraciones se deben tomar en cuenta, como son:

- El hecho de que las ondas de radio son reflejadas por la superficie de la tierra (la conductividad de la tierra es un parámetro importante).
- Las pérdidas de transmisión debidas a obstrucciones en la dirección hacia la antena.
- La curvatura de la tierra.
- El tipo de terreno, así como las propiedades de atenuación en diferentes ambientes como bosques, áreas urbanas, etc.

Como vimos en el cálculo del balance del sistema, las pérdidas por trayectoria no son consideradas; estas pérdidas influyen directamente sobre el cálculo del tamaño de la cobertura de las celdas. Para encontrar la pérdida total por trayectoria del enlace se deben considerar todos los obstáculos y problemas a los que estará sometido el enlace. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones se puede lograr una mejor predicción de los niveles de cobertura y el tamaño de las celdas.

3.4.1. Márgenes que afectan los niveles de cobertura

Varios márgenes deben ser considerados en los cálculos con el objetivo de obtener la cobertura deseada. Estos márgenes son:

- **Margen de atenuación Rayleigh**

La atenuación Rayleigh es debida a las pérdidas por trayectoria múltiple y ocurre especialmente en áreas urbanas donde hay una alta probabilidad de líneas de vista bloqueadas entre transmisor y receptor.

La manera de obtener una mejor calidad de voz, y contrarrestar estas pérdidas, es considerar en el cálculo del nivel de señal requerido, un margen adicional que denominaremos RF_{MARG} (Rayleigh Fading Margin, Margen de Atenuación Rayleigh). En un sistema en donde se utiliza el salto en frecuencia las caídas por atenuación Rayleigh son disminuidas debido a que la frecuencia de transmisión está cambiando constantemente, y cuando se usa la diversidad en las antenas también se reducen los efectos de esta atenuación. Las especificaciones de GSM recomiendan un valor de:

$$RF_{MARG} = 3 \text{ dB}$$

- **Margen de atenuación Log-Normal**

El valor del nivel de señal calculado por los algoritmos de propagación de ondas de radio está determinado por la resolución y exactitud del modelo de propagación. Asumiendo que las atenuaciones abruptas han sido suprimidas, el valor medio del nivel de señal fluctúa de una manera no considerada por el algoritmo de predicción. Esta atenuación o desviación de la media en dB comparada con la predicción tiene casi una distribución normal, de ahí que esta atenuación sea denominada atenuación log-Normal.

El nivel de señal recibido es un proceso aleatorio, y sólo es posible estimar la probabilidad de que el nivel de la señal recibida exceda cierto umbral para tener un buen nivel de cobertura. Con el objetivo de tener una probabilidad de que más del 50% de los sitios estén por arriba de ese umbral, se debe agregar un margen de atenuación log-normal (LNF_{MARG} : Log-Normal Fading Margin) al umbral durante el proceso de planeación. La magnitud del margen de atenuación log-normal se muestra en la tabla 3.9 para diferentes tipos de área de cobertura al 95%. Los valores se originan con simulaciones obtenidas de la herramienta de predicción TEMS Cell Planner.

Tipo de área	LNF_{MARG} (dB)
Rural	3
Sub-urbano	3
Urbano	4.9
Densamente Urbano	6.8

Tabla 3.9. Márgenes de atenuación Log-Normal.

- **Margen de interferencia**

La sensibilidad de un receptor depende de la relación portadora a ruido (C/N). Cuando existe un reuso de frecuencias, la potencia recibida de la portadora debe ser lo suficientemente grande como para contrarrestar el ruido y la interferencia, esto quiere decir que $C/(N+I)$ debe exceder el umbral del receptor. Con el objetivo de obtener una predicción de cobertura muy aproximada para un sistema ocupado, es necesario definir un margen de interferencia IF_{MARG} (Interference Margin).

El margen de interferencia depende del re-uso de frecuencias, la carga de tráfico, el porcentaje deseado de área de cobertura y si el enlace de *uplink* o el de *downlink* es considerado. El margen de interferencia recomendado por las especificaciones de GSM es:

$$\text{Margen de interferencia } (IF_{MARG}) = 2 \text{ dB}$$

- **Margen por pérdidas debidas al cuerpo humano**

El cuerpo humano, principalmente la cabeza, tiene varios efectos en el desempeño del móvil, en comparación de cuando éste funciona solo. Algunos efectos sobre el móvil son:

- La eficiencia de la antena de los móviles se ve reducida.
- La dirección del lóbulo puede verse afectada.
- La polarización puede cambiar.

También para este caso es necesario agregar un margen que considere estas pérdidas en el cuerpo humano (BL_{MARG} : Body Loss). El valor recomendado por los estándares de GSM es:

$$\text{Margen de pérdida por el cuerpo } (BL_{MARG}) = 3 \text{ dB}$$

- **Margen por pérdida de penetración en automóviles**

Cuando el MS está situado dentro de un automóvil, sin una antena externa, es necesario agregar un margen adicional para neutralizar la pérdida de penetración en el automóvil. Este margen tiene un valor recomendado por especificaciones GSM de:

$$\text{Margen de pérdida de penetración en un automóvil } (CPL_{MARG}) = 6 \text{ dB}$$

Para conocer la atenuación total a la que está sometido el enlace de radio habrá que sumar todas estas pérdidas que mencionamos.

3.4.2. Modelos de propagación

El modelo de propagación más adecuado para la predicción de la cobertura de las celdas será el que tome en cuenta las variaciones topográficas en cada lugar y las propiedades que se tienen en diferentes ambientes. A pesar de que se pueden realizar

cálculos tomando en cuenta todos los detalles, consumen mucho tiempo y es poco práctico para planear la cobertura de las celdas.

Un ingeniero japonés, Okumura hizo mediciones en diferentes tipos de terreno, obteniendo para cada una un conjunto de curvas. Estas curvas relacionan los niveles de intensidad de señal con el tipo de terreno. Sin embargo, estas gráficas solamente se pueden utilizar como una guía básica ya que los tipos de terreno difieren en cada lugar, así como en el uso del mismo. La información empírica puede ser usada para elaborar modelos más reales a partir de las curvas de Okumura. Las curvas de Okumura se pueden consultar en el apéndice B. La herramienta de predicción TEMS Cell Planner contempla en su base de datos diferentes modelos de propagación que pueden ser usados, seleccionando el más adecuado para el tipo de terreno en el que se va a diseñar la red celular.

3.5. NIVELES DE DISEÑO

Los niveles de diseño se calculan para diferentes lugares, como con: exteriores, interiores y dentro del automóvil. Esta intensidad de señal ($SS_{\text{DISEÑO}}$) es calculada como la suma de la intensidad de señal requerida (SS_{REQ}) y varios márgenes que ya hemos tratado. Los niveles de diseño ($SS_{\text{DISEÑO}}$) para cobertura en exteriores y dentro de un automóvil están dadas respectivamente por las siguientes expresiones:

$$SS_{\text{DISEÑO}} = SS_{\text{REQ}} + LNF_{\text{MARG}} \quad (\text{MS en exteriores}) \quad (3.10)$$

$$SS_{\text{DISEÑO}} = SS_{\text{REQ}} + LNF_{\text{MARG}} + CPL_{\text{MARG}} \quad (\text{MS en un auto}) \quad (3.11)$$

donde

$$SS_{\text{REQ}} = MS_{\text{SENS}} + RF_{\text{MARG}} + IF_{\text{MARG}} + BL_{\text{MARG}} \quad (3.12)$$

LNF_{MARG} representa el margen de atenuación log-normal que es necesario para compensar la atenuación log-normal en exteriores. Esta atenuación puede ser representada por su desviación estándar δ_{LNF} y su valor depende del tipo de área. Los valores típicos que se han obtenido a través de simulaciones de δ_{LNF} para exteriores, en diferentes tipos de áreas, son los siguientes

Tipo de área	$\delta_{LNF}[\text{dB}]$
Urbano denso	10
Urbano	8
Suburbano	6
Rural	6

Tabla 3.10. Valores típicos de δ_{LNF} .

En la tabla 3.10 están los niveles de diseño $SS_{\text{DISEÑO}}$ para exteriores en diferentes tipos de áreas y con diferentes requerimientos de cobertura. Para esta tabla se consideró un

margen de pérdida por penetración en automóviles (CPL) de 6 dB, por lo que para el valor de diseño dentro de autos sólo hay que restarle 6 dB.

Tipo de Área	Cobertura [%]	SS _{REQ} [dBm]	LNF _{MARG} [dB]	SS _{DISEÑO} [dBm] exteriores	SS _{DISEÑO} [dBm] dentro de autos
Densamente Urbano $\delta_{LNF} = 10$ dB	75	-96	-3.1	-99.1	-93.1
	85	-96	0.7	-95.3	-89.3
	90	-96	3.2	-92.8	-86.8
	95	-96	6.8	-89.2	-83.2
	99	-96	10.7	-85.3	-79.3
Urbano $\delta_{LNF} = 8$ dB	75	-96	-3.4	-99.4	-93.4
	85	-96	-0.2	-96.2	-90.2
	90	-96	1.8	-94.2	-88.2
	95	-96	4.9	-91.1	-85.1
	98	-96	8.1	-87.9	-81.9
Sub urbano y rural $\delta_{LNF} = 6$ dB	75	-96	-3.7	-99.7	-93.7
	85	-96	-1.2	-97.2	-91.2
	90	-96	0.5	-95.5	-89.5
	95	-96	3.0	-93	-87
	98	-96	5.5	-90.5	-84.5

Tabla 3.11. Niveles de diseño para exteriores y dentro de autos.

La cobertura en interiores tiene que ver con el cálculo de un margen requerido para conseguir una cobertura asegurada en el interior de una construcción con muros que pueden llegar a ser muy gruesos.

El margen de pérdida por penetración en construcciones (BPL_{MARG}) es la diferencia entre la intensidad de señal promedio inmediatamente fuera de la construcción y el nivel de señal promedio inmediatamente dentro de la construcción. La pérdida por penetración en las construcciones está distribuida de forma log-normal con una desviación estándar (δ_{BPL}). Las pérdidas por penetración en las construcciones hacia pisos más altos generalmente decrecen. El nivel de diseño para interiores está dado por

$$SS_{DISEÑO} = SS_{REQ} + LNF_{MARG2} + BPL_{MARG} \quad (\text{MS en interiores}) \quad (3.13)$$

donde la suma de LNF_{MARG2} y BPL_{MARG} se pueden ver como el margen considerado para interiores. LNF_{MARG2} es el margen que considera la atenuación total log-normal, la cual está compuesta por la atenuación log-normal en exteriores (LNF_{MARG}) y la atenuación log-normal en interiores (LNF_{MARG1}). El valor de SS_{REQ} es el mismo que la ecuación 3.12.

Considerando la desviación estándar para cada uno de los márgenes de atenuación log-normal, la desviación total está dada por

$$\delta_{LNF2} = (\delta_{LNF}^2 + \delta_{LNF1}^2)^{1/2} \quad (3.14)$$

En la tabla 3.11 se muestran algunos valores típicos de márgenes de pérdida por penetración en construcciones BPL_{MARG} , y los valores de desviación estándar para diferentes tipos de área. Las áreas rurales no son consideradas en la tabla 3.11 porque éstas no son diseñadas para cobertura en interiores.

Tipo de área	BPL_{MARG} [dB]	δ_{LNF} [dB]	δ_{LNF1} [dB]	δ_{LNF2} [dB]
Densamente urbano	18	10	9	14
Urbano	18	8	9	12
Sub-urbano	12	6	8	10

Tabla 3.12. Valores típicos de BPL y desviación estándar.

Los valores de diseño para interiores se encuentran en la siguiente tabla, para diferentes tipos de áreas con diferentes necesidades de cobertura.

Tipo de Área	Cobertura [%]	SS_{REQ} (dBm)	LNF_{MARG2} (dB)	BPL_{MARG} (dBm)	$SS_{DISEÑO}$ (dBm)
Densamente Urbano $\delta_{LNF2} = 14$ dB	75	-96	-3.2	18	-81.2
	85	-96	1.8	18	-76.2
	90	-96	5.1	18	-72.9
	95	-96	9.9	18	-68.1
	98	-96	15.3	18	-62.7
Urbano $\delta_{LNF2} = 12$ dB	75	-96	-3.1	18	-81.1
	85	-96	1.3	18	-76.7
	90	-96	4.2	18	-73.8
	95	-96	8.4	18	-69.6
	98	-96	13.1	18	-64.9
Sub-urbano $\delta_{LNF2} = 10$ dB	75	-96	-3.1	12	-87.1
	85	-96	0.7	12	-83.3
	90	-96	3.2	12	-80.8
	95	-96	6.8	12	-77.2
	98	-96	10.7	12	-73.3

Tabla 3.13. Niveles de diseño para interiores.

3.5.1. Tamaño de la celda

La pérdida máxima por trayectoria permitida para una celda dentro de una red celular (L_p) puede ser calculada como sigue:

$$L_p = EIRP - SS_{DISEÑO} \quad (3.15)$$

Una vez que la pérdida máxima por trayectoria permitida ha sido calculada, el tamaño de la celda puede ser determinado haciendo uso de nuestra herramienta de predicción TEMS Cell Planner.

Si consideramos los siguientes datos para la altura del móvil y la altura de antenas del sitio,

Equipo	Altura (m)
Móvil	1.5
Antenas	30

Tabla 3.14. Consideraciones de altura.

y los declaramos como datos en la herramienta de predicción, generamos la siguiente tabla, que muestra el radio (R) de las celdas sectoriales y la pérdida máxima por trayectoria (LP) para diferentes tipos de área y para cada uno de los ambientes que pueden ser en exteriores, interiores o dentro de autos.

Clase MS	Área	Exteriores		Dentro auto		Interiores	
		LP(dB)	R(km)	LP(dB)	R(km)	LP(dB)	R(km)
Clase 1 30 dBm (1 W)	Urbano	146.5	2.3	140.5	1.5	125.5	0.6
	Sub-urbano	148.5	4.2	142.5	2.8	133.5	1.6
	Rural	148.5	9.4	142.5	6.4	133.5	3.5
	Area abierta	148.5	17.9	142.5	12.1	133.5	6.7

Tabla 3.15. Tamaño de celdas con 95% de cobertura.

Para el caso de celdas pequeñas (micro celdas), suponiendo las siguientes características:

Equipo	Altura (m)
Móvil	1.5 m
Antenas	22 m

Tabla 3.16. Consideraciones de alturas.

utilizando la herramienta de predicción se obtiene como resultado un radio de la celda $R = 700$ m.

- **Fórmula de Jaque**

Una manera común de calcular el área de cobertura de una celda es utilizar la fórmula de Jaque. En esta fórmula se asume una pérdida radial por trayectoria, con el objeto de estimar el porcentaje del área de una celda con un nivel de señal que exceda cierto umbral. El borde de cobertura correspondiente al área que se quiere cubrir está dado cuando el umbral referido a este es el nivel de señal que el móvil necesita. El margen en dB (LNF_{MARG}) para ir de la cobertura original al 50% en el borde de la celda a un porcentaje dado en el borde, es el resultado de multiplicar x por la desviación estándar, en donde x es la variable en la función normal acumulativa $F(X)$, cuando $F(x)$ tiene el valor del porcentaje de borde dado por las formulas de Jaque. Las curvas de Jaque y la formula $F(x)$ son mostradas en el apéndice C.

3.5.2. Pruebas de aceptación de cobertura

La verificación de un plan celular es hecha realizando mediciones de campo en el sistema. El objetivo es medir la intensidad de señal y estimar si el nivel recibido corresponde al nivel de señal requerido (SS_{REQ}). El equipo adecuado para estas pruebas es el que se describió en la figura 3.3.

El nivel aceptable a verificar es el nivel de señal requerido (SS_{REQ}) para cobertura en exteriores. Este nivel debe ser medido al menos en un número A% de las muestras, donde A representa el área de cobertura requerida. Por ejemplo, podemos extraer de la tabla 3.11 el siguiente valor de intensidad de señal, el cual tendría que ser cumplido durante las pruebas.

Área	Nivel aceptable (SS_{REQ})
Rural al 95% de cobertura	-96 dBm

Tabla 3.17. Criterio para cobertura externa.

El nivel aceptable a verificar es el nivel de intensidad requerido (SS_{REQ}) menos la pérdida por penetración en automóviles (CPL) para cobertura dentro de autos. Este nivel debe ser medido al menos en A% de las muestras, donde A representa el área requerida de cobertura. Extrayendo el dato de la misma tabla 3.11 para cobertura dentro de autos, tenemos el siguiente valor de señal que debe ser cumplido durante las pruebas de aceptación.

Área	Nivel aceptable ($SS_{REQ} - CPL$)
Rural al 95% de cobertura	-90

Tabla 3.18. Criterio para cobertura dentro de autos.

El nivel aceptable para verificar la cobertura en interiores es el valor $SS_{DISEÑO}$ menos el margen de atenuación log-normal para exteriores (LNF_{MARG}) correspondiente a la cobertura deseada (A%). Este valor debe ser medido al menos en A% de las muestras. Tomando los datos de las tablas 3.9 y 3.13, el nivel que se debe cumplir es el siguiente.

Área	Nivel aceptable, $SS_{DISEÑO} - LNF_{MARG}$ (dBm)
Urbana al 95% de cobertura	-75

Tabla 3.19. Criterio para cobertura en interiores.

3.6. PARÁMETROS DE RADIO DE LA RED CELULAR

La definición de los parámetros de radio de la red celular es el paso final en el diseño de la misma. Cada celda debe tener un número de parámetros específicos que marcarán su desempeño dentro de la red. Los parámetros pueden ser divididos en

cuatro diferentes categorías:

- Datos comunes de las celdas. Por ejemplo: identidad de la celda, configuración de la potencia, número de canales por celda, etc.
- Información de la celda vecina. Por ejemplo: relación con las celdas vecinas, histéresis para el *handover*, el umbral para decidir cuándo hace el *handover*, etc.
- Comportamiento del móvil cuando está sin llamada y con llamada. Por ejemplo: mensaje de búsqueda hacia el móvil, actualización de la ubicación del móvil, criterio de intensidad de la señal para mantener la llamada, umbral de calidad durante la llamada, etc.
- Características de los parámetros de control. Por ejemplo: para salto en frecuencia, control dinámico de potencia de móvil y de la BTS, etc.

Hay un gran número de parámetros de radio que permiten gran flexibilidad de la red celular y la posibilidad para controlar diferentes problemas y situaciones. Es importante señalar que la correcta optimización de estos parámetros y los cambios adecuados al diseño implementado es la forma de mantener un buen desempeño de la red una vez que ésta se encuentre operando.

Ahora ya hemos tratado todos los puntos que se deben de considerar durante el diseño de una red celular, que como vimos no sólo involucra parámetros del sistema, sino condiciones de la interfaz aérea y características de los equipos que se vayan a instalar.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN

Cuando una red celular está en operación, se necesitan resolver los problemas que se presentan, como son: llamadas caídas, falta de cobertura, mala calidad, entre otros; en este capítulo describiremos los procedimientos propuestos para resolver cada uno de estos problemas y mantener así un buen desempeño de la red.

4.1. OPTIMIZACIÓN INICIAL

El propósito de la optimización inicial es asegurar que cualquier problema de RF que afecte el servicio y que haya permanecido en la red después de la integración de los sitios, sea rectificado antes del lanzamiento comercial de estos. El proceso de IT (Initial Tuning, Ajuste Inicial) se lleva a cabo dividiendo la ciudad que se va a lanzar comercialmente en grupos de celdas, llamados *cluster*. El trabajo de ajuste inicial se centra principalmente en las siguientes actividades:

- Verificar la cobertura de radio en los *clusters* con niveles de señal RxLev (Reception Level, Nivel de recepción).
- Verificar la calidad de radio mediante niveles de RxQual (Reception Quality, Calidad en la recepción) y SQI (Speech Quality Index, Índice de calidad de voz).
- Verificar el funcionamiento del proceso de asignación de canales de tráfico para cuando un móvil desea establecer una llamada.
- Verificar el desempeño de *handover*.

- Identificar zonas con huecos de cobertura para que se evalúe si es necesario instalar otro sitio que cubra esa zona.
- Problemas de *feeder* cruzados que provoca que los sectores estén radiando en otra dirección diferente a la del diseño. Por ejemplo, si en el sector A y B los *feeders* están cruzados, entonces cuando estemos parados físicamente frente al sector A, el teléfono estará recibiendo la información correspondiente del sector B y viceversa.
- Detectar las diferencias de inclinación mecánica o eléctrica y la orientación de las antenas con respecto al diseño.
- Asegurar que los planes de frecuencia estén correctamente asignados.
- Detectar problemas de interferencia.
- Verificar que las llamadas no se vean interrumpidas debido a las malas condiciones de radio.

El diagrama de flujo de la figura 4.1 muestra el proceso que se recomienda seguir durante el ajuste inicial. Una descripción general para cada una de las etapas de este procedimiento es la siguiente:

Paso 1. Preparativos iniciales. Aquí se verifica el valor adecuado de los parámetros de radio definidos en la BSC y se recolectan documentos con información importante de la red.

Paso 2. Personal, equipo y automóvil. Se reúnen los recursos humanos y materiales necesarios para poder hacer las pruebas de campo.

Paso 3. Recorrido. Aquí es donde se realizan las pruebas de campo verificando las condiciones de radio.

Paso 4. ¿Problema encontrado? Si no se encontró ningún problema pasamos al paso 5 y si se encontraron problemas pasamos al paso 10.

Paso 5. Reporte por *cluster*. Se genera un primer reporte por *cluster* donde se plasma toda la información generada del recorrido, tal como nivel promedio de señal, niveles de interferencia, etc.

Paso 6. Recorrido general. Se hace nuevamente el recorrido pero pasando por todos los *clusters* de la ciudad para verificar su correcta interacción.

Paso 7. Reporte final. Se genera un reporte final para todos los *cluster*.

Paso 8. ¿Cluster aprobado? Si los *clusters* son aceptados en cuanto a niveles de cobertura y calidad, entonces pasamos al paso 9, en caso contrario pasamos al paso 10.

Paso 9. Lanzamiento comercial. Se lanza comercialmente la ciudad integrada por el grupo de *clusters*.

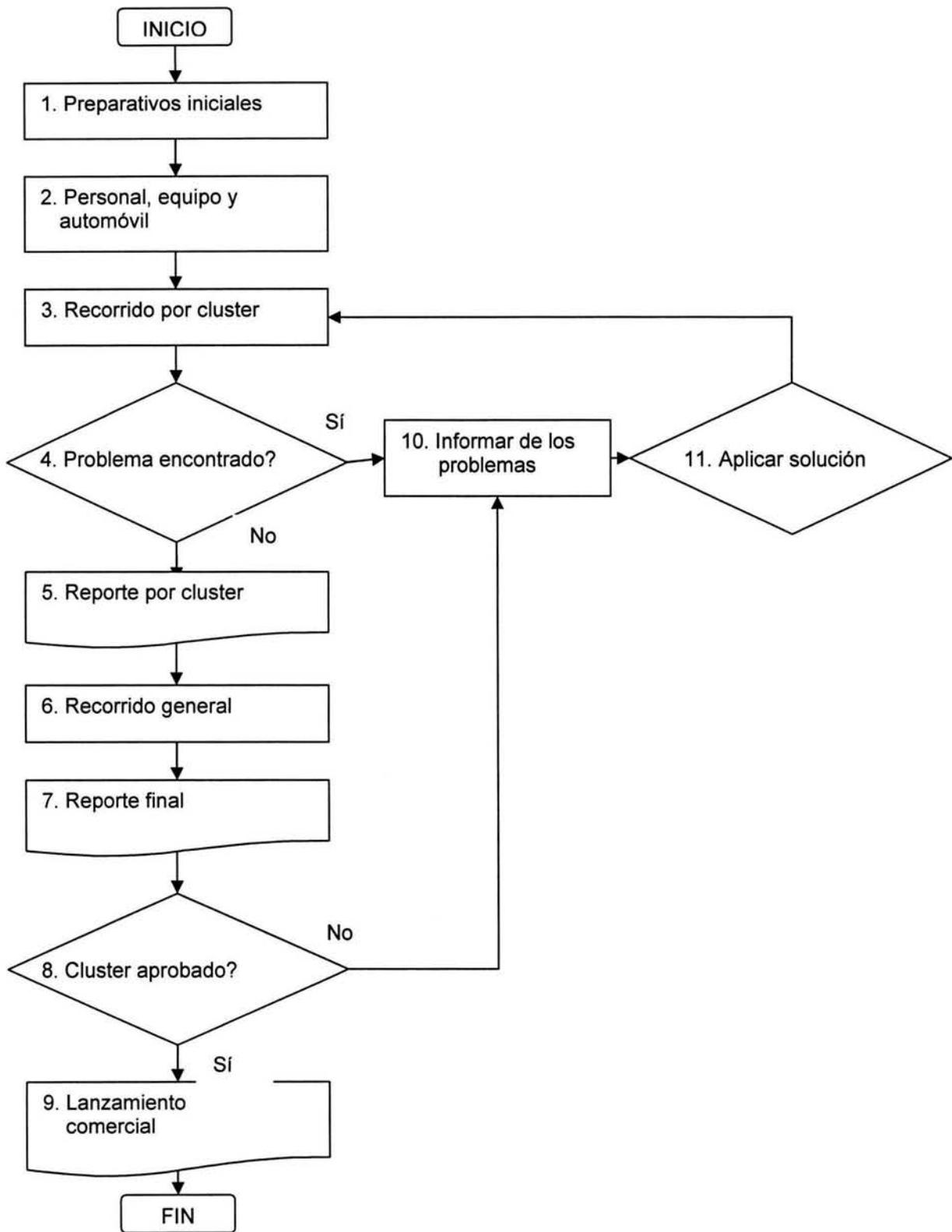


Figura 4.1. Diagrama de flujo para la optimización inicial.

Paso 10. Informar de los problemas. Se informa al COG (Central Optimization Group, Grupo de optimización central) y al NOM (Network Operation and Maintenance, Operación y mantenimiento de la red) de los problemas encontrados.

Paso 11. Aplicar solución. Se determina la solución más adecuada ya sea por el COG o por el NOM dependiendo del tipo de problema y se implementa y regresamos al paso 3.

El ajuste inicial es de gran importancia, puesto que de los resultados obtenidos dependerá si la ciudad es lanzada o no comercialmente, por lo que es necesario describir de manera más detallada las actividades que se tienen que hacer durante esta etapa.

4.1.1. Verificación de hardware y software

Antes de comenzar las pruebas de campo deben ser verificadas las siguientes condiciones por el personal a cargo de la Implementación y del Sistema de *switch* y operación:

- Todas las BTS en el *cluster* deben estar probadas y dadas de alta en el sistema. Este trabajo se hace inmediatamente después de que el sitio se ha instalado. El personal que opera el Sistema de *switch* se encarga de dar de alta la BTS en el sistema y de cargar de forma remota todo el software necesario, así como la asignación del valor de los parámetros requeridos para su operación. Después de esto, se debe probar la accesibilidad de los móviles a la red en cada uno de los sectores de la BTS, así como el *handover* entre los mismos. Las pruebas de *handover* y de accesibilidad se hacen a pie de torre donde se encuentran instaladas las antenas.
- Las celdas deben estar activas y sin el atributo de bloqueo de tráfico, que no permite el establecimiento de llamadas a pesar de que el sitio esté radiando.
- No deben existir alarmas de *hardware* o *software* en el sitio, tales como un alto VSWR, fallas de alimentación externa, falla en los radios, falla en el CDU, fallas en el aire acondicionado, etc.
- Verificar que no existan trabajos pendientes en el sitio que puedan afectar la operación del mismo.
- Todos los sistemas de la red celular deben estar operando correctamente.
- Se hace una verificación del valor de los parámetros que se encuentran en el sistema contra lo que se pidió por diseño.
- Los parámetros de radio deben ser corregidos en caso de encontrar alguna inconsistencia.
- Hacer una auditoría al 100% de los sitios si es posible, de lo contrario habrá que elegir una muestra al azar para verificar la confiabilidad de lo que se instaló en sitio contra lo que se pidió por diseño.

4.1.2. Documentación y rutas de evaluación

Además se debe de preparar toda la documentación con la información que nos servirá de apoyo para realizar las pruebas de campo, así como la ruta que se debe seguir durante el recorrido. La información que se debe obtener es la siguiente:

- Lista de los sitios que se van a probar.
- Lista con la dirección y coordenadas de cada sitio.
- Lista de las vecindades para cada celda.
- Lista con la asignación de los canales para cada celda.
- Lista con el BSIC para cada celda.
- Lista con la configuración de las antenas (orientación, inclinación y altura) para cada celda.
- Lista con las características del equipo que se encuentra instalado en sitio.
- Mapas de la zona que se va a probar.

Para hacer las pruebas de campo se necesita establecer previamente una ruta para seguirla durante el recorrido. La planeación de la ruta se determina básicamente con el objetivo de poner a prueba el funcionamiento de los *handover* y verificar los niveles de cobertura en toda el área. Los criterios que se toman en cuenta para la planeación de las rutas son:

- La ruta debe pasar a través de todas las celdas en el *cluster*.
- La ruta debe pasar por todas las áreas de mayor tránsito de personas y automóviles.
- La ruta debe ser planeada de manera que se realice la mayor cantidad de *handovers* entre celdas. Todos los bordes entre diferentes áreas de localización y diferentes BSC deben ser probados también.

Las rutas pueden ser muy densas o no dependiendo del tipo de área que se va a evaluar. Los diferentes tipos de áreas están clasificadas como densamente urbanas, urbanas, suburbanas y rurales. Para las áreas densamente urbanas la ruta puede pasar cada dos calles, en áreas urbanas la ruta puede pasar cada tres calles, y en áreas suburbanas y rurales la ruta puede pasar cada cuatro calles.

4.1.3. Recursos humanos y materiales

Se requiere la cooperación de tres personas para llevar a cabo las pruebas de campo, cada una con una función específica durante el recorrido. Estas tres personas tienen los siguientes cargos:

- Operador del recorrido.
- Conductor.
- Operador del sistema de operación y conmutación.

Durante las pruebas de campo, el operador estará a cargo de llevar tanto la ruta del recorrido como la detección de los problemas de radio que encuentre con su equipo de medición. El conductor estará únicamente encargado de manejar el vehículo en el que se harán las pruebas. El encargado del Sistema de Operación y Conmutación asistirá durante el recorrido desde su oficina al operador en campo, para proveerle información sobre los parámetros de red o también para implementar un cambio solicitado por este último.

Los recursos materiales o el equipo necesario para hacer las pruebas de campo son:

- Un automóvil.
- Una computadora portátil con el software para hacer las mediciones en campo. Existen dos herramientas usadas para nuestro proyecto: TEMS *Investigation* de Ericsson y Comarco del fabricante Comarco *Wireless*.
- GPS con salida para el puerto serial y una antena externa.
- Tarjeta PCMCIA con puertos seriales.
- Números de prueba que se realizan en el recorrido.
- Un teléfono con una SIM de prueba.
- Cable de teléfono para conectarlo a la PC
- Inversor de DC/AC para alimentar la computadora portátil.
- Antena externa para teléfono celular, si el operador de la red desea evaluar la red de esta manera.
- Mapas de la zona para cargarlos en la computadora.
- Mapas de predicciones de cobertura para cargarlos en la computadora.

La conexión del equipo es como muestra la figura 4.2 y éste debe ser montado en el interior del auto que se vaya a utilizar.

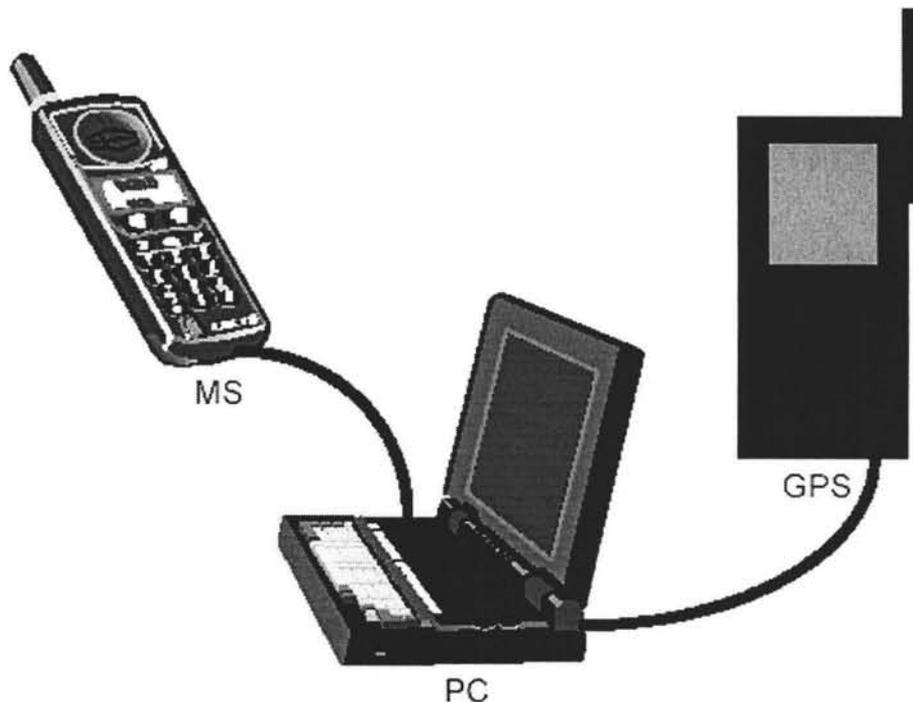


Figura 4.2. Conexión del equipo de pruebas.

4.1.4. Pruebas de campo

Previamente al inicio de la prueba se debe hacer la conexión del equipo y verificar que éste funcione correctamente, ya que en ocasiones cualquier dispositivo puede llegar a dañarse, lo que provocará retrasos durante la prueba. Al iniciar el recorrido, se debe hacer una llamada marcando al número de prueba que ha sido dado previamente por el operador; a través de esta llamada, el teléfono normalmente estará recibiendo música o un tono.

Si durante el recorrido la llamada se interrumpe totalmente debido a las malas condiciones de radio, entonces se tendrá que hacer nuevamente la llamada para poder continuar con el recorrido. La herramienta que estaremos usando para este proyecto es TEMS *Investigation* de Ericsson. Existen siete puntos que deben ser verificados en todo momento durante el recorrido:

1. *Ruta de la prueba*. La ruta que fue acordada previamente entre el operador y el proveedor del servicio, se debe de respetar durante el recorrido para evitar posteriores malentendidos, ya que la ruta se planeó de acuerdo a las zonas de interés del operador.
2. *Niveles de intensidad de señal (RxLev)*. El móvil estará en todo momento midiendo las condiciones de radio en el enlace de *downlink* y por lo tanto también el nivel de intensidad de señal. Los niveles de intensidad de señal estarán cambiando constantemente conforme se avance en el recorrido y es necesario clasificarlo de acuerdo al nivel de atenuación que mide el móvil. Podemos tomar en cuenta la siguiente clasificación para evaluar los niveles de cobertura:

- 30 dB < RxLev < - 70 dB	muy bueno
- 70 dB < RxLev < - 80 dB	bueno
- 80 dB < RxLev < - 90 dB	regular
- 90 dB < RxLev < - 110 dB	malo

3. *Niveles de interferencia (C/A, C/I)*. Existen dos niveles que tenemos que estar monitoreando referentes a la interferencia: uno para la interferencia adyacente y otro para la interferencia co-canal. Para la interferencia adyacente tenemos la siguiente clasificación:

C/A > 3 dB	bueno
C/A < 3 dB	malo

Y para la interferencia co-canal tenemos la siguiente clasificación:

C/I > 12 dB	bueno
C/I < 12 dB	malo

4. *Niveles de índice de calidad de voz (SQI)*. Esta medición es relativa y sólo es un índice numérico que nos dice si la calidad de voz es buena, regular o mala. Esta escala está basada solamente en pruebas de percepción por parte de los usuarios y únicamente es un indicativo de que tan bien o mal se escucha la llamada. La asignación numérica que se utiliza es totalmente arbitraria y es la siguiente:

20 < SQI < 30	bueno
10 < SQI < 20	regular
0 < SQI < 10	malo

5. *Niveles de calidad de recepción (RxQual)*. Este índice se refiere al porcentaje de bits erróneos que están llegando al móvil, por ejemplo para un RxQual de 2 significa que el 2% de los bits están llegando erróneos, lo cual se puede reflejar como una mala calidad en las llamadas. La clasificación para este indicador es:

0 < RxQual < 3	bueno
3 < RxQual < 5	regular
5 < RxQual < 7	malo

6. *Desempeño de handover*. Durante la prueba se realizarán un gran número de *handovers* entre las celdas, pero en ocasiones debido a las malas condiciones de radio no se podrán llevar a cabo completamente y entonces en este caso, se dice que se presentó un *handover* fallido.

7. *Llamadas caídas*. Debido a los altos niveles de interferencia y bajos niveles de cobertura, se pueden presentar problemas con la calidad de la llamada, lo cual en la mayor parte de los casos provocará que la llamada se vea interrumpida completamente, entonces se dice que se presentó una llamada caída. Dependerá entonces de las condiciones de radio de la red que se presenten pocas o muchas llamadas caídas durante las pruebas. Se recomienda identificar durante el recorrido las zonas en las que se caen las llamadas para analizarlas.

8. *Accesos aleatorios fallidos*. Al inicio de la prueba y cuando se presente una llamada caída en el recorrido, necesitamos marcar al número de prueba; pero en algunos casos, por las malas condiciones de radio, no será posible establecer la llamada al primer intento. En este caso, tendremos que intentarlo una y otra vez hasta lograrlo. Es importante marcar las zonas en las que ocurre este problema para analizar posteriormente la causa del mismo.

Todas las mediciones que hace el equipo, son grabadas en archivos en el disco duro de la PC, lo que permitirá no solamente hacer un análisis durante el recorrido, sino también en la oficina al reproducirlos con la misma herramienta.

4.1.5. Análisis y reporte

El análisis de las pruebas se puede hacer durante o después del recorrido. Para problemas sencillos que se pueden resolver durante el recorrido, se recomienda hacerlo en ese momento y verificar inmediatamente si la solución implementada resolvió el problema. Los problemas sencillos que se pueden presentar durante las pruebas son la falta de relaciones de vecindad, mala definición del BSIC de la celda, asignación errónea de la frecuencia del canal de transmisión, celdas o sitios apagados, entre otros.

El análisis más completo se realiza en la oficina donde se detectan los problemas más grandes y que afectan a gran escala el desempeño de la red. Se pueden detectar problemas de interferencia, en cuyo caso, se tendrá que hacer una evaluación de cuál es la celda que está provocando el problema y buscar otra frecuencia para asignársela y evitar que siga interfiriendo a otras dentro de la red. También se pueden encontrar huecos de cobertura, los cuales podrían estar justificados por las predicciones que nos

generó previamente la herramienta; en cuyo caso, no habrá ningún problema, puesto que por diseño ya se esperaba que los niveles de intensidad de señal fueran bajos en esa zona. Si se encuentran zonas con bajos niveles de cobertura en lugares que no deberían de estar así, habrá que evaluar un posible cambio en la orientación o inclinación de la antena que esté cubriendo esa zona para mejorar la cobertura. Sin embargo, podría ser que a pesar de un posible cambio no mejoren las cosas, pues puede darse el caso de que la línea de vista de la antena esté muy obstaculizada. Los problemas de interferencia y baja cobertura tendrán como consecuencia llamadas caídas y *handover* fallidos, lo cual si no es solucionado será percibido por el usuario como una red con mala calidad. Para cuando se pretenda hacer un cambio de frecuencia y orientación o inclinación de las antenas, se debe hacer la predicción en la herramienta que estamos usando para estas tareas.

Otro problema que se puede presentar son los *feeder* cruzados, que como habíamos explicado provocará que las celdas estén rotadas o intercambiadas. Es decir, si detectamos mediante el equipo de medición que cuando estamos parados frente a la celda A, el teléfono está leyendo las características de la celda B y viceversa, entonces podemos concluir que los sectores A y B están cruzados. Este problema es un problema de instalación que se presenta muy pocas veces, pero habrá que tener mucho cuidado, pues si no son detectados puede provocar problemas de interferencia o de *handover* fallidos. Cuando se tienden los seis *feeders* que van hacia las antenas, dos para cada sector, el error está que cuando toman el par de *feeders* correspondientes al sector A no lo conectan a la antena del sector A, sino que lo conectan a la antena del sector B y el par de *feeders* correspondiente al sector B, los conectan en la antena del sector A; esto provoca que los sectores A y B estén cruzados. Este mismo problema puede presentarse pero para los tres sectores, en cuyo caso se dice que los sectores están rotados.

También pueden presentarse problemas de hardware o incluso de software, en cuyo caso la solución del problema llevará mucho más tiempo. Las fallas más comunes de hardware son radios o CDU dañados y en este caso, habrá que esperar a que la gente de instalación haga el reemplazo de la unidad, lo cual lleva tiempo pues normalmente hay que esperar a que lo envíen de la bodega hasta la ciudad donde se presentó la falla. En las fallas de software, algunas veces es suficiente con volver a cargar la misma versión de manera remota, pero en otras hay que hacer una actualización, lo cual también tomará algo de tiempo. Además, se pueden presentar problemas de esta misma clase pero en el OSS (Operating and Support System, Sistema de operación y soporte) que es la base de datos en la que está soportada toda la red celular.

Una vez que las soluciones hayan sido implementadas por la gente a cargo, se debe hacer nuevamente un recorrido al menos por las zonas en las que se presentaron los problemas para verificar que estos han sido erradicados.

Los resultados de nuestro análisis deben ser plasmados en papel mediante un reporte. En éste, tendremos que mencionar todos los problemas encontrados y cuál fue su solución implementada o bien si quedó algo pendiente totalmente ajeno a nosotros. Para nuestro reporte tendremos que auxiliarnos de un programa que nos permita mostrar gráficamente los mapas de los recorridos y de las zonas donde encontramos

los problemas, este programa es *MapInfo*. Cada reporte debe incluir los siguientes gráficos:

- Nivel de intensidad de señal. Mostrar los diferentes niveles de señal encontrados de acuerdo a la clasificación que ya hicimos, cada uno con diferente color.
- Nivel de calidad de voz. De la misma forma se utilizará la clasificación dada para distinguir los niveles usando diferentes colores.
- Localización de los accesos fallidos y las llamadas caídas. Ubicar mediante algún símbolo el lugar donde se presentaron estos problemas.
- Localización de *handover* fallidos. Ubicar en el mapa con un símbolo el lugar donde ocurrió el problema.

Obviamente todas estas muestras estarán de acuerdo a la ruta que se haya seguido durante las pruebas. También los archivos que se encuentran en el disco duro generados por la herramienta de medición, deben ser agregados al reporte para ser consultados en cualquier momento. Se recomienda nombrar estos archivos de acuerdo a la ciudad, cluster y fecha en que fueron hechos.

4.1.6. Criterio de aceptación de ciudades

La aceptación de la ciudad para que sea lanzada comercialmente depende de que cualquier usuario pueda tener acceso a la red en cualquier lugar y a cualquier hora, además de que la llamada se mantenga con buena calidad y que ésta se termine pero cuando el usuario lo decida.

Normalmente, una vez que se han terminado los trabajos del ajuste inicial por parte de quien presta el servicio, el operador hace una última evaluación para decidir si la red celular que se instaló está lista para ofrecerla al público. En esta prueba se evaluarán cada uno de los aspectos que hemos mencionado, ocupando de igual forma un equipo de medición, aunque normalmente lo hacen con un equipo de otro fabricante para tener dos diferentes puntos de vista.

4.2. OPTIMIZACIÓN PERMANENTE

Una vez que una red celular se encuentra operando, el sistema genera estadísticas, mostrando todos y cada uno de los problemas que se presentan dentro de ella. Las estadísticas las podemos observar a nivel de celda, de ciudad, de BSC o de MSC. Para cada uno de estos niveles es posible ver cuáles son las celdas con un peor desempeño. Existe una serie de indicadores llamados KPI (Key Performance Indicators, Indicadores claves de desempeño) que son la base para el control del buen desempeño de la red celular. Cada uno de estos indicadores está midiendo el desempeño para cada uno de los siguientes eventos:

1. Accesos aleatorios.
2. Disponibilidad de canal de tráfico.
3. Llamadas caídas.
4. Índice de calidad de voz.
5. Congestión.

6. *Handover*.

Cada uno de estos eventos es susceptible de tener problemas muy serios, ocasionando que el desempeño de la red sea muy bajo. Cuando un usuario intenta hacer una llamada, el teléfono hace una petición a la red mediante un acceso aleatorio indicándole al sistema que quiere establecer una llamada. Si por alguna razón el proceso del establecimiento de la llamada se ve interrumpido durante la etapa de acceso a la red, entonces las estadísticas se incrementarán contabilizando un acceso aleatorio fallido.

Cuando se hace la planeación de la capacidad de una red celular, se determina la cantidad de canales de tráfico que tendrá cada celda. Este número de canales de tráfico siempre debe estar disponible para ser usados en su totalidad si así se requiere. En ocasiones, llegan a presentarse problemas con los radios y no serán capaces de trabajar adecuadamente, estas fallas pueden ser en el hardware o software. Entonces si existe alguna falla en el radio, los canales de tráfico no estarán disponibles y habrá servicio denegado.

Tal y como lo describimos en el capítulo 2, el procedimiento para establecer una llamada involucra el uso de un canal de señalización previamente a la asignación del canal de tráfico. Cuando el móvil está haciendo uso del canal de señalización (SDCCH), el enlace en este momento también es susceptible a problemas como interferencia o bajos niveles de señal, ocasionando que la conexión se pierda; si esto ocurre, se dice que se presentó una llamada caída en el canal de señalización. Si la llamada progresa y se asigna el canal de tráfico, el enlace de esta llamada también puede sufrir los mismos problemas, en cuyo caso se dice que ocurrió una llamada caída en el canal de tráfico.

Durante el desarrollo de una llamada, el enlace está expuesto a diferentes problemas como la interferencia y bajos niveles de cobertura, provocando mala calidad en la llamada. El sistema por sí mismo ante este evento, le indica al móvil que abandone la celda en la que tiene problemas y haga el *handover* a otra que le ofrezca mejores condiciones de radio. La mala calidad en las llamadas se presenta principalmente por el mal diseño del plan de frecuencias, en cuyo caso habrá que hacer el estudio apropiado y hacer los cambios pertinentes sobre el plan actual. En otras ocasiones, la mala calidad en las llamadas se puede deber a problemas de interferencia externa provocada por fuentes externas. En México, son muy comunes este tipo de problemas principalmente causados por enlaces de comunicaciones de TELMEX y PEMEX.

Para cuando el enlace entre el móvil y la BTS presenta problemas de interferencia o simplemente cuando el móvil va hacer el cambio de celda, debido a que ya se encuentra en el área de cobertura de otra celda diferente (encuentra una mejor servidora), es necesario llevar a cabo el *handover*, éste puede no llevarse a cabo completamente ya sea por problemas de interferencia o bien porque la celda a la cual iba a cambiar tiene todos sus canales de tráfico ocupados. En ocasiones, el móvil es capaz de regresar a la celda anterior abandonando el intento de *handover*, en este caso, se dice que hubo un *handover* fallido, pero para cuando el móvil ya no es capaz de regresar a la celda anterior y se pierde la llamada, entonces se dice que hubo un *handover* perdido.

Hay zonas que los operadores ya tienen ubicadas como de mucha afluencia de personas, tal como restaurantes, centros de espectáculos, cines, centros deportivos, etc.; en donde muy probablemente los canales de tráfico de las celdas que dan cobertura a estas áreas siempre estarán ocupados. Si esta ocupación de los canales de tráfico se incrementa, de tal manera que la capacidad de la celda ya no es suficiente para atender a tal cantidad de usuarios, se dice que la celda está congestionada. En este caso, será necesario evaluar la pronta expansión de la capacidad del sitio o bien si además de esto se presentan bajos niveles de cobertura, se puede evaluar la opción de un sitio nuevo.

Para la optimización de una red celular es necesario que los grupos COG y NOM se encarguen en forma conjunta de la operación, mantenimiento y optimización de la nueva red. El primer grupo está formado por gente con conocimientos tanto en diseño como en optimización de redes GSM, el segundo grupo es la gente que se encarga del monitoreo y mantenimiento de la red, principalmente referido a la parte de hardware y software.

A continuación describimos los procedimientos que se recomienda seguir para cuando los KPI's estén presentando un bajo desempeño. Las recomendaciones en común para cada procedimiento son filtrar las 10 peores celdas con el mayor impacto en la red y comprobar que el número de muestras tomadas es el suficiente para describir perfectamente el desempeño de cada celda.

4.2.1. Acceso aleatorio

La figura 4.3 muestra el diagrama de flujo del procedimiento que se debe seguir para resolver los problemas de acceso aleatorio. Una tasa muy alta de falla en el RA (Random Access, Acceso aleatorio) deteriora el desempeño de la red celular y por lo tanto debe ser minimizada. Este procedimiento describe como puede analizarse y resolverse este problema.

- **Descripción del procedimiento**

El proceso para eliminar este problema es el siguiente:

1. Elegir una de las celdas con peor desempeño en acceso aleatorio de la lista que genera el sistema.
2. Verificar que la confiabilidad de los datos sea mayor al 90%. Antes de empezar con el análisis de las estadísticas hay que comprobar si la información es confiable. Es decir, si el número de muestras que se tienen es lo suficientemente alto como para mostrar realmente el desempeño que tiene la celda.
3. Verificar el parámetro MAXTA (MAXimum Timing Advance, Desplazamiento máximo en el tiempo). Verificar el valor del parámetro MAXTA de la celda y comprobar la localización del sitio. MAXTA define la distancia máxima a la que puede estar el móvil de la BTS para que la red le pueda seguir dando servicio, si

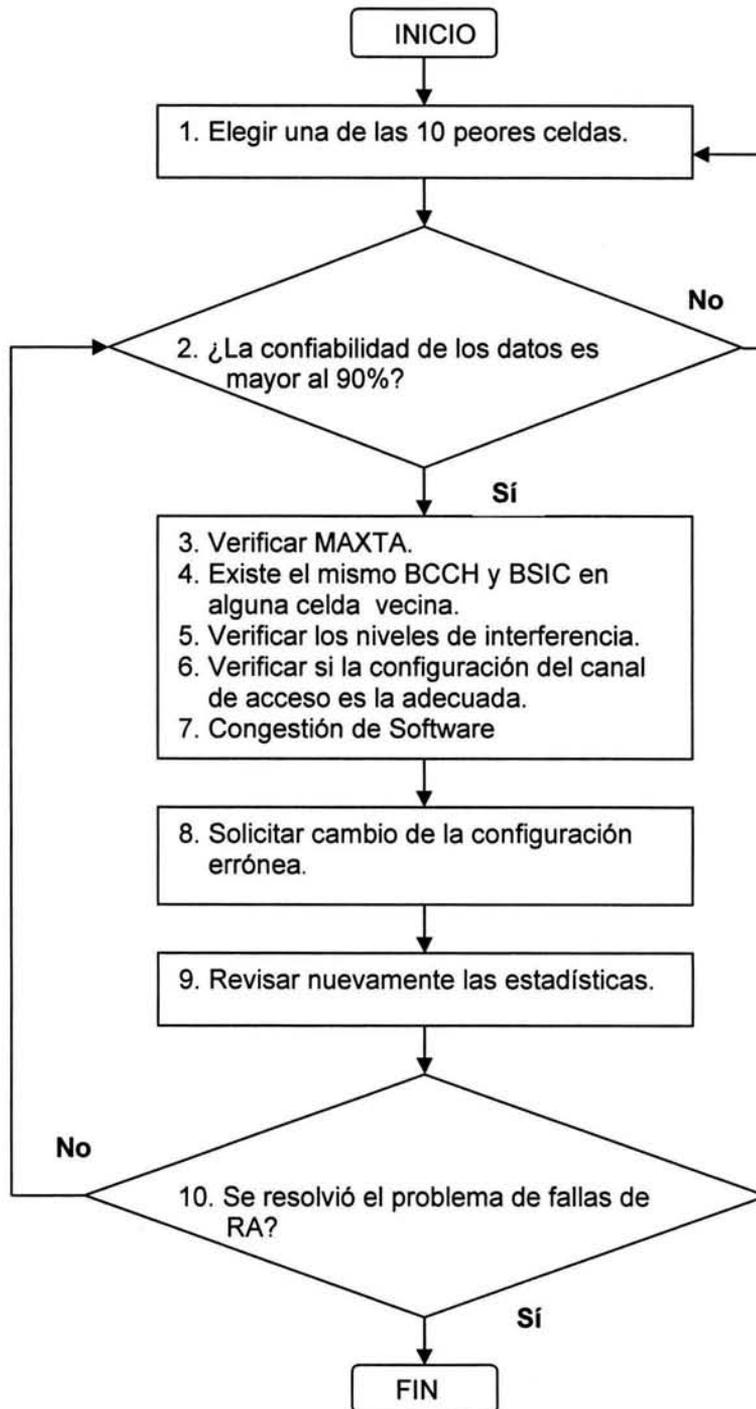


Figura 4.3. Procedimiento de optimización de acceso aleatorio fallido.

el móvil excede esta distancia entonces será desconectado de la red o bien pasará a otra celda en la cual no exceda este valor. Entonces para cuando el móvil intenta hacer un acceso a la red, éste verifica inmediatamente el valor de su TA que tiene en ese punto y si es mayor que MAXTA entonces ni siquiera puede llevar a cabo la petición de acceso a la red, lo cual será contabilizado como un acceso fallido. El valor estándar para MAXTA es de 63, lo que equivale aproximadamente a 32 km. Esto significa que si el móvil se encuentra a más de

32 km de la BTS, entonces se presentará un acceso aleatorio fallido. Si este parámetro tiene un valor menor, hay que ajustarlo al valor recomendado. En ocasiones los sitios se encuentran en zonas muy altas tales como un cerro y tienen demasiada cobertura aunque con niveles muy bajos; en este caso, se debe considerar inclinar las antenas o reubicar el sitio en una zona más baja si es posible.

4. Mismo BCCH y BSIC en celdas vecinas. Hay que comprobar que ninguna celda vecina a la celda en la que tenemos problemas de acceso aleatorios, tenga la misma combinación de BSIC y BCCH. Se recomienda de hecho, que ninguna celda dentro de una misma ciudad tengan la misma combinación a pesar de que estén varios kilómetros separada una de la otra. Si acaso llegasen a existir dos celdas con la misma combinación, entonces en el momento en el que el móvil intente hacer el acceso no podrá diferenciar exactamente con que celda tiene que llevar a cabo el proceso. Hay que recordar que el móvil reconoce a cada celda precisamente por esta combinación, es decir esta combinación forma parte del "nombre" de cada celda dentro de una red celular. Si se presenta el caso de que esta combinación se repite en dos o más celdas, entonces habrá que cambiar ya sea el canal para el BCCH o bien el BSIC de la celda; la forma más práctica de solucionar esto es cambiar el BSIC. Hay que considerar que el BSIC está formado por dos dígitos y cada uno de ellos solamente puede tomar por estándar los valores del 0 al 7.
5. Verificar el nivel de interferencia. Hay que verificar si la celda tiene altos niveles de interferencia y si es así, hacer el cambio pertinente del BCCH en la celda que esté ocasionando los problemas.
6. Configuración del canal de acceso. Hay que verificar si los canales de señalización han sido correctamente configurados.
7. Congestión de software. En ocasiones se puede llegar a presentar un problema de congestión del software en la BSC, lo que disminuye la capacidad de la misma para atender a todas las celdas que se encuentran conectadas a ésta. Este problema es competencia de la gente encargada del NOM y la solución es incrementar la base de datos del software.
8. Solicitar cambios. Una vez que se ha detectado el problema se debe de solicitar el cambio a la gente encargada de hacerlos. Se recomienda llevar el control de todos estos cambios mediante el llenado de un formato donde se especifique quién y qué cambio solicita.
9. Analizar estadísticas. Después de que se haya implementado el cambio, es necesario esperar un par de días para que se generen más estadísticas que contemplen esos cambios y se pueda tomar la decisión de si el cambio fue el apropiado.

10. ¿Se resolvió el problema? Si las estadísticas muestran que el problema ha sido resuelto, se continúa con el análisis de la siguiente celda, pero si no, entonces habrá nuevamente que empezar y buscar otra posible causa.

En ocasiones, la primera solicitud de cambios puede mejorar el desempeño de accesos aleatorios a un nivel aceptable, pero en algunos casos el procedimiento de investigación y cambio de parámetros debe ser repetido una y otra vez.

- **Acceso aleatorio fantasma**

El fenómeno de acceso aleatorio fantasma es un fenómeno que se presenta en las redes de telefonía celular inmediatamente después de que se han instalado los sitios y aún no tienen tráfico.

Cuando el tráfico es muy bajo o casi nulo en las celdas, éstas no tienen muchos accesos por parte de los móviles. La mayor parte de la señal recibida es ruido que se encuentra en el ambiente y en ocasiones los radios de la BTS pueden llegar a interpretarlo como un intento de acceso. Cada que vez que se hace un acceso a la red, el móvil debe enviar una secuencia ordenada de bits con lo que se logrará todo el proceso de asignación del canal de tráfico. Cuando los radios detectan el ruido, confundiéndolo con un intento de acceso, tratan de verificar la secuencia de bits pero se dan cuenta de que no es la correcta e inevitablemente el sistema contabiliza este intento como un acceso fallido. Una forma de contrarrestar este problema es disminuyendo la sensibilidad de la BTS, pero también se corre el riesgo de negarle el acceso a los móviles que se encuentren lejos y que realmente quieren tener acceso a la red. Otra forma es introducir filtros más selectivos pero se corre el mismo riesgo que con la solución anterior. Por fortuna, este problema sólo se presenta en una red mientras no hay suficiente tráfico, pero una vez que se lanza la ciudad comercialmente y empieza a generarse tráfico, este problema desaparece, pues el porcentaje de accesos reales comparado con el número de accesos fantasmas es mucho mayor.

4.2.2. Disponibilidad del canal de tráfico

En ocasiones se puede llegar a presentar por alguna razón la indisponibilidad de los canales de tráfico, lo cual provocará que el servicio sea negado al usuario. Esto sin duda, provocará un gran problema pues el operador puede estar perdiendo demasiado dinero al negarles el servicio a los usuarios. La figura 4.4 muestra el procedimiento que se recomienda seguir para resolver este problema.

- **Descripción del procedimiento**

La descripción para cada una de las etapas del procedimiento para resolver el problema de la indisponibilidad de los canales de tráfico es la siguiente:

1. Seleccionar una de las 10 peores celdas con menor disponibilidad del canal de tráfico.

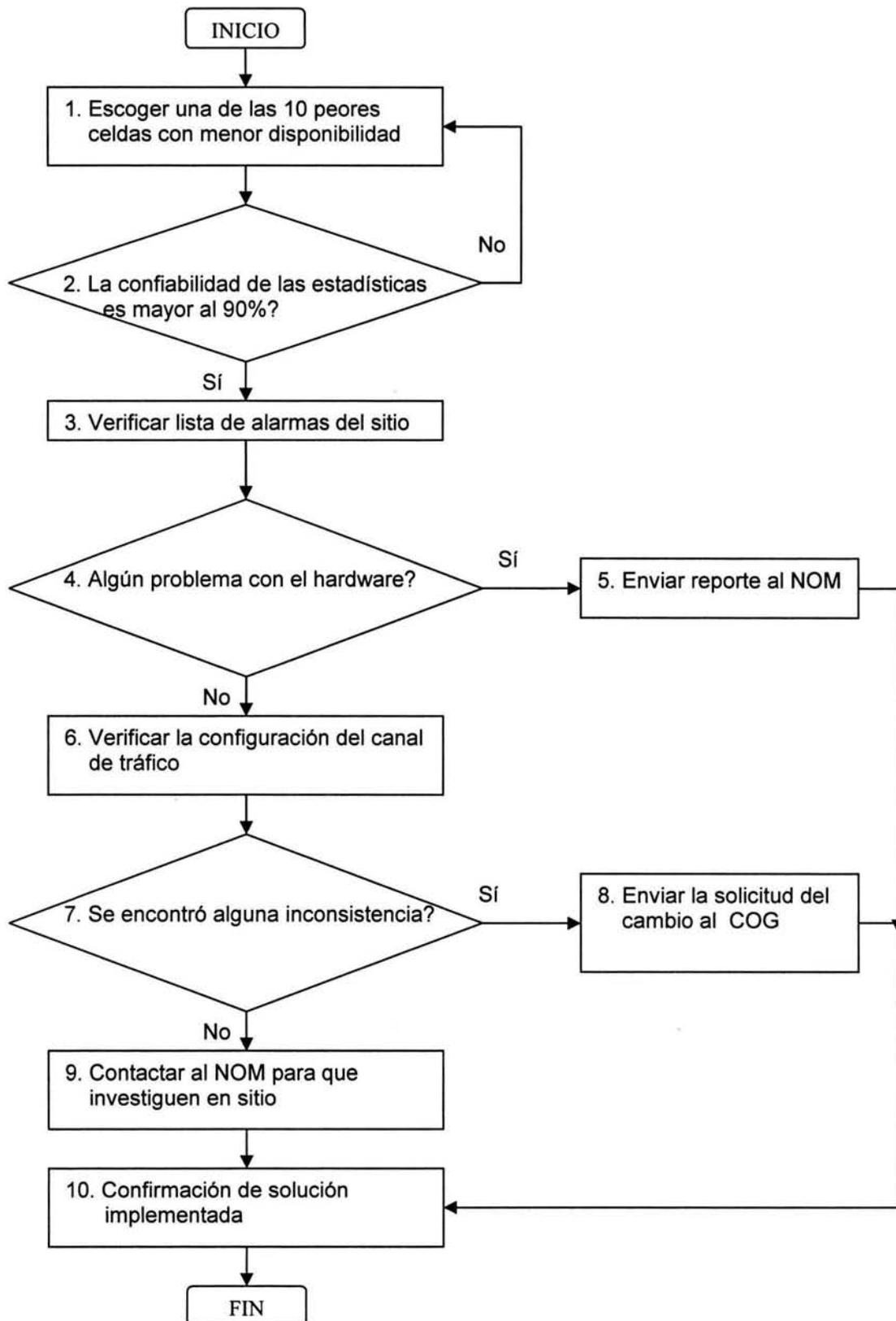


Figura 4.4. Procedimiento para optimizar la indisponibilidad del canal.

2. ¿Las estadísticas son confiables? Hay que comprobar que las estadísticas tengan una confiabilidad mayor al 90%. Es decir, que el número de muestras sea lo suficientemente grande como para mostrar realmente el desempeño de la celda.
3. Alarmas del sitio. Hay que verificar la lista de alarmas del sitio en el que se encuentra el problema, la mayor parte de las veces se puede detectar el problema solamente observando la lista que genera el sistema. Los problemas más comunes que detectan las alarmas son la falla en la alimentación externa del sitio, falla en el sistema de aire acondicionado, radios o CDU dañados, TMA dañados, un alto VSWR, entre otros.
4. Si se encontraron problemas en el hardware, hay que enviar el problema al NOM para que manden gente a campo y solucionen el problema.
5. Verificar que la configuración de los canales de tráfico esté correctamente hecha para cada sub-celda y que no estén manualmente bloqueados para tomar tráfico.
6. Si se encontró alguna inconsistencia en la asignación de los canales de tráfico para alguna subcelda, hay que enviar la petición de cambio al COG.
7. Contactar al NOM. En algunos casos no es posible detectar el problema con la lista de alarmas que genera el sistema o bien la configuración de los canales de tráfico es la adecuada, en cuyo caso tendremos que solicitar al NOM que haga una investigación más exhaustiva.
8. Solución implementada. Una vez que se ha recibido la confirmación de que el problema se ha solucionado es conveniente observar un par de días más las estadísticas y ver el comportamiento de la celda para comprobar que el problema se ha terminado.

4.2.3. Llamadas caídas

El problema de llamadas caídas se puede presentar tanto en el canal de señalización como en el canal de tráfico; sin embargo, el número de llamadas caídas en el canal de señalización es mucho menor comparado con el número que se presenta en el canal de tráfico. Se recomienda analizar primero el problema de llamadas caídas en el canal de tráfico, ya que tiene un mayor impacto en el desempeño de la red, y además las causas son las mismas para ambos problemas. El diagrama de flujo para analizar ambos problemas es el de la figura 4.5 y muestra los dos casos que estamos analizando.

- **Descripción del procedimiento para llamadas caídas en el canal de tráfico**

Existen cinco principales razones por las que se puede presentar una llamada caída en el canal de tráfico y éstas son:

1. Llamadas caídas por un alto *timing advance*.
 - Verificar los valores correctos de MAXTA y TALIM.

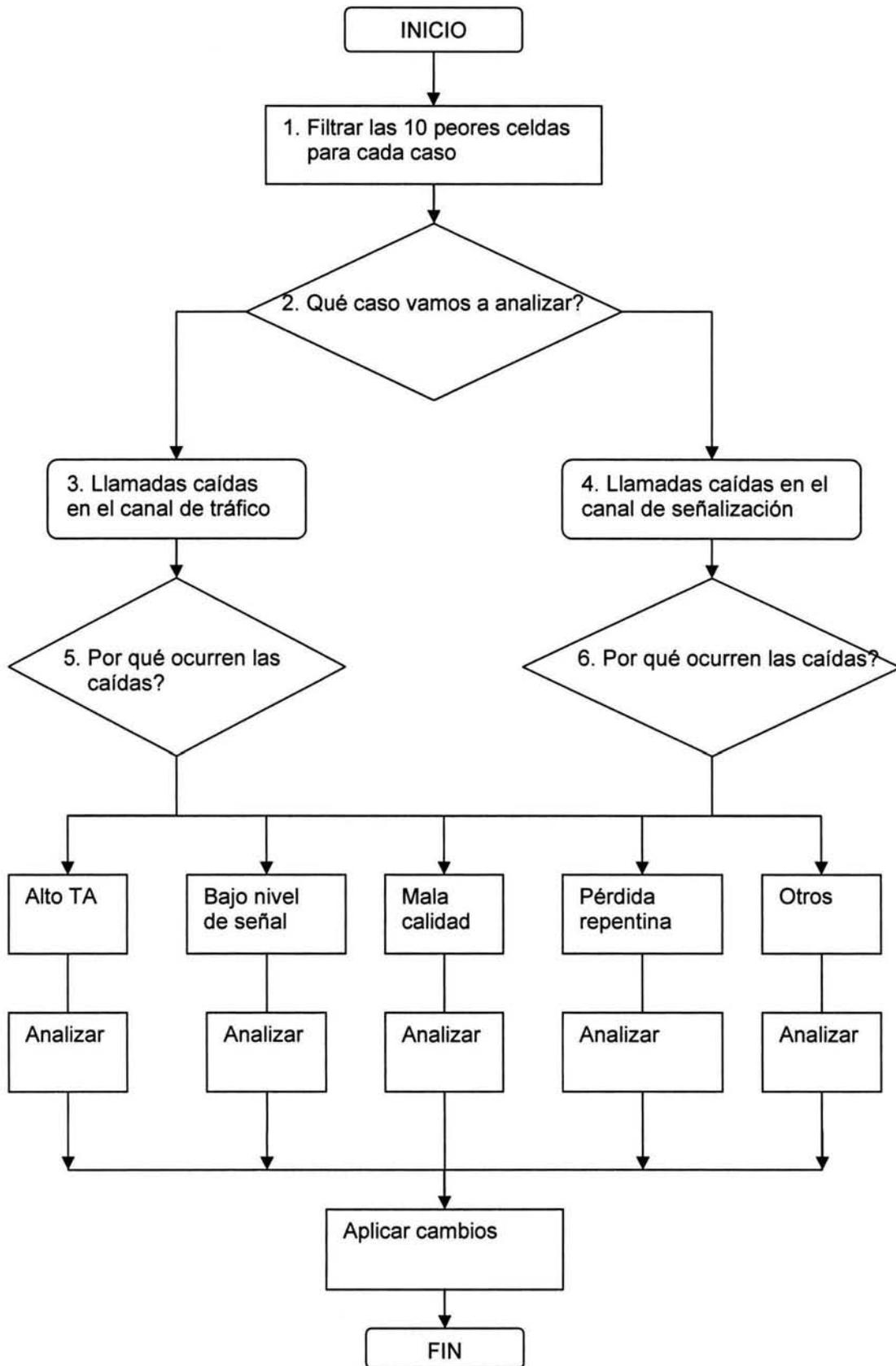


Figura 4.5. Procedimiento para optimizar la caída de llamadas.

- Si la celda que tiene el problema es una celda de borde, entonces es normal, ya que los móviles pueden salir del área de cobertura.
 - Hay que comprobar que el tráfico que está tomando la celda sea solamente el que le corresponde y no le de servicio a otros móviles que se encuentren muy lejos.
2. Llamadas caídas por bajos niveles de cobertura.
- Revisar posibles problemas de instalación en las antenas que causen bajos niveles de cobertura.
 - Hay que comprobar que la potencia de transmisión sea la adecuada.
 - Este problema puede ser por falta de algún sitio nuevo que esté planeado y que cuando entre en operación el problema se resolverá.
 - Verificar si no falta por agregar alguna relación de vecindad.
 - Estas llamadas caídas pueden presentarse en los interiores de alguna construcción por la atenuación que producen los muros; en este caso, habrá que evaluar si es necesario instalar una microcelda o solamente con un cambio de orientación de las antenas de la macrocelda será suficiente.
 - Revisar el desempeño del *handover*.
 - Revisar la lista de alarmas del sitio.
3. Llamadas caídas por mala calidad.
- Si el problema se presenta en la capa inferior, es necesario cambiar la frecuencia del BCCH.
 - Si el problema se presenta en la capa superior habrá que cambiar la frecuencia de transmisión o si se encuentra activado el salto en frecuencia, habrá que cambiar el grupo de frecuencias.
 - Niveles de interferencia.
 - Si la mala calidad está en el enlace de *uplink*, seguramente existe interferencia externa y en este caso habrá que encontrar la fuente que la produce.
4. Llamadas caídas repentinas.
- Revisar si existe en la zona algún punto (por ejemplo un túnel) en el que los móviles pierdan la señal repentinamente.
 - Si existen *handover* perdidos entonces provocará llamadas caídas repentinas.
5. Llamadas caídas por otras razones.
- Verificar las fallas de hardware, ya que la conexión del enlace podría ser intermitente.
 - También puede ser que la pila de algún móvil haya sido retirada repentinamente.
- **Descripción para llamadas caídas en el canal de señalización**

Existen cinco principales razones por las que se puede presentar una llamada caída en el canal de señalización y éstas son:

1. Llamadas caídas por un alto *timing advance*.
 - Verificar los valores correctos de MAXTA y TALIM.
 - Si la celda que tiene el problema es una celda de borde, entonces es normal ya que los móviles pueden salir del área de cobertura.
 - Hay que comprobar que los intentos de llamada se hagan con la celda más cercana y que no lo hagan con celdas que estén muy lejos.

2. Llamadas caídas por bajos niveles de cobertura.
 - Revisar posibles problemas de instalación en las antenas que cause bajos niveles.
 - Hay que comprobar que la potencia de transmisión sea la adecuada.
 - Este problema puede ser por la falta de algún sitio nuevo que esté planeado y que cuando entre en operación el problema se resolverá.
 - Estas llamadas caídas pueden presentarse en interiores de alguna construcción por la atenuación que producen los muros; en este caso, habrá que evaluar si es necesario instalar una microcelda o solamente con un cambio de orientación de las antenas de la macrocelda será suficiente.
 - Revisar la lista de alarmas del sitio.

3. Llamadas caídas por mala calidad.
 - Si los niveles de interferencia en la celda son muy altos habrá que cambiar la frecuencia del BCCH.
 - Si el enlace de *uplink* tiene mala calidad, seguramente existe interferencia externa y en este caso habrá que encontrar la fuente de origen.

4. Llamadas caídas repentinas.
 - Revisar si existe en la zona algún punto (por ejemplo un túnel) en el que los móviles pierdan la señal repentinamente.

5. Llamadas caídas por otras razones.
 - Verificar las fallas de hardware, ya que la conexión del enlace podría ser intermitente.
 - También puede ser que la pila de algún móvil haya sido retirada repentinamente.

4.2.4. Índice de calidad de voz

El índice de calidad de voz es una medición objetiva de la calidad del enlace entre el móvil y la BTS para el uso en sistemas celulares y está basado en parámetros del enlace de radio. Estos parámetros cuantifican la cantidad y tipo de distorsión a la que fue sometida la llamada durante la transmisión del enlace de radio. El procedimiento a seguir es el ilustrado en la figura 4.6 y está descrito enseguida.

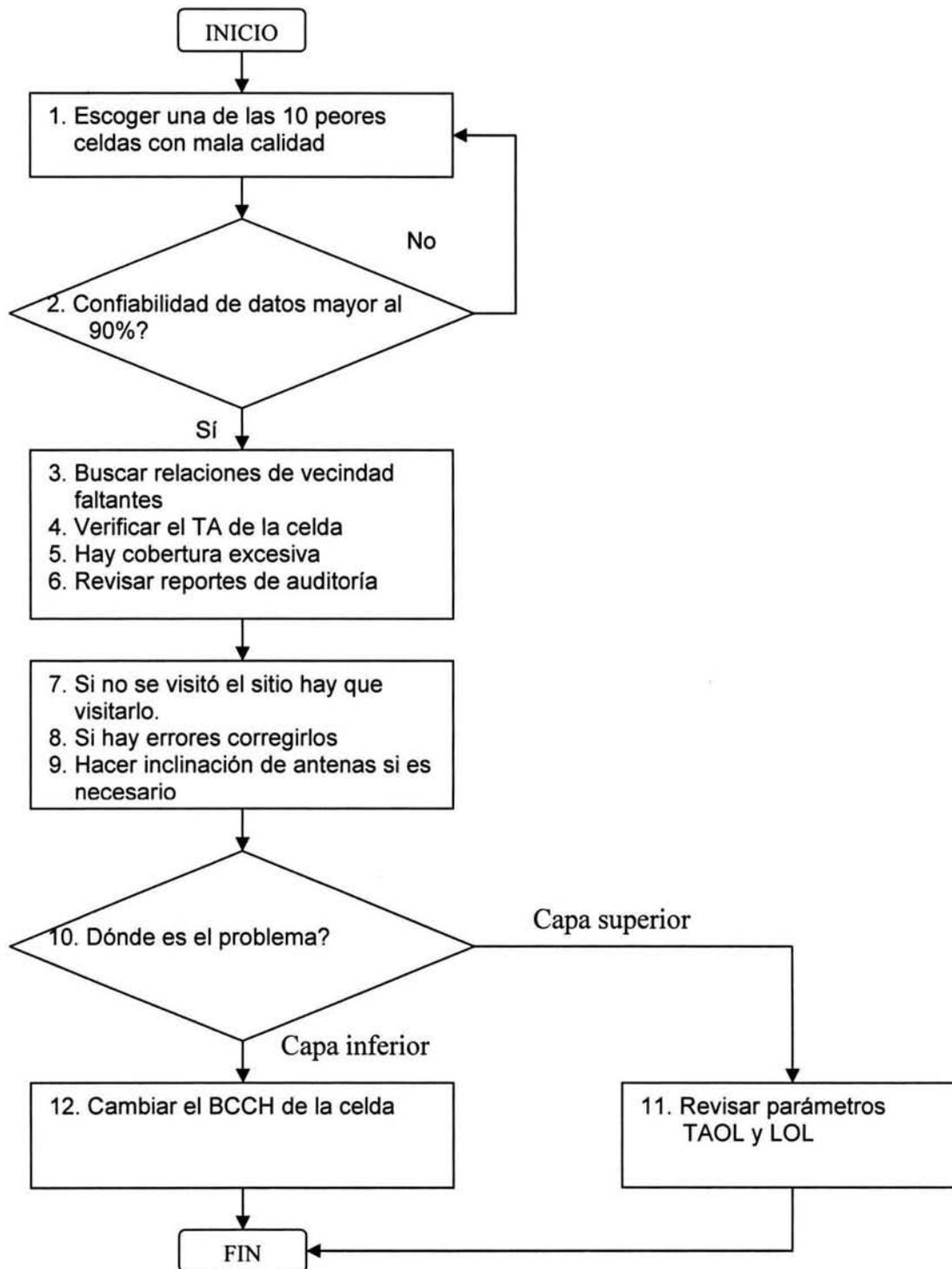


Figura 4.6. Procedimiento para optimizar de calidad de voz.

- **Descripción del procedimiento**

A continuación se describe el proceso mediante el cual se lleva a cabo el análisis de los problemas más comunes de calidad de voz basados en los reportes estadísticos.

1. Seleccionar las 10 peores celdas. Tomar las 10 peores celdas con mala calidad de voz y filtrar las celdas con poco tráfico. Es más importante tomar como prioridad las celdas con mayor tráfico porque tienen un gran impacto en el desempeño de la red.
2. Los datos son confiables? Verificar que la confiabilidad de los datos sea mayor al 90%.
3. Relaciones de vecindad faltantes. Para esto es necesario contar con un mapa que indique los bordes de las celdas y la dirección de las mismas para revisar que las relaciones de vecindad sean factibles para agregarlas. Cuando una relación de vecindad no ha sido declarada, la llamada es arrastrada a través de la siguiente celda sin poder hacer el *handover* ocasionando malos niveles de calidad por la distancia y la interferencia que se presenta.
4. Verificar el TA de la celda. Es importante revisar el valor promedio del TA de la celda, esto es verificar si el tráfico que está tomando la celda está dentro de su área de cobertura o bien si está tomando tráfico de áreas muy lejanas. En el caso de que la celda esté dando servicio a móviles que se encuentran a una distancia muy lejana de la BTS, los niveles de señal transmitidos serán muy bajos ocasionando que la transmisión se vea afectada por el ruido de piso e interferencia del sistema. En este caso, será recomendable evaluar una posible inclinación hacia abajo de la antena para reducir la cobertura excesiva.
5. Área de cobertura. Verificar con lo expuesto en el punto 3 si la cobertura de la celda es excesiva.
6. Revisar la auditoría del sitio. Leer el reporte de la auditoría que se hizo al sitio y verificar si la configuración de antenas, amplificadores de torre, conectores, *feeders*, *duplexores* y demás, han sido correctamente instalados.
7. Visitar el sitio. Si acaso no se realizó la auditoría, entonces habrá que visitar el sitio para hacer la inspección necesaria.
8. Corregir errores. Normalmente durante una auditoría siempre surgen detalles que tienen que ser corregidos. Los problemas más comúnmente encontrados y que afectan los niveles de calidad son la mala orientación e inclinación de antenas. Si se encuentra alguna anomalía, es necesario abrir una orden de trabajo para que el área de operación y mantenimiento se encargue del problema y que lo corrijan.
9. Inclinación mecánica o eléctrica. Si es necesario disminuir la cobertura para evitar los accesos lejanos con mala calidad, habrá que hacer una inclinación en las antenas ya sea mecánica o eléctrica; pero estando seguros de que los niveles de cobertura se mantengan en el área que debe cubrir.
10. Mala calidad en la capa superior o inferior? Es importante identificar en que sub-celda está ocurriendo el problema, pues para cada caso la solución es diferente.

11. Mala calidad en la capa superior. Hay que verificar si el área en la que debe estar dando servicio esta sub-celda está bien delimitada o no y en su caso optimizar el valor de los parámetros que la limitan. Los parámetros que limitan esta área son el TAOL (Timing Advance for OverLaid, Desplazamiento en el tiempo para la capa superior) y el LOL (Low signal strength for OverLaid, Bajo nivel de señal para la capa superior). El TAOL indica la distancia máxima a la que un móvil puede estar conectada en la capa superior, una vez rebasada esta distancia el móvil tendrá que hacer el *handover* a la capa inferior. El LOL es el valor de intensidad de señal mínimo con el que el móvil puede estar conectado a la capa superior, si el nivel cae por debajo de este umbral, entonces tendrá que hacer el *handover* a la capa inferior. En ambos casos, esto indica que el móvil se está alejando de la BTS y si los parámetros están correctamente configurados, entonces el móvil pasará de la capa superior a la inferior y de ahí a otra celda; por el contrario, si los parámetros son incorrectos, entonces los *handovers* se verán retrasados provocando que la llamada se arrastre y que tenga mala calidad.

12. Mala calidad en la capa inferior. Si no se hace un correcto diseño del plan de frecuencias, esto provocará futuros problemas de interferencia, en cuyo caso será necesario cambiar el BCCH en las celdas que presenten este problema. Hay que recordar que para un cambio de este tipo hay que apoyarnos en la herramienta de predicción *Cell Planner*.

Este indicador y su desempeño son muy importantes para el operador, porque nos da una idea de la calidad de voz que el usuario percibe. Siempre que se diseña un nuevo plan de frecuencia este indicador es tomado en cuenta con el fin de evaluar si el plan de frecuencias tuvo un impacto positivo en la red. La calidad del enlace también puede ser afectada por interferencia externa, es decir fuentes ajenas a la red celular como emisoras pirata de radio o enlaces de microondas con anchos de banda muy amplios y cercanos a las frecuencias de operación de la red.

4.2.5. Congestión

El congestionamiento de los canales de tráfico o señalización, es uno de los mayores problemas en los sistemas móviles. El problema de congestionamiento puede presentarse en un periodo de tiempo muy corto o puede irse dando paulatinamente. Cuando este problema se presenta en un tiempo muy corto, generalmente es debido a reuniones o eventos que se hacen por un tiempo determinado y tienen una gran concentración de gente. En el caso de que el problema se presente poco a poco, esto se debe a que los usuarios dentro de esa celda están haciendo más uso de los celulares constantemente. Para este último caso, habrá que solicitar la expansión de la capacidad de la celda con mucho tiempo de anticipación para evitar un mal servicio al usuario.

El problema de congestionamiento se puede presentar tanto en el canal de señalización como en el canal de tráfico. Por la tanto, trataremos los dos procedimientos a continuación.

- **Descripción del procedimiento para congestión en el canal de señalización**

Cuando un móvil intenta hacer una llamada, el procedimiento consiste en usar un canal de señalización (SDCCH) para esto, pero si se intentan establecer demasiadas llamadas al mismo tiempo (más de ocho) el canal de señalización presentará congestión. También cuando un móvil envía un mensaje, cuando está actualizando su ubicación o cuando se registra a la red, está haciendo uso del canal de señalización, lo cual incrementará el tráfico. Sin embargo, todos estos eventos son hechos en un periodo de tiempo muy corto, con lo que el problema de congestión en el canal de señalización se presentará pocas veces en comparación con el problema de congestión en el canal de tráfico. El diagrama de flujo que nos auxiliará en la descripción de este procedimiento se presenta en la figura 4.7.

1. Elegir una de las 10 peores celdas con mayor congestionamiento en los canales de señalización.
2. Los datos son confiables? Hay que verificar que los datos tengan una alta confiabilidad, es decir que describan realmente el comportamiento de la celda.
3. Disponibilidad de canal. Hay que verificar que la disponibilidad del canal sea mayor al 90%, de lo contrario la congestión puede deberse a que el canal está fuera de servicio. Si la disponibilidad es menor al 90% ir al punto 4, de lo contrario ir al punto 5.
4. Problemas de hardware? Hay que verificar si existen posibles problemas de hardware en los radios o en el CDU y en su caso mandar la petición de revisión del equipo al NOM.
5. Verificar configuración. Hay que comprobar que la configuración del canal de señalización sea la adecuada y por lo tanto que tenga la capacidad necesaria. La celda puede estar configurada para tener 4 u 8 subcanales de señalización, dependiendo del tráfico esperado de acuerdo al diseño.
6. Disponibilidad de celdas vecinas. Si existen celdas vecinas que estén fuera de servicio, esto ocasionará que muchos móviles intenten acceder a una misma celda ocasionando congestión en el canal de señalización.
7. Configuración de los canales de tráfico. Es conveniente revisar la configuración de los canales de tráfico, puesto que si existe algún error en la asignación de estos, esto ocasionará que la llamada permanezca mucho tiempo en el canal de señalización.
8. Revisar celdas de borde. Si las celdas que tienen este problema son las celdas del borde de la red celular, es normal que exista un tráfico elevado en el canal de señalización, pues constantemente los móviles se están registrando a la red, ya que los niveles se atenúan de forma irregular en el borde; de tal forma que los móviles salen y entran constantemente del área de cobertura de la red.

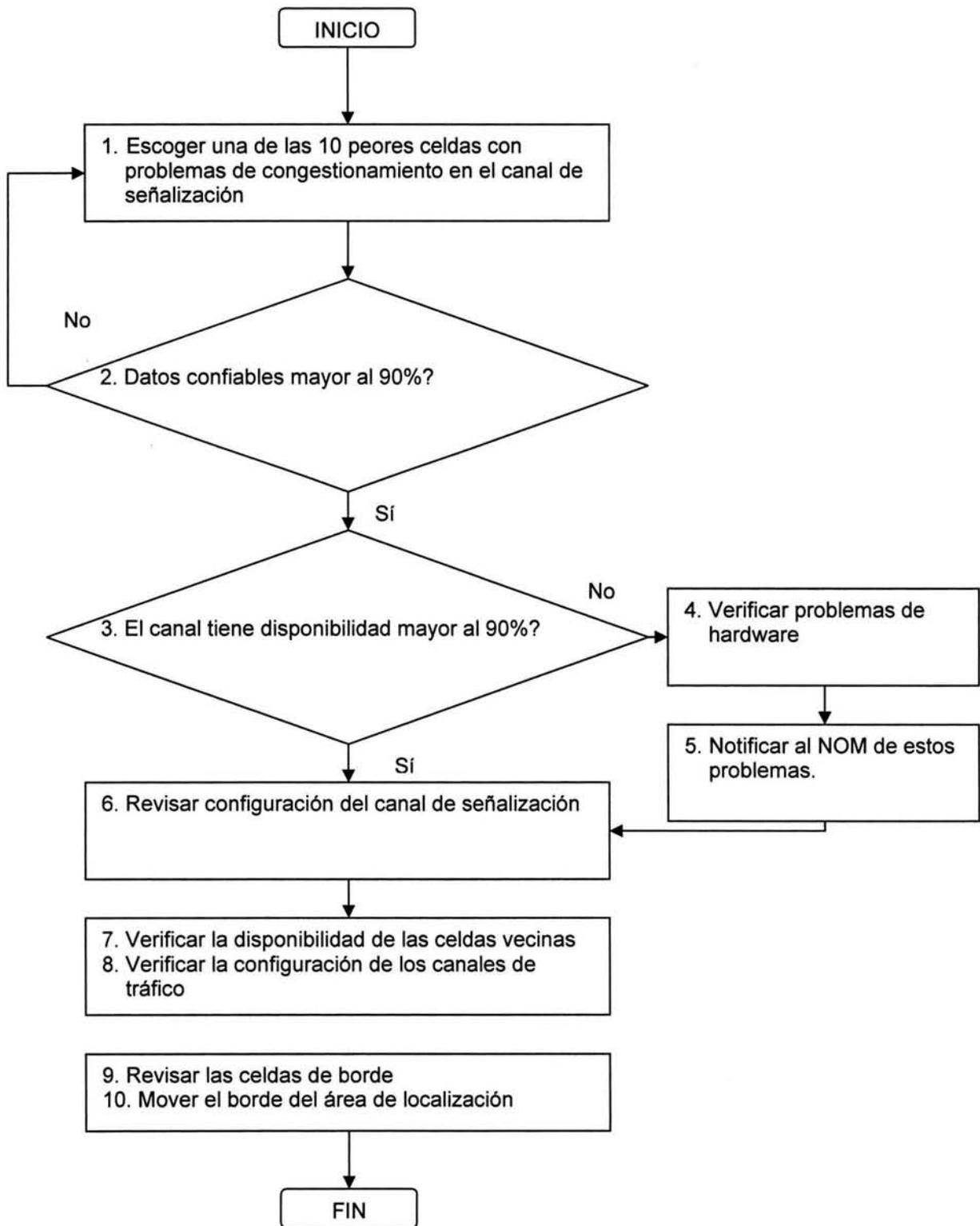


Figura 4.7. Procedimiento para la optimización de congestión.

9. Verificar el borde del área de localización. Cuando los móviles cruzan de un área de localización a otra, se genera mucho tráfico en el canal de señalización al estar

actualizando esta información. Por ejemplo, si una autopista pasa a través de dos áreas de localización diferentes, el tráfico generado será muy grande en las celdas que cubren esta área, puesto que pasan demasiados vehículos a gran velocidad y están enviando la información de los cambios de área de localización; en este caso se puede pensar en mover el borde del área de localización a otra zona en la que no genere tantos problemas.

- **Descripción del procedimiento para congestión en el canal de tráfico**

Si dentro de una celda todos los canales de tráfico se encuentran ocupados, las llamadas que intenten entrar después encontrarán el sistema ocupado, presentándose así congestión en el canal de tráfico. Cuando el problema crece poco a poco seguramente habrá que aumentar la capacidad de la celda. Veamos entonces el procedimiento con apoyo de la figura 4.8.

1. Escoger una de las 10 peores celdas. Hay que revisar la lista de las celdas con peor desempeño dentro de la red, y tomar los 10 peores casos para darles solución primero a estos. Los datos son confiables?.
2. Hay que verificar que los datos tengan una alta confiabilidad, es decir que describan realmente el comportamiento de la celda.
3. Disponibilidad de canal. Hay que verificar que la disponibilidad del canal sea mayor al 90%, de lo contrario la congestión puede deberse a que el canal está fuera de servicio. Si la disponibilidad es menor al 90% ir al punto 4, de lo contrario ir al punto 5.
4. Problemas de hardware?. Hay que verificar si existen posibles problemas de hardware en los radios o en el CDU, y en su caso mandar la petición de revisión del equipo al NOM.
5. Configuración de los canales de tráfico. Es conveniente revisar la configuración de los canales de tráfico para comprobar que la capacidad asignada es la adecuada, pudiendo ser de 6 o hasta 14 canales de tráfico con un radio extra.
6. Disponibilidad de celdas vecinas. Si existen celdas vecinas que están fuera de servicio, esto ocasionará que una sola celda esté cubriendo un área más grande que la que debería, y por lo tanto, todos los canales de esta celda tenderán a estar ocupados en todo momento.
7. Verificar desempeño de *handover*. Hay que verificar si los *handover* de salida, es decir hacia las celdas vecinas, están siendo exitosos, de lo contrario las llamadas se verán forzadas a permanecer en la celda, ocasionando que los canales estén ocupados por mucho tiempo.

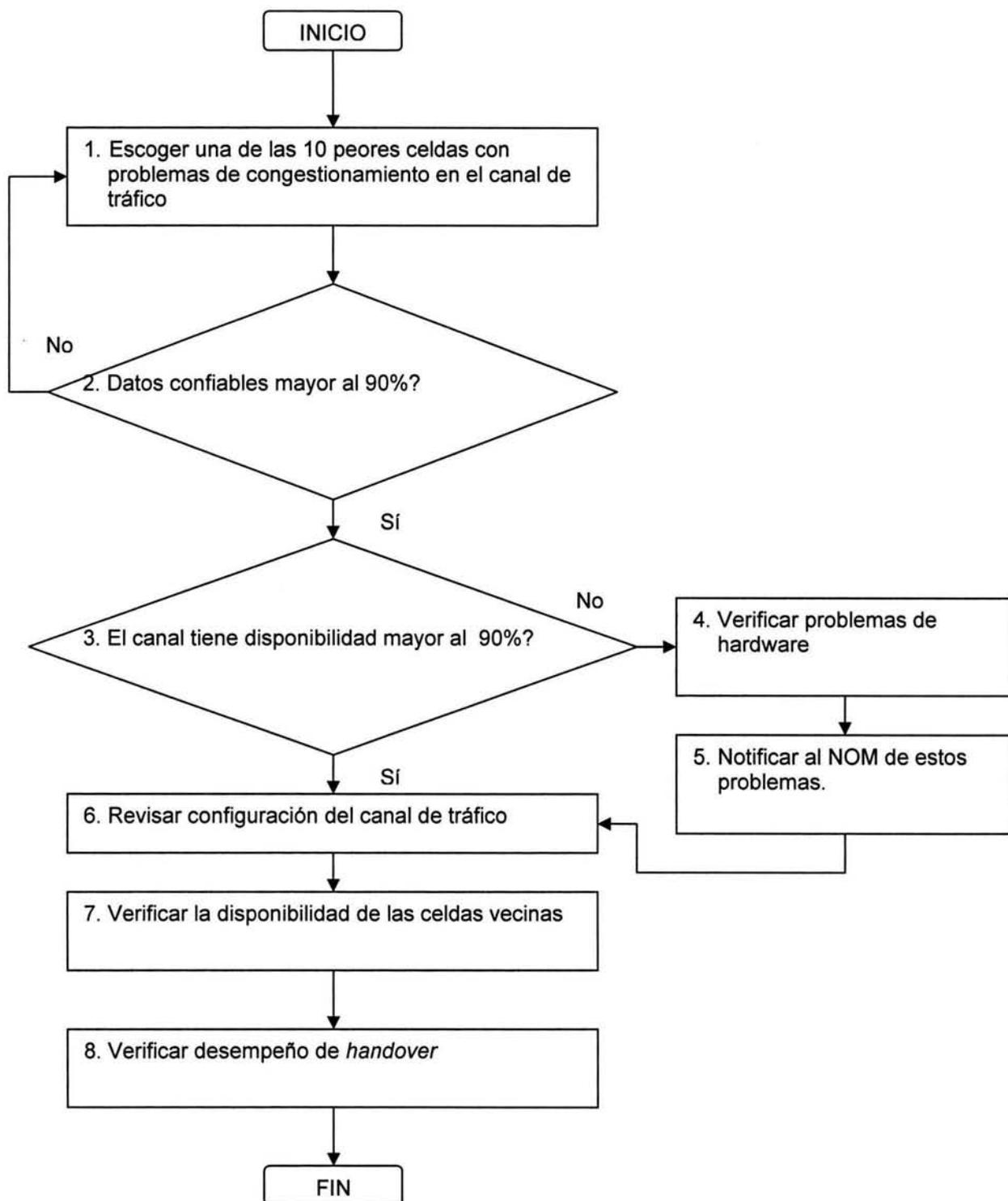


Figura 4.8. Procedimiento para optimizar la congestión en el canal de tráfico.

4.2.6. Handover

El desempeño de los *handovers* está indicado en las estadísticas como entrantes y salientes a una cierta celda; es decir, cuando la llamada proveniente es recibida en la celda en cuestión y cuando la llamada abandona esta celda. Los *handovers* se realizan

ya sea por mala calidad en la llamada, porque el móvil está entrando a otra celda que tiene mejores niveles de cobertura o porque la distancia del enlace entre el móvil y la BTS está excediendo el máximo permitido. El procedimiento para la solución del bajo desempeño de *handover* puede tener diferentes causas, tal y como lo describimos a continuación con el apoyo de la figura 4.9.

- **Descripción del procedimiento**

Los problemas de *handover* pueden influir fuertemente en el desempeño de la red ocasionando llamadas caídas o congestión, entre otros. Para este problema recomendamos seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar las 10 peores celdas. De esta lista de las celdas con bajo desempeño, hay que analizar primero la celda que tenga un mayor impacto en la red.
2. Los datos son confiables?. Hay que revisar que la confiabilidad de los datos sea mayor al 90%, es decir que existan los datos suficientes para describir el comportamiento de la celda.
3. La celda está congestionada?. Si la celda tiene problemas de congestión los *handover* entrantes se van a registrar como fallidos, ya que no hay canales de tráfico disponibles en esta celda.
4. Si la celda presenta problemas de congestión hay que consultar el procedimiento para resolver este problema y después verificar que el problema de *handover* se vea disminuido también.
5. Revisar *handover* intra-celda. El sistema permite que la llamada realice *handovers* entre los diferentes *time slots* dentro del mismo radio; si esto sucede, se puede deber a problemas de interferencia o de bajos niveles de cobertura. Si existe un gran número de *handover* intra-celda, esto quiere decir que la celda tiene problemas de interferencia o de baja cobertura.
6. Revisar parámetros de *handover*. Verificar que el valor de la histéresis para hacer el *handover* sea de 3 dB, cuando la decisión sea por bajo nivel de señal; de RxQual igual a 5 para cuando sea por mala calidad y de TALIM = 61 para cuando la decisión sea por exceder la distancia máxima del enlace.
7. Relaciones de vecindad. Verificar que las relaciones de vecindad existan en ambos sentidos para la celda que tiene problemas, es decir que se puedan hacer los *handovers* entrantes y salientes.
8. Disponibilidad de canal. Verificar que la disponibilidad del canal sea mayor al 90%, en caso contrario, puede existir el problema de *handover* fallido porque la celda o el sitio completo está apagado.

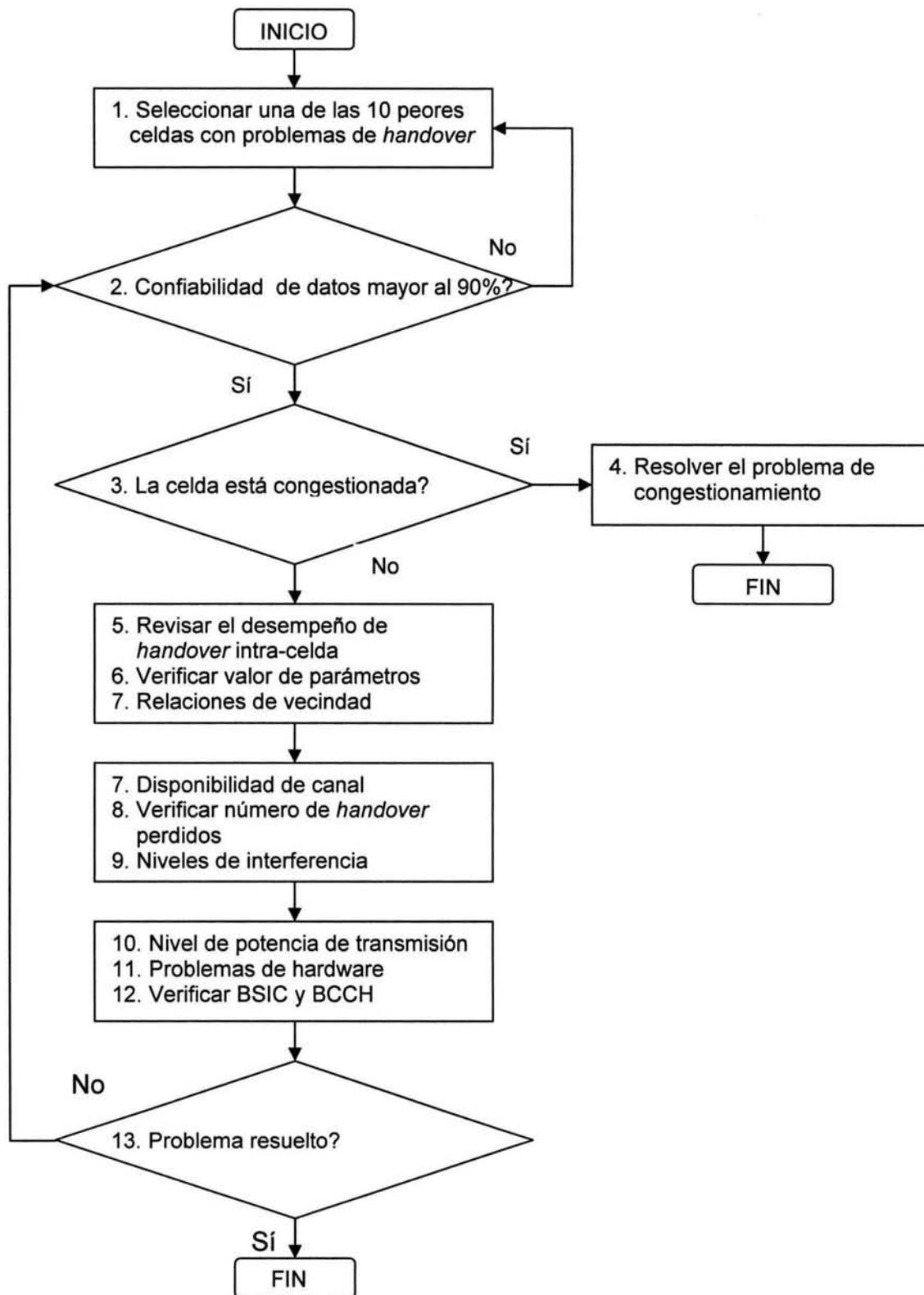


Figura 4.9. Procedimiento para optimizar el handover.

9. Verificar si existen *handovers* perdidos. Si existe un gran número de *handovers* perdidos se van a reflejar como llamadas caídas, ya que el proceso de *handover* simplemente se pierde y la llamada también.
10. Niveles de Interferencia. Si la interferencia es muy alta en la celda puede provocar *handovers* fallidos o perdidos.
11. Nivel de potencia de transmisión. Verificar que la potencia de transmisión de todas las celdas sea la correcta para que todas cubran adecuadamente.
12. Problemas de hardware. Verificar posibles problemas de hardware o antenas en el sitio que puedan ocasionar bajos niveles de cobertura.
13. Verificar el BSIC y BCCH. Comprobar que no exista la misma combinación del BSIC y de la frecuencia del canal de control (BCCH) en dos celdas o más dentro de la misma red celular.

Si para cada uno de los problemas descritos no se encuentra la solución durante el primer análisis, habrá que revisar nuevamente el procedimiento e intentar aplicar otra solución. Con la experiencia que vayan adquiriendo los analistas, con el paso del tiempo podrán decidir el orden en el que apliquen el procedimiento o bien añadir algún paso más. Además de apoyarse en las estadísticas que genera el sistema, es conveniente apoyarse en pruebas de campo hechas con el equipo TEMS *Investigation*, para saber de que manera se percibe el problema por parte del usuario.

Hasta este momento hemos tratado todos los procedimientos tanto de diseño como de optimización para una red celular, en el siguiente capítulo mostraremos estas metodologías aplicadas en un caso práctico.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE CASO

En este capítulo aplicaremos las metodologías que ya han sido expuestas para los procedimientos de diseño y optimización de la parte correspondiente a Radio Frecuencia y los ejemplificaremos para las ciudades de Puebla y Tlaxcala, vista como una sola área de cobertura, en donde se incluyen sitios en zonas urbanas, suburbanas y rurales.

5.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

El mercado de las telecomunicaciones en México creció de manera importante en los tres últimos años del siglo pasado, esto motivó que algunos operadores, entre ellos **Eritel**, ampliaran las redes existentes, pero buscando proporcionar más servicios al usuario. Si bien las redes celulares con tecnología D-AMPS ya incluían un manejo de datos, el usuario normal no se sentía atraído a utilizar este tipo de redes por la baja velocidad de transmisión y lo costoso de los equipos y servicios que estaban en posibilidad de manejar este tipo de comunicaciones. La premisa era ampliar las redes existentes, no sólo en capacidad de usuarios, también en los servicios provistos al usuario. Es por ello que el operador **Eritel** y el proveedor **Ericsson**, decidieron implementar una red con tecnología GSM, por mostrar más ventajas para el usuario respecto a otros estándares. Entre estas ventajas tenemos que GSM es el estándar más extendido en el mundo, lo que permite al usuario mantener su número telefónico mientras vaga por redes de otros operadores con los que **Eritel** haya hecho un acuerdo

para tarificación como Verizon en EU y T-Mobile en Europa. GSM es un estándar que desde su definición, a principios de la década pasada, contempla el manejo de datos; el haber sido utilizado por más de diez años en Europa, en donde la penetración del uso del celular en la población es superior al 70% en países como Suecia, lo hace un estándar ampliamente probado y mejorado a través de más de diez años desde su primera implementación.

Este tipo de proyectos por la magnitud, de la red nacional y lo diverso de las actividades para poder desplegar la red, precisa de muchas compañías proveedoras de servicios, tales como: construcción de sitios, búsqueda de sitios, diseño de radiofrecuencia de la red, optimización de la etapa de radio frecuencia, etc. El estudio de caso en cuestión es analizado desde el punto de vista de un proveedor de servicios de consultoría, subcontratado por Ericsson, para el diseño y la optimización de la etapa de RF de la red GSM a desplegar, trabajando en conjunto con los departamentos de Radiofrecuencia y calidad del operador, en la optimización permanente de la red. Por la magnitud del proyecto, para cubrir la república mexicana en un periodo de tres años, fue necesario dividirlo en diez fases, las cuales se definen a continuación:

Fase 1. Se inicio con las grandes ciudades como la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Tijuana con sus zonas conurbanas, teniendo con objetivo su lanzamiento comercial en 12 meses después de la firma del contrato con el proveedor.

Fase 2. Se continuará con ciudades de tamaño mediano, como Querétaro, Morelia, Toluca, Hermosillo, y Puebla y Tlaxcala, que se consideraron por su cercanía como una ciudad mediana, otras de las ciudades consideradas en esta fase son Veracruz, Oaxaca, Acapulco, Aguascalientes y San Luis Potosí, planeadas para su lanzamiento comercial seis meses después del lanzamiento de las ciudades de fase 1.

Fase 3. Se proseguirá con el resto de las ciudades pequeñas en cada región, determinadas por la importancia en cuanto a tamaño y tráfico en la red D-AMPS; estas son ciudades como Coatzacoalcos, Minatitlán, Jalapa, Tuxpan, Chilpancingo y Uruapan, su lanzamiento comercial fue planeado de 18 a 24 meses después de la firma del acuerdo comercial.

Fase 4. En esta fase se consideraron los tramos carreteros importantes y puntos turísticos de interés, entre los primeros se contempló la maxipista entre Morelia y Guadalajara, la autopista México- Puebla, la autopista México- Querétaro, la carretera Monterrey-Salttillo, por citar algunos ejemplos. Entre los puntos turísticos de interés se encuentran, Puerto Vallarta, Los Cabos, Cancún, Ixtapa-Zihuatanejo y Puerto Escondido, entre otros, su lanzamiento comercial se planeó a la par de los lanzamientos de la fase 3.

Fase 5. En esta fase se toman en cuenta tramos carreteros y otros puntos turísticos de interés, pero con menor afluencia o desarrollo de infraestructura comparado con sitios de fase 4. Algunos de estos destinos turísticos de importancia son: Puerto Ángel, Barra de Navidad y Mazatlán. Entre los tramos carreteros de menor afluencia se cuenta la autopista México-Veracruz, en su tramo de Orizaba a Córdoba, o el tramo de Chapala a

Guadalajara, entre muchos otros, el lanzamiento comercial se planeo entre dos años y dos años y medio después del acuerdo comercial.

Fase 6 y 7. En estas fases se incluyeron los sitios ubicados en poblados que no habían sido considerados en las fases anteriores, en algunos casos por cantidad de habitantes o importancia. El objetivo de estos sitios es dar servicio en el mismo número de poblaciones que cuentan con un sitio D-AMPS, debido a la cantidad de sitios planeados en estas fases, se decidió dividirlos en dos de acuerdo a la importancia de los mismos. Su lanzamiento se planeo para ser entre los dos años y medio y tres años.

Fase 8. Para esta se incluyeron sitios de optimización, es decir sitios para mejorar la cobertura y calidad en las ciudades consideradas en las fases 1 a la 4; su instalación comenzaría a partir del segundo año, en las ciudades de fase uno lanzadas comercialmente, prolongándose hasta el tercer año en ciudades de las fases restantes. La cantidad originalmente planeada se ajustará a los requerimientos planteados por las actividades de optimización permanente.

Fase 9. Considera ciudades de más de 10,000 habitantes y menores a 20,000, con el objeto de ampliar la red GSM y lograr de esta manera una cobertura mayor a la lograda con la red D-AMPS existente. Su diseño se planeó a partir del segundo año y dependería de las anteriores fases, en cuanto a la factibilidad de los proyectos incluidos en esta fase.

Fase 10. En esta última fase se contemplaron poblaciones con un número menor a 10,000 habitantes, y al igual que en la fase 9, se comenzaría su diseño después del segundo año, sin fecha de lanzamiento, con el objeto de aumentar la cobertura de **Eritel**.

En la descripción de las fases en las cuales se dividió el proyecto, se mencionaron indistintamente sitios de varias de las nueve regiones, pero la responsabilidad del diseño y optimización inicial y permanente de radiofrecuencia, fue dada a grupos de diseño y optimización regionales con un responsable por parte del Ericsson, que fue el encargado de entregar resultados al operador. Las responsabilidades de las actividades más importantes en el proyecto se definieron de la siguiente manera:

Diseño de la red - Consultores de Ericsson.

Búsqueda de candidatos – Subcontratistas de Eritel.

Aprobación de candidatos – Eritel y consultores de Ericsson.

Obra civil – Subcontratistas de Eritel.

Implantación – Ericsson.

Aceptación de sitios – Eritel y consultores y subcontratistas de Ericsson.

Optimización inicial – consultores de Ericsson.

Optimización permanente – Eritel y consultores de Ericsson.

En el estudio de caso se plantea el diseño y la optimización inicial y permanente para las ciudades de Puebla y Tlaxcala, basados en los procedimientos propuestos en los capítulos tres y cuatro. En la figura 5.1 se presentan los mapas de las dos ciudades, en donde se observa una gran cercanía entre ellas, por lo que pueden ser consideradas

como una sola área urbana, y de aquí que los procedimientos planteados se apliquen a estas como un conjunto. En la figura se aprecia que la distancia entre las dos ciudades no es mucha, de hecho es de 22 Km., lo que es menor a la máxima cobertura de una celda sin obstáculos, que es de alrededor de 32 Km., además a lo largo de las dos carreteras que unen Puebla con Tlaxcala existen áreas urbanas, por lo que las celdas de Tlaxcala y Puebla interactúan de

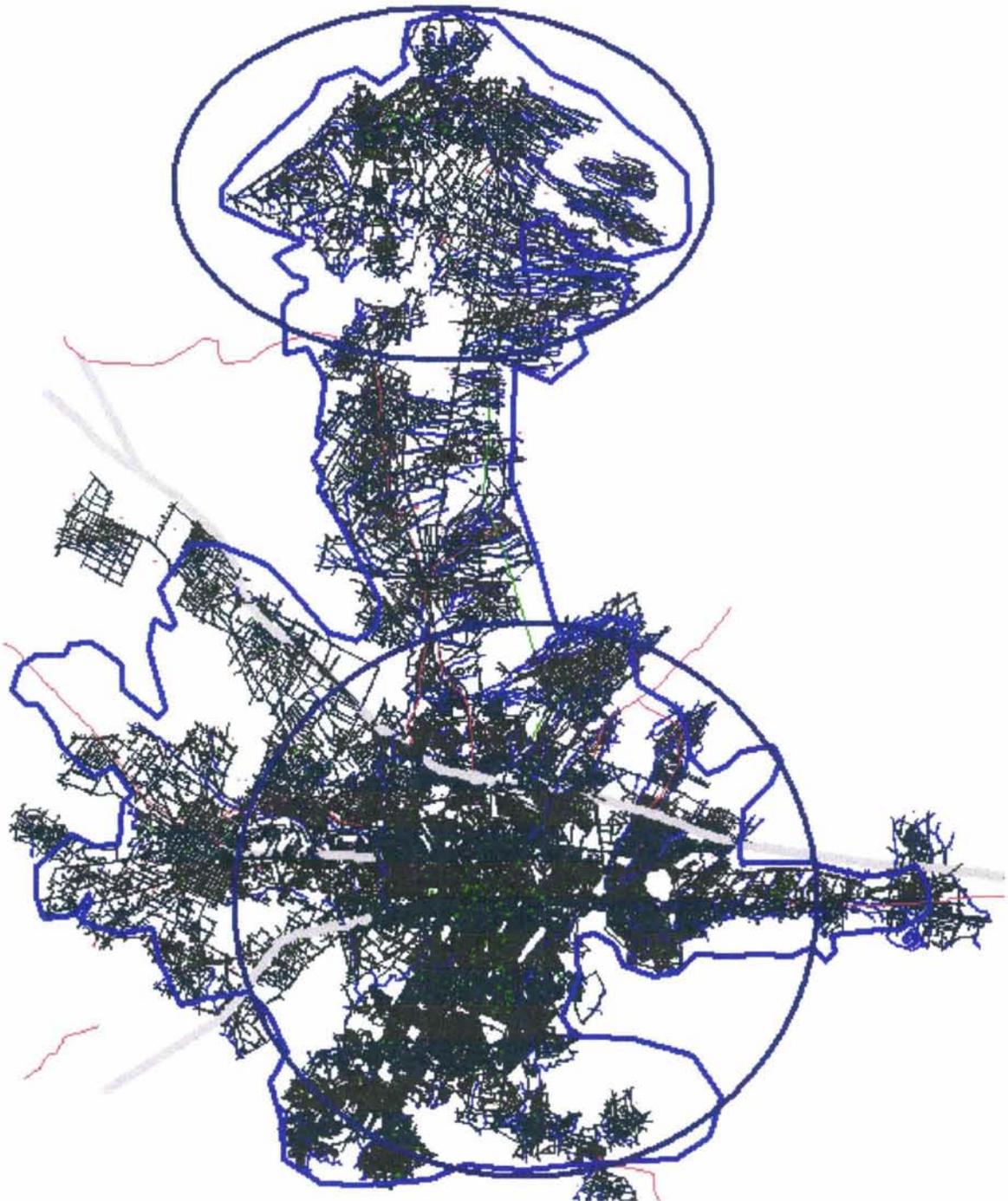


Figura 5.1. Mapa de Puebla y Tlaxcala.

manera directa, lo que implica que el diseño no puede hacerse de manera separada, ya que se omitirían condiciones de interferencia de una ciudad con la otra.

En los círculos aparecen las ciudades, en la parte superior Tlaxcala y en la inferior Puebla. Como se observa, entre las ciudades existe una traza urbana, por lo que el operador definió un solo vector de cobertura garantizada que aparece como la línea que rodea ambas ciudades.

5.2. ANÁLISIS DE TRÁFICO Y COBERTURA

La base del proceso de planeación celular está en la demanda de tráfico que se espera tener y que está expresada en Erlangs. La distribución de la demanda de tráfico puede ser estimada con el uso de datos demográficos y la distribución del uso de los teléfonos celulares (si se dispone de esta última información). Puebla contabilizó en el último censo 5 millones de habitantes y Tlaxcala 2 millones, concentrándose la principal cantidad de gente en las zonas urbanas y suburbanas de la ciudad. En Puebla y Tlaxcala circulan un total de 613,520 automóviles y si se contempla dar servicio a unos 180,000 usuarios, en los dos primeros años según estimaciones del operador, la relación de automóviles respecto al número de usuarios es alta, por lo que es importante considerar los niveles de cobertura para los usuarios que utilizan las estaciones móviles en el interior de su automóvil. Se espera que gran parte de la demanda se concentre en áreas de gran afluencia como son zonas residenciales o centros comerciales. Particularmente, al centro de la ciudad se le debe asignar una distribución de sitios más cercanos uno del otro, para tener una mayor capacidad y minimizar los efectos de la atenuación del nivel de señal, debido a que las construcciones tienen paredes de gran espesor; otro factor importante es que en el centro de la ciudad de Puebla está prohibido construir torres, por lo que los sitios son bajos y es necesario incluir un mayor número en el diseño, además es necesario tomar en cuenta que la instalación de cualquier equipo por el tamaño de los contenedores e instalación de los mástiles y guías para los alimentadores en las azoteas requiere de permisos por parte del municipio y en su caso del INAH.

El operador en un principio contempla una captación de alrededor de 180 mil usuarios en los dos primeros años y un crecimiento de hasta 700 mil usuarios para finales del tercer año.

En la determinación del número aproximado de las BTSs para satisfacer la demanda, es necesario conocer el tráfico generado por el usuario; por ejemplo, en Europa se considera que un usuario hace una llamada por hora con una duración de 90 segundos, lo que resulta en una estimación promedio de 25 mE por usuario. En México, con base a los resultados estadísticos de la red activa D-AMPS de **Eritel**, se tiene un tráfico promedio de 3.76 mE en horas pico por usuario, con valores pico máximos de hasta 6 mE en algunas celdas, y con valores pico mínimos de 0.34 mE en algunas celdas de la periferia, por lo que resultará más acertado el cálculo del número de celdas utilizando el valor promedio en horas pico, con el objeto de no sobre dimensionar la red. La manera en que el operador calculó la demanda de tráfico por usuario para su nueva red se basó en datos reales tomados de las centrales de su red D-AMPS. Cabe mencionar que la diferencia en la utilización de los celulares en México comparada con la utilización en

países europeos se debe al costo de las llamadas y las restricciones impuestas en años anteriores a operadores internacionales para penetrar en el mercado internacional.

Otro factor importante en el cálculo de la dimensión nominal de la red se basa en el concepto de grado de servicio (GoS), el cual nos dice el porcentaje de llamadas que no serán atendidas. El valor que ha sido adoptado como el adecuado por los operadores es del 2%. Si el grado de servicio fuera menor, esto implicaría un número más elevado de equipo para garantizar la condición de servicio requerido, lo cual incrementaría el costo de las llamadas.

El número de frecuencias disponibles para los operadores determinan que patrón de reuso se utilizará en la red, en el caso de **Eritel** el ancho de banda concesionado sólo cuenta con 24 frecuencias de 200 Khz. cada una, de las cuales tres fueron inicialmente usadas como frecuencias de prueba, con lo que el número se vio reducido solamente a 21; bajo estas condiciones el único patrón de reuso posible es 1/1, en donde no existen grupos de frecuencias y el plan de frecuencia sólo es posible generarlo con una herramienta de predicción como puede ser TEMS *cell planner* de Ericsson o *Cell plan*.

Con base en lo expuesto, la red presenta las siguientes características:

- Número de usuarios al término de dos años: 180,000.
- Canales disponibles: 21.
- Plan de frecuencia: 1/1.
- GoS para canales de tráfico: 2%.
- Tráfico por usuario: 3.76 mE.

esto lleva a los siguientes resultados:

- Posible número de frecuencias por celda: $21/1 = 21$.
- cinco canales de tráfico por celda, que resulta de la configuración de un radio con 8 canales físicos, de los cuales uno está asignado al canal de control, otro al de señalización, y un tercero dedicado a manejo de datos.
- El tráfico por celda con 5 canales y un GOS = 2% implica 1.66 Erlangs por celda (Ver tabla B de Erlang en el apéndice B).
- El número de usuarios por celda: $1.66 E / 3.76 mE = 441$ usuarios en cada celda.
- Si hay 180,000 usuarios en la red, entonces el número de celdas necesarias es $180,000/441 = 409$ celdas aproximadamente.
- Por lo tanto, el número de sitios necesarios cada uno con tres sectores es: $409/3 = 137$ sitios.

Estos datos nos permiten iniciar el diseño.

Teniendo en cuenta la información anterior, para dar servicio a un número de 180,000 usuarios con las características mencionadas, es necesario montar una red de 137 sitios, cada uno con 3 sectores. Este planteamiento dista mucho de ser el número real de sitios, porque se contempla una red uniforme en cuanto a la distribución de tráfico y demandas específicas de ciertas áreas. En el caso de Puebla y Tlaxcala la distribución

de los sitios y el tráfico no son uniformes, por lo que el número de sitios debe adecuarse a la realidad, aun así el resultado anterior es una buena aproximación del número de sitios que el operador requiere para cumplir con sus expectativas comerciales.

En algunos casos, los sitios tendrán un número mayor de radios y su capacidad se verá incrementada, esto dependerá de la demanda del servicio en esas zonas. Para nuestro caso, como se conoce el comportamiento del tráfico en algunas zonas por los antecedentes de la red existente, se puede instalar previamente radios adicionales en los sitios en donde se sabe que habrá congestión en muy poco tiempo, en este proceso el personal de ingeniería del operador debe apoyar al equipo de diseño, señalando los sitios que presentan mayor ocupación en la red D-AMPS instalada, y por lo tanto necesitan un número mayor de radios en la red GSM por lanzar. El incremento de la capacidad en una celda al agregar un radio extra se refleja al pasar de 5 a 13 canales de tráfico, que con un grado de servicio del 2% puede dar servicio a 2,180 usuarios, comparado con los 441 usuarios a los que les puede dar servicio la misma celda con sólo 6 canales.

El sistema con 137 sitios y un radio por celda tiene una capacidad para 180,000 usuarios, si se incrementa el número de radios a dos, la capacidad se incrementa hasta 895,980 usuarios, lo que garantiza las expectativas de 700, 000 usuarios para finales del tercer año.

5.3. PLAN CELULAR NOMINAL

El Plan Celular Nominal lo constituyen las predicciones de cobertura y mejor servidora que se presentan al operador para su aprobación, así como una lista detallada de sitios con la configuración de antena, propuesta por el diseñador, que consiste en la altura de las antenas, dirección o acimut e inclinación o tilt, y el tipo de antena, la ubicación nominal del sitio, es decir el centro de lo que constituye el área de búsqueda formada por un círculo, cuyo radio depende si el sitio es rural o urbano, el tipo de antena y radio base a utilizar y la potencia de transmisión. El plan nominal se obtiene de la herramienta de predicción, para el diseño de Puebla y Tlaxcala se utilizó TEMS Cell Planner de Ericsson, en el apéndice D se muestran las características más importantes de la esta herramienta.

El plan celular nominal se construye a partir de los datos obtenidos del análisis de tráfico y cobertura presentado en el apartado anterior, de esta manera se toma como dato muy importante la cantidad de sitios requeridos para cumplir con las metas de capacidad. En el caso de Puebla y Tlaxcala la cantidad necesaria para lograr la capacidad planeada después del análisis fue de 137 sitios. Otra directiva que no fue incluida en el análisis de tráfico y cobertura, por estar relacionada directamente con la construcción de plan nominal, fue el utilizar todos los sitios D-AMPS (800 MHz) existentes para hacer más eficiente la búsqueda de sitios y aprovechar la infraestructura existente. Si dividiéramos el área de cobertura de Puebla y Tlaxcala en tres zonas, como se muestra la figura 5.2 tendríamos la siguiente distribución de sitios: 78 de D-AMPS existentes y 59 faltantes, con lo que se completarían los 137 propuestos al operador, los sitios debido a la resolución de la imagen aparecen como puntos.

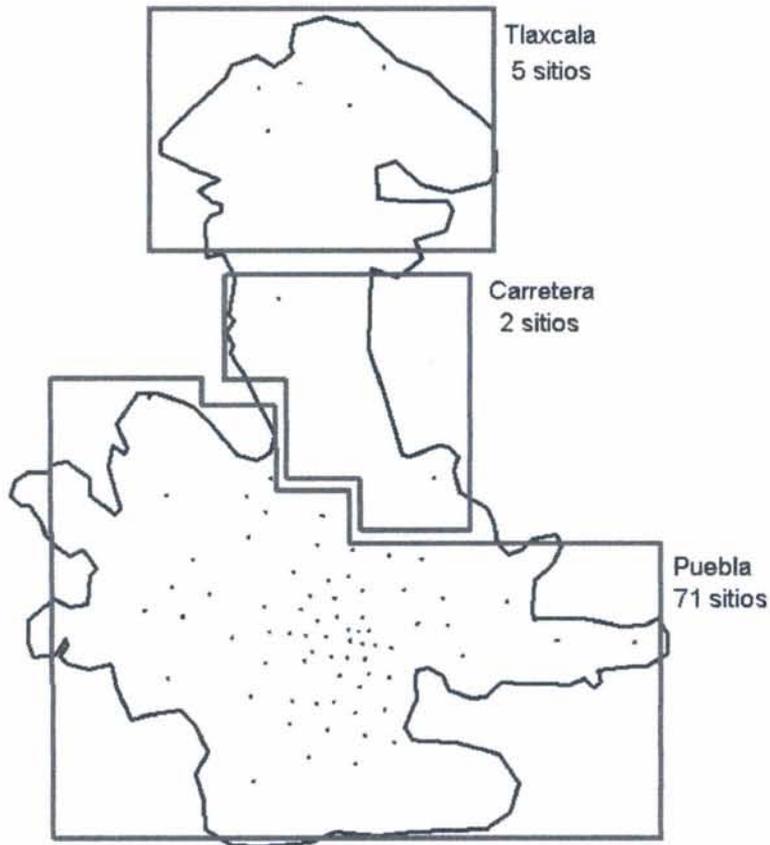


Figura 5.2. Sitios D-AMPS existentes en Puebla y Tlaxcala.

Es importante mencionar que un sistema operando en la banda de 1900 MHz necesita radio bases con cuatro veces más potencia que uno operando en la banda de 800 MHz, y que la penetración en interiores es menor, dado que las señales con una menor longitud de onda son más susceptibles a la atenuación en interiores, por lo que la cantidad de sitios necesaria para cubrir la misma área es mayor, es por esto que el número de sitios de la red GSM es mayor al número de sitios de la red D-AMPS existente.

Una vez que se obtuvieron los datos de las celdas existentes, por parte del departamento de Radiofrecuencia de Eritel, fue necesario generar las predicciones de cobertura utilizando los 78 sitios existentes. De estos sitios nominales, si bien ya se tenían los datos de la localización final y se contaba con la altura de las plataformas en los sitios instalados en torres y la altura de azoteas en sitios instalados en edificios, no en todos fue posible planear la instalación de las antenas a una altura estándar, por razones de espacio en algunos casos y por permisos de construcción en sitios del centro de la ciudad de Puebla y Tlaxcala. Los sitios nominales contemplaban celdas patrón con cambios en la configuración de éstas, dependiendo de la zona a cubrir y la localización de la misma. Los sitios patrón para el diseño del plan celular nominal cuentan con las siguientes características:

- Altura de 30 m para sitios instalados en torres.

- Altura de 20 m como mínimo en sitios ubicados en el centro de las ciudades.
- Tres sectores, a 120 grados de distancia entre los lóbulos principales, y con el haz principal del primer sector a partir del Norte geográfico, denominado sector A, a 38°.
- Antenas con un ancho de haz vertical igual a 65°, ganancia de 18 dBm e inclinación eléctrica variable de 0° a 8°.
- Radio bases con potencia de salida después del combinador igual a 43.3 dBm, que en este caso de estudio fueron RBS 2202 para aplicaciones en sitios a instalar en contenedores y RBS 2201 para sitios en donde no se contaba con un contenedor o éste carecía de espacio para el equipo adicional.

Una vez que se ingresaron los datos obtenidos por el operador respecto a los sitios existentes, y se adecuaron alturas, tipos de antena, tipo de radio base, se procedió con el diseño de los sitios nuevos para completar la cobertura y capacidad requeridas, basando la distribución de los mismos en la zona a cubrir, topografía del terreno e intereses del operador. En la figura 5.3 se muestra la predicción de cobertura con los 78 sitios existentes. En el mapa se muestra también el vector de cobertura requerido por el operador, el cual como ya se mencionó consiste en la zona en la cual se debe tener un 85 % de cobertura en interiores, y está indicado por la línea que rodea las dos ciudades.

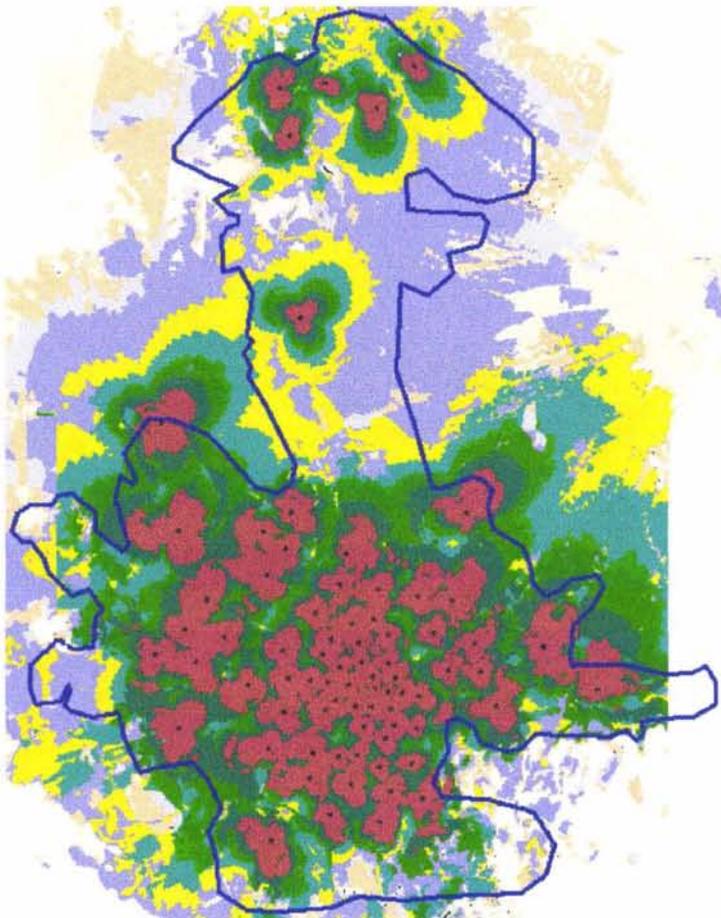


Figura 5.3. Cobertura con los 78 sitios GSM instalados en sitios D-AMPS existentes.

A continuación se muestran el procedimiento realizado para la ubicación de los sitios nuevos en la ciudad de Puebla. Utilizando la herramienta de predicción se ejemplificará con una zona en donde aparecen niveles de cobertura no suficientes para proporcionar cobertura en interiores en áreas urbanas. En la figura 5.4 se muestra la ubicación de esta zona, en relación al mapa de cobertura mostrado en la figura 5.3; En la misma figura 5.4 se muestran también los niveles de señal requeridos, en la parte inferior izquierda de la figura; en el caso de las áreas en rojo se trata de niveles de señal en exteriores mayores a -64 dBm, que son los necesarios según el algoritmo de la herramienta de predicción para proporcionar una cobertura del 98% en interiores ubicados en un entorno urbano, siendo así para las demás áreas mostradas.

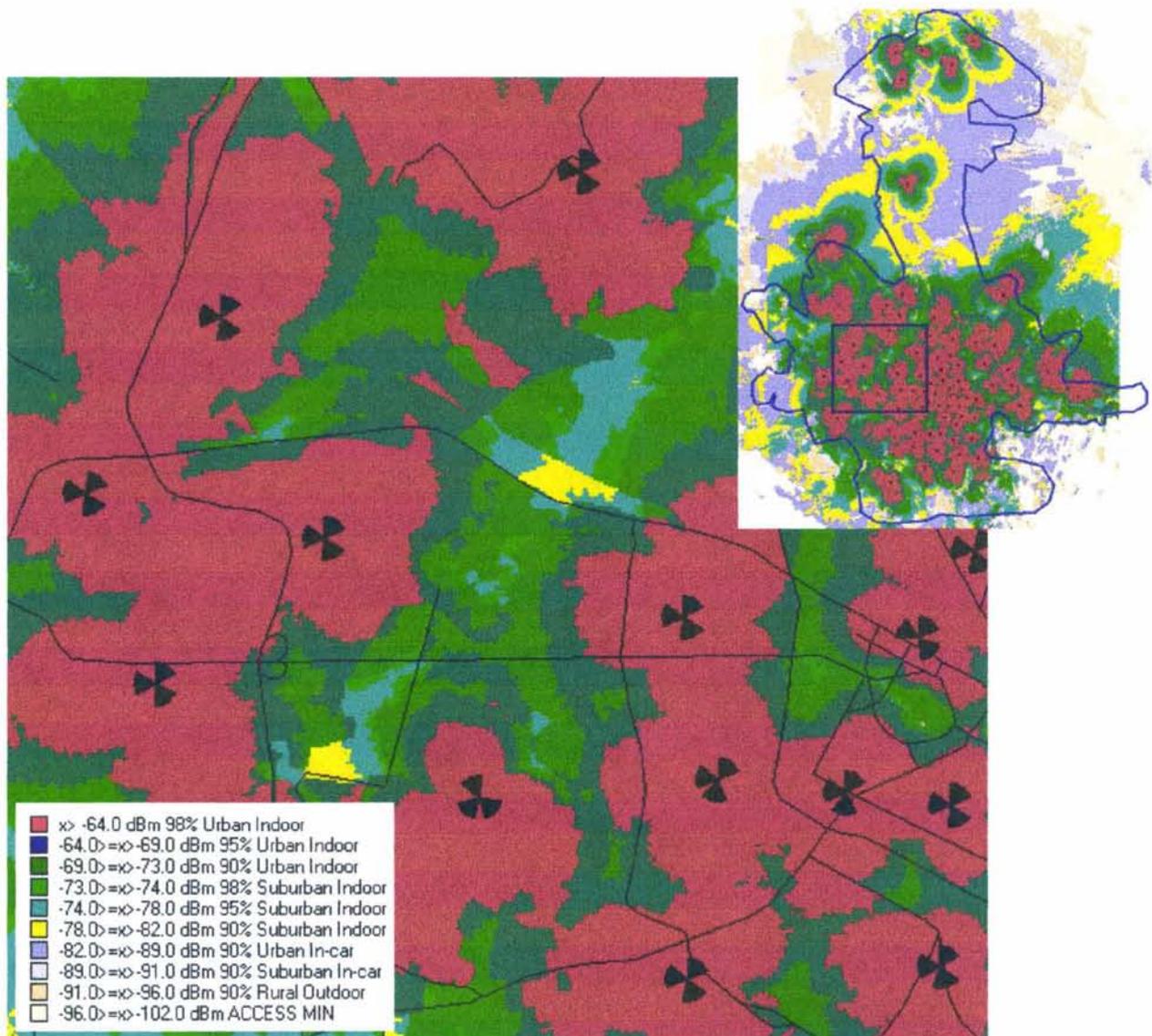


Figura 5.4. Zona en donde es necesario agregar sitios.

La figura 5.3 al igual que la figura 5.4 fueron obtenidas con la predicción de cobertura de TEMS Cell Planner y desplegadas en la ventana de vista en dos dimensiones (ver

apéndice D). En la figura 5.5 se muestra la misma ventana de la herramienta de predicción con los sitios y el tipo de terreno desplegados. A las áreas mostradas se les denomina tipo de terreno o *clutter*, que puede ser rural, urbano, urbano con edificaciones bajas, industrial, agrícola y otras más, dependiendo de la calidad del mapa adquirido para realizar las predicciones. Este mapa de *clutters* que utiliza la herramienta de predicción es generado por una compañía especializada en mapas digitales obtenidos vía satélite, en este caso el proveedor es **Source View**. A cada *clutter* se le asigna un valor de pérdida promedio por defecto, el cual ha sido definido en la herramienta, con base en las mediciones previas hechas por el fabricante de la herramienta, pero que debe ser optimizado con mediciones de campo después de que es aceptado el plan nominal. En la figura 5.5 se muestra dentro de un círculo la zona en donde es necesario agregar un sitio nominal para proporcionar una cobertura adecuada, en cinco zonas industriales, dos zonas urbanas con edificaciones bajas o *low urban*, tres pequeñas zonas residenciales importantes o *high residential* mostradas y tres zonas residenciales sin edificaciones altas.

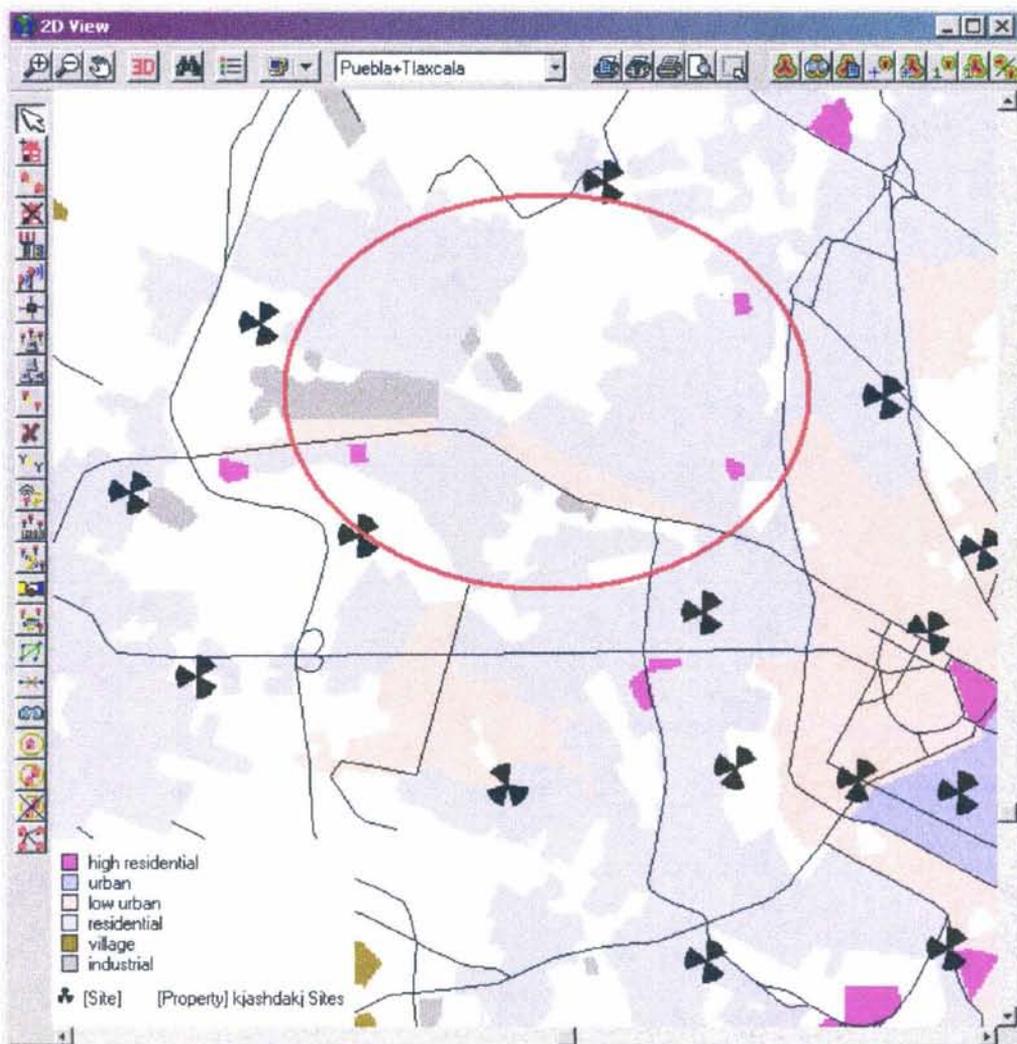


Figura 5.5. Ventana de vista en dos dimensiones mostrando los tipos de terrenos en el área.

En las áreas que aparecen en blanco, los tipos de terreno no han sido mostrados por carecer de importancia en la decisión de la ubicación del sitio nuevo, en estas áreas el tipo de terreno es agrícola o presenta terreno sin edificaciones.

Una vez que se ha observado el tipo de terreno que necesita cobertura, es necesario decidir la ubicación del nuevo sitio. En la figura 5.6, que es la ventana en dos dimensiones, podemos ver las líneas que determinan el grid, es decir, la rejilla o distribución con la cual fueron ubicados los sitios D-AMPS; se observa la necesidad de tres sitios para completar la distribución de GSM, tomando en cuenta que los sitios GSM 1900 en zonas urbanas se ubican aproximadamente a una distancia de 1 Km., para poder proveer la capacidad adecuada y mantener los niveles de interferencia bajos. En el círculo ubicado en la parte inferior derecha se han señalado sitios existentes, cuyo distribución es más cercana, por estar ubicados en las áreas urbanas más congestionadas.

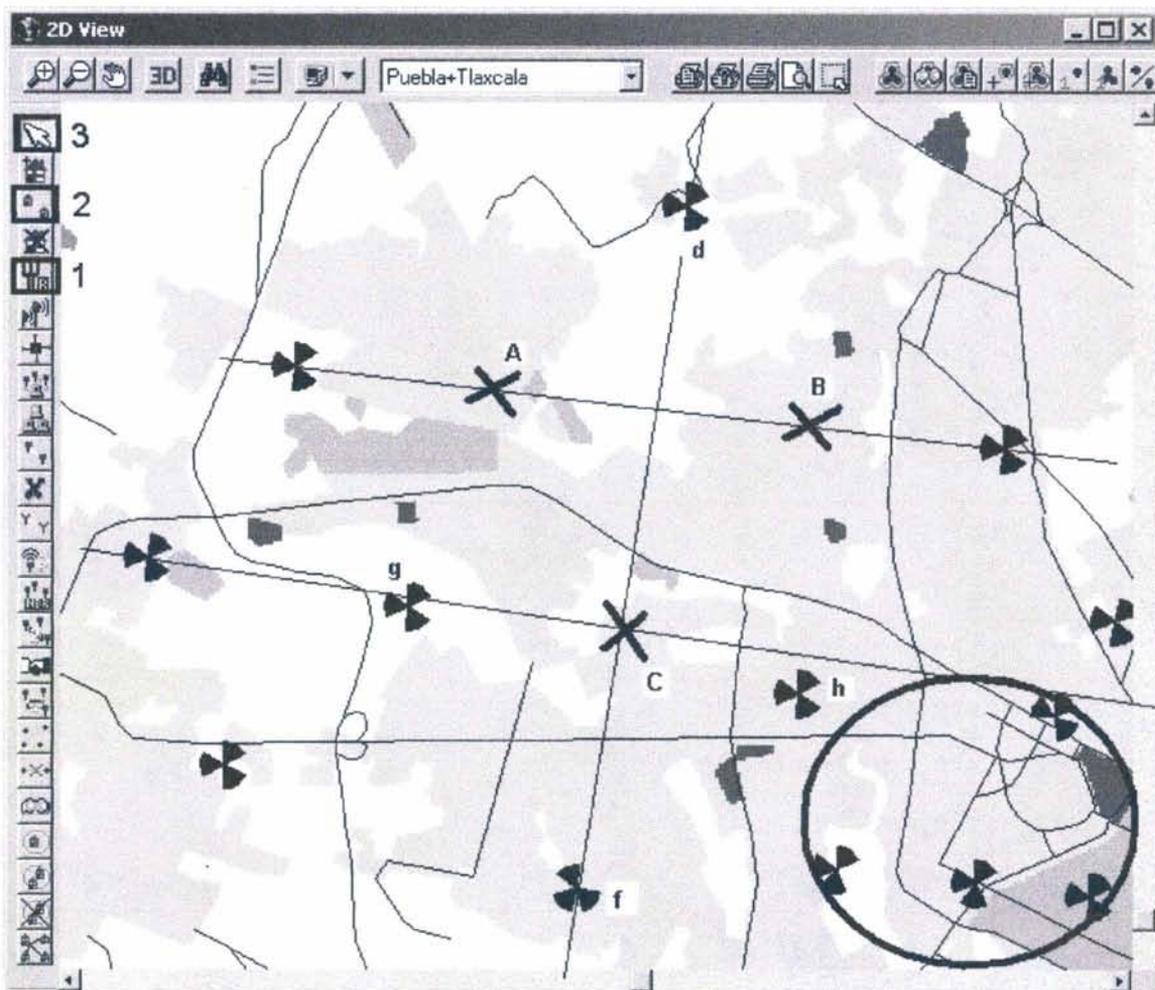


Figura 5.6. Ubicación de un sitio GSM nuevo.

Del análisis del grid y las zonas urbanas que se desean cubrir, observamos que existen tres sitios faltantes en la zona señalados con las letras A, B, C. Es importante

mencionar lo importante que es respetar el grid, porque si en un futuro es necesario instalar sitios para incrementar la capacidad, la distribución uniforme de los sitios originales evitará su reubicación para permitir la instalación de nuevos.

Para agregar un sitio o moverlo, si la ubicación no fue satisfactoria, se requieren tres botones de comando, que han sido señalados en la figura 5.6, con los números 1 y 2, el botón indicado con el número 3 sirve para marcar algún sitio y modificar alguna de sus características en la ventana de la base de datos (ver apéndice D), y obtener la predicción de cobertura de ese sitios o desactivar los botones 1 y 2. Las características del equipo para un nuevo sitio que se agrega a la base de datos se encuentran definidas en un templete que puede estar hecho para todo el país, una ciudad, o una zona, y esto está orientado a que el diseñador no tenga que ingresar todas las características de un sitio cada que agrega uno nuevo. En la barra de herramientas que se muestra en la figura 5.7, del menú de opciones, se encuentra el acceso a la ventana de Template (templete), en la cual se pueden modificar las características del templete de sitios para una ciudad, para Puebla se definieron ciertas características, las cuales son:

- Altura de las antenas a 30 m.
- Radio bases 2102 de Ericsson equipadas con un combinador tipo A.
- Antenas Kathrein con 65° de apertura horizontal, ganancia de 18 dBi e inclinación eléctrica variable.
- Potencia de salida antes del combinador igual a 45 dBm.

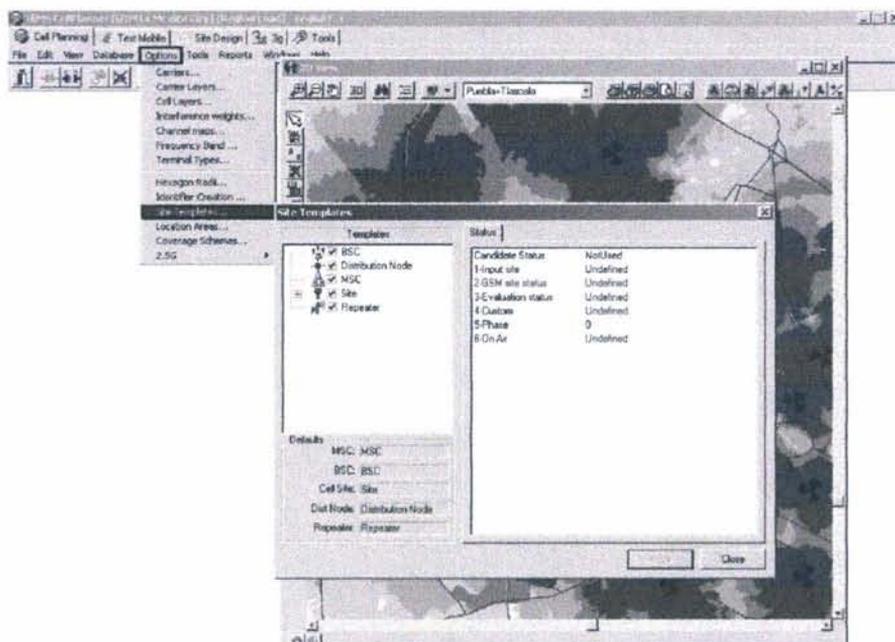


Figura 5.7. Ventana con el templete de sitios para la ciudad de Puebla.

Los criterios para la elección del tipo de radio base, tipo de antena, calibre del alimentador, tipo de CDU y potencia de salida, para realizar la predicción se describen más adelante, una vez mostrados los criterios para agregar un sitio nuevo.

Una vez definido el template para la ciudad es necesario agregar el sitio gráficamente en la ventana de vista en dos dimensiones, como se muestra en la figura 5.8. Inicialmente se muestra un sitio nuevo, el cual ha sido señalado con una flecha, con el se pretende cubrir la zona en donde es necesario agregar tres sitios, y se ha ubicado en la zona de más bajos niveles de señal mostrada en amarillo.

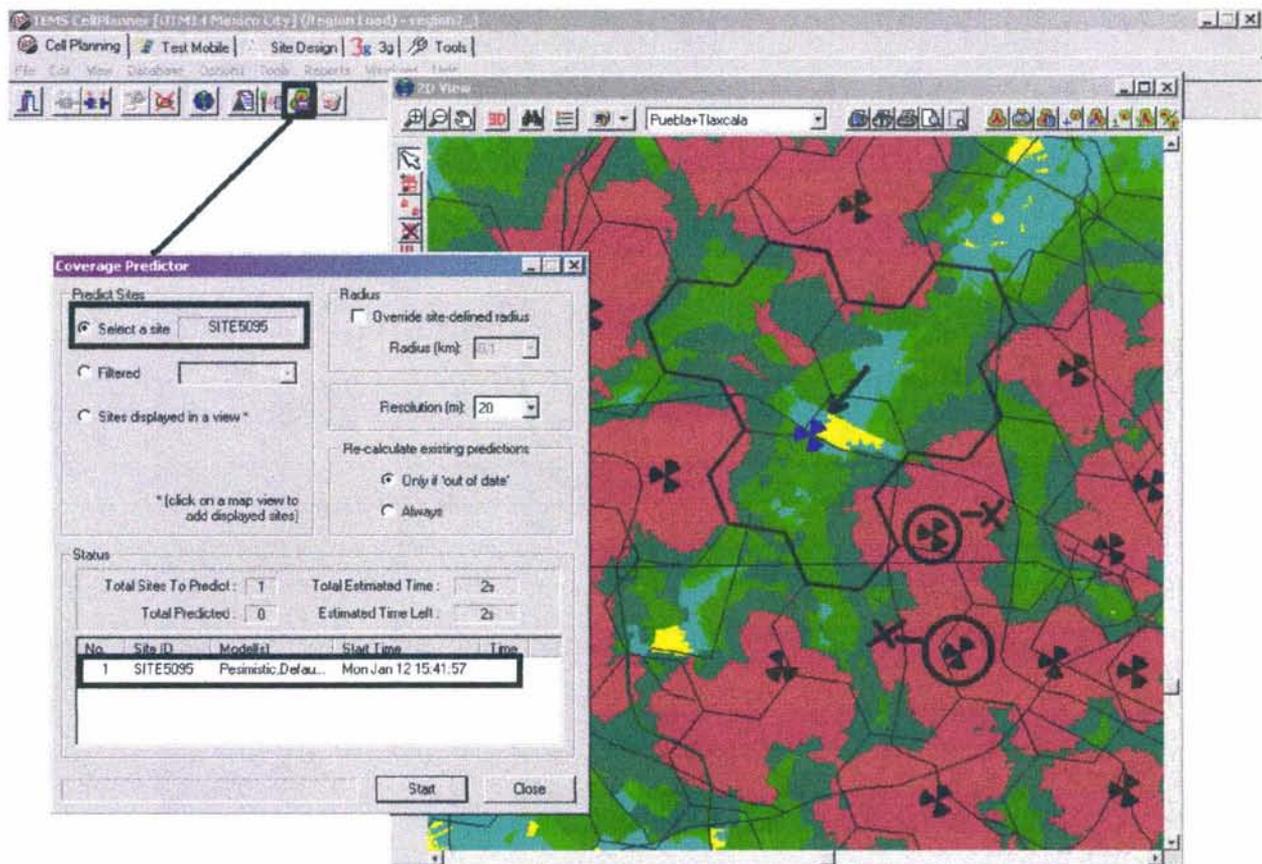


Figura 5.8. Ventana de predicción para sitio nuevo.

Como se observa en la figura 5.8 los dos sitios existentes, encerrados en círculos, se encuentran movidos de las posiciones ideales en el grid, las cuales han sido marcadas con una cruz, lo que genera un problema futuro si se decide ampliar el número de sitios en el área, además de un problema en el diseño nominal, porque será necesario modificar la configuración del sitio en cuanto a la posición, la dirección o la altura de las antenas, para impedir que las coberturas se solapen demasiado. Es importante resaltar que incrementar la altura de un sitio no es recomendable en un entorno urbano, porque implica introducir interferencia en el sistema y es posible crear un celda con una cobertura descontrolada, si las características del terreno lo permiten. El siguiente paso es generar la predicción de cobertura compuesta, es decir la predicción del sitio nuevo interactuando con los sitios circundantes. La cobertura se genera con el acceso directo mostrado en un recuadro, cuya función es desplegar la ventana de predicción de cobertura, que inicia el proceso del cálculo de los niveles de señal en cada punto mostrado en el mapa.

En la figura 5.9 se muestra, en la parte izquierda, el resultado de la predicción para el sitio nuevo en un posición fuera del grid, e intentando cubrir las zonas en donde no hay sitios. Como se puede observar, el sitio no cubre adecuadamente la zona con deficiencias, es necesario modificar su altura con las consecuencias mencionadas en cuanto a interferencia, así respetaremos el grid. En la imagen derecha de la figura se muestra el sitio movido hasta la posición que le corresponde en el grid, pero el traslape de las coberturas con el sitios más próximos, ubicados a su izquierda, obliga a modificar la posición del sitio en un lugar que no es el óptimo en relación al grid, esto para corregir el hecho de que su vecino existente no está colocado de manera ideal.

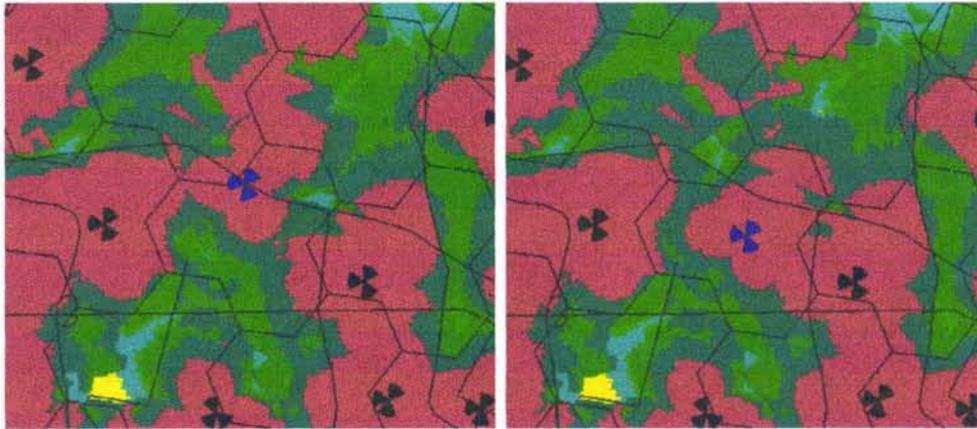


Figura 5.9. Predicciones compuestas para el sitio nuevo fuera y en la posición ideal dentro del grid.

En la figura 5.10 se muestra el sitio nuevo movido hacia el suroeste unos 500 m, y vemos que la cobertura de sus celdas A y B del sitio nuevo ya no se solapa con la cobertura de la celda C del sitio existente más próximo, aún así se optimiza la cobertura de la celda B con un cambio del altura de 30 a 40 m y se observa que este sector cubre de mejor manera, aunque fue necesario inclinarlo 2° eléctricos que sumados a los 2° originales nos da un total de 4° de inclinación eléctrica.

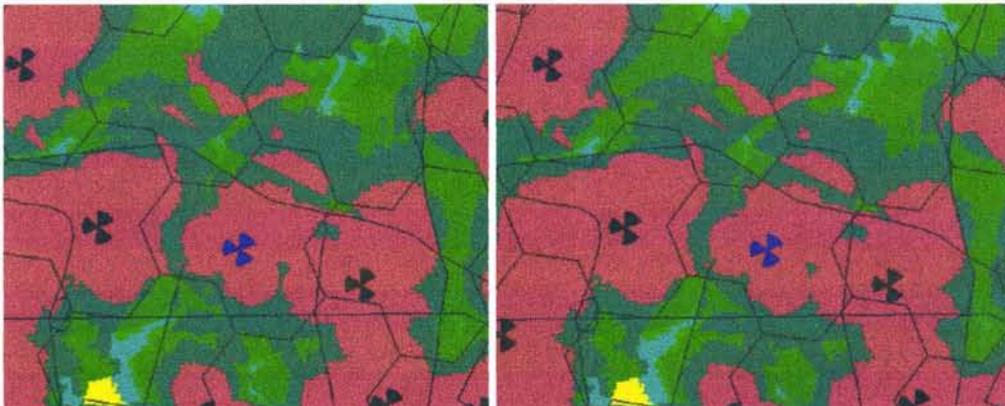


Figura 5.10. Predicciones compuestas de un sitio nuevo ajustado de la posición ideal en el grid y con modificaciones de los parámetros de antena.

Al agregar un sitio nuevo, es muy importante considerar la importancia del tipo de zona que se desea cubrir, así como la distribución de los sitios circundantes para que la red sea lo más uniforme posible, para controlar la interferencia que genera y de esta manera permitir la instalación de sitios nuevos sin la necesidad de reubicar los existentes. Es necesario saber claramente porque se instala un sitio en determinada zona, es decir, si el sitio es para proveer cobertura, es un sitio para optimizar alguna zona, o es un sitio en un lugar en donde la facturación es alta; con el objeto de configurar el sitio de manera adecuada acorde a las necesidades de los usuarios a los que dará servicio. Por ejemplo: si el sitio ha sido instalado por cobertura, es necesario subir la antenas con el propósito de cubrir la mayor área posible, de manera que los niveles de señal hasta antes de solapar su cobertura con un sitio vecino sean los suficientes para realizar una llamada en interiores en un entorno suburbano, o rural. Por el contrario, si el interés es cubrir una zona urbana con edificaciones muy altas, el sitio debe tener una altura mayor a los edificios cercanos y la cobertura debe ser controlada, el patrón de radiación de las antenas debe estar dirigido lo más cercano al sitio y no tener lóbulos traseros. Además es necesario realizar una predicción de la interferencia generada por el sitio, con el objeto de balancear la cobertura con la calidad de los sitios lejanos.

5.3.1. Criterios de selección de equipo

A continuación explicaremos el criterio de selección de equipo, dando antes las características importantes de cada componente del sistema involucrado en el diseño del plan nominal. Es importante decir que en este tipo de proyectos, se realizan acuerdos comerciales con el fabricante, que obligan al operador en muchas ocasiones a instalar todos los componentes de la red fabricados por un mismo proveedor, aunque por estándar se pueden utilizar componentes fabricados por diferentes proveedores en una misma red, en este caso las radio bases disponibles son fabricadas por Ericsson. Las antenas recomendadas por el equipo de diseño son marca Kathrein, aunque en algunos casos por falta de material en bodega se instalaron antenas de otro fabricante, con la aprobación y modificaciones pertinentes en la configuración de antena por parte del diseñador a cargo, en el caso de los alimentadores se instalaron marca Andrew y los TMAs utilizados fueron marca Ericsson. Para diferentes aplicaciones cada uno de los fabricantes tiene definidos diferentes tipos de radio bases, las cuales son adecuadas para diferentes tipos de aplicación, en este caso las radio bases utilizadas son:

RBS 2202. Radio base para instalación en interiores, dos radios por celda, con capacidad de hasta seis radios, estas radio bases tienen una potencia de salida antes del combinador de 47 dBm.

RBS 2101. Radio base para instalar en exteriores con capacidad para dos radios, al igual que la radio base 2102, todos los componentes de esta radio base se encuentran en un gabinete climatizado, igual que las otras tres radio bases de la serie proporciona una potencia de hasta 47 dBm antes del combinador.

RBS 2102. Radio base para instalar en exteriores, todos los componentes están instalados en un gabinete climatizado para su instalación en la intemperie; al igual que

la radio base 2202, puede ser configurada con hasta seis radios, dos por celda y también proporciona una potencia de salida antes del combinador de 47 dBm.

RBS 2302. Radio base micro, para instalar en exteriores o interiores, equipada con dos radios y con una potencia de salida de 33 dBm, esta radio base no está equipada con ningún combinador y se utiliza para dar cobertura dentro de edificios.

En este tipo de radio bases es importante la elección del tipo de combinador con el cual se pueden equipar y depende de la aplicación o requerimientos del cliente. Básicamente existen tres tipos de combinadores: CDU A, CDU C+ y CDU D, los dos primeros son combinadores híbridos que permiten la utilización de salto en frecuencia, la diferencia respecto a un CDU C+ es que el CDU A está optimizado para una máxima salida de potencia. Mientras que después de un CDU A, la potencia de la radio base es de 43.3 dBm, después de un combinador tipo C+ la potencia es 40 dBm. Como el combinador tipo A ha sido optimizado para proporcionar un máxima salida de potencia sólo se le pueden conectar hasta dos radios o TRUs por antena, en el caso de los CDU tipo C+ se pueden conectar hasta 4 radios por antena. El CDU tipo D no está disponible para GSM 1900, pero con este tipo de combinador se pueden conectar hasta 12 radios por antena y no es posible utilizar salto en frecuencia. Otra ventaja del CDU tipo A es que permite la conexión de TMA.

El tipo de cable es fabricado por diferentes compañías y los valores típicos de pérdida en alimentadores se muestran en la tabla 5.1. El tipo más común de alimentador utilizado es de 7/8", en el proyecto el único calibre que no se utilizó fue el de 1/2". Durante el diseño no se selecciona de que calibre será el alimentador en la instalación, pero con base en la altura del sitio se hace una estimado; por ejemplo, si el sitio tiene 30 m de altura se toman en cuenta 35 m para incluir las terminaciones del alimentador a la radio base, o a la antena. En la tabla 5.1 también se muestra el rango de longitud recomendada para cada tipo de cable. Además de la pérdida en los alimentadores es necesario tomar en cuenta la pérdida de cualquier cable terminador, los cuales se instalan entre el alimentador y la antena o el alimentador y la RBS, y cuya pérdida no debe exceder 0.5 dB, también es importante limitar la pérdida por cada conector igual a 0.1 dB. Como el área de ingeniería es la encargada de hacer la implantación, dependiendo de las adecuaciones en el sitio y la trayectoria de los alimentadores, la selección correcta del calibre del alimentador es su responsabilidad, tomando en cuenta que la pérdida del alimentador, terminadores y conectores desde la salida de la RBS y hasta llegar a la antena no debe exceder 3 dB.

Tipo de alimentador	Pérdida [dB/100 m]	Longitud recomendada [m]	Para utilizar en RBS
LCF 1/2 "	10.5	0-15	2302
LCF 7/8 "	6.5	0-30	2101/2202/2102
LCF 1 1/4"	5.3	30-50	2101/2202/2102
LCF 1 5/8"	4.2	50	2101/2202/2102

Tabla 5.1. Pérdida estándar en tipos de alimentador comúnmente utilizado.

Algunos fabricantes desarrollan diferentes tipos de cables, con pérdidas menores a las mostradas en la tabla 5.1, pero con impacto directo en el costo. Se pueden utilizar cables con una pérdida mayor, dependiendo de los acuerdos entre el área de ingeniería y el operador, lo importante es mantener, como ya se mencionó una pérdida menor a 3 dB.

El otro elemento en el diseño de la etapa de radiofrecuencia de una red GSM es la antena. Para disminuir la interferencia que la misma red GSM crea, es necesario controlar al máximo la cobertura de las celdas y por esto es importante que la antena utilizada no tenga muchos lóbulos traseros, o que estos sean los más pequeños posible. Una antena direccional para GSM tiene cuatro características principales:

- Ganancia.
- Apertura vertical.
- Apertura Horizontal.
- Inclinación eléctrica.

Con base en las necesidades y tipo de terreno a cubrir se decide que tipo de antena usar, por ejemplo, para dar cobertura a una carretera, seleccionaremos una antena con ganancia alta, es decir 21 dBi o más, una apertura horizontal pequeña, como por ejemplo 22°, y una inclinación eléctrica variable. En el caso de una aplicación en ciudad se busca una antena con una ganancia estándar 15 o 18 dBi, una apertura horizontal mediana, que puede ser de 65°, y una inclinación de mínimo 2° eléctricos, pero es muy importante que los lóbulos por encima del haz principal sean pequeños, puesto que en este tipo de aplicaciones es necesario concentrar la energía muy cerca del sitio. En la figura 5.11 se muestran los patrones de radiación de las antenas disponibles para ser utilizados en el diseño de la ciudad de Puebla y Tlaxcala, de las marcas: *Kathrein*, *Decibel* y *EMS*. Las tres están clasificadas en la base de datos de antenas de TEMS Cell planner, con 18 dBi de ganancia, 4° de inclinación eléctrica, y 65° de apertura Horizontal.

Este tipo de antenas se utilizan en sitios ubicados en zonas urbanas. Algunas de las ventajas y desventajas de estas tres antenas son:

EMS. El patrón de radiación vertical, mostrado en las dos primeras gráficas de la figura 5.11, nos muestra que estas antenas tienen pocos lóbulos por encima del lóbulo principal, lo que las hace idóneas para cubrir zonas densamente urbanas o en sitios muy altos, ya que la mayor parte de la energía se concentra bajo la antena, otra aplicación puede ser en áreas fronterizas, en donde es importante controlar la posible interferencia a la red de otro país; aunque tiene dos desventajas, se puede observar en el patrón de radiación horizontal que existen un lóbulo trasero grande, además, la inclinación eléctrica es fija.

Decibel. El patrón de radiación vertical de este tipo de antenas presenta múltiples lóbulos, con varios de ellos en la parte trasera, el mismo problema se observa en el patrón de radiación horizontal, donde se observa un lóbulo trasero pronunciado. Este tipo de antena no es recomendado para su instalación en aplicaciones en donde la zona es densamente urbana, ya que la cobertura de las mismas no está controlada,

aunque se le incline mecánicamente los lóbulos que aparecen en el patrón de radiación vertical sobre el lóbulo principal se pueden propagar muy lejos y causar interferencia en celdas lejanas.

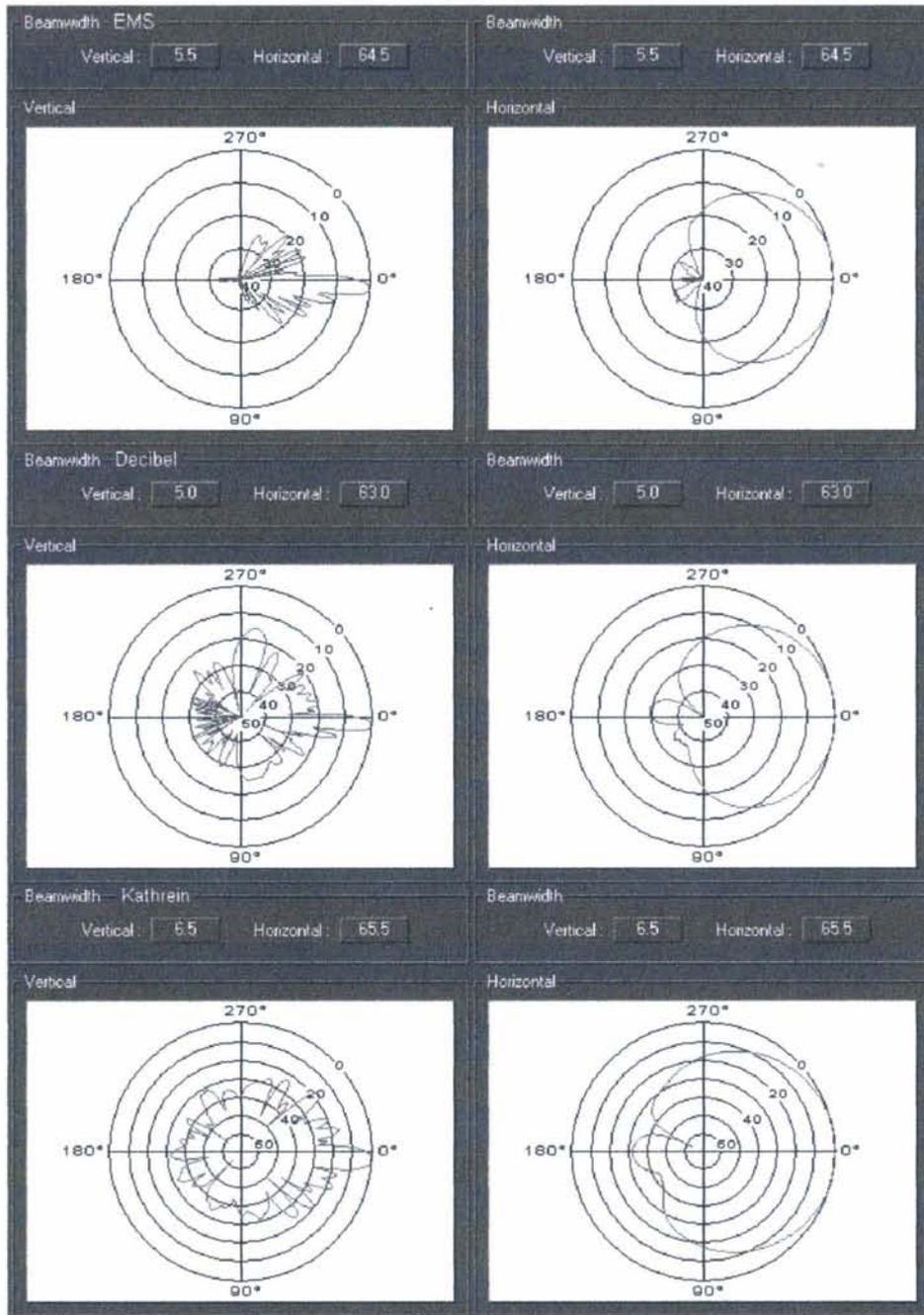


Figura 5.11. Patrones de radiación para antenas instaladas en zonas urbanas.

Este tipo de antena se recomienda utilizar en ciudades pequeñas de no más de veinte sitios y en donde las características del terreno confinen la señal de las mismas.

Kathrein. En este caso el patrón de radiación vertical presenta también una gran cantidad de lóbulos secundarios, pero de menor intensidad y con variación más uniforme que el mostrado en las dos anteriores, es un antena con una característica de radiación más controlable que en el caso de la antena Decibel, y con la ventaja de contar con inclinación eléctrica variable, su utilización puede ser tanto en zonas densamente pobladas o sólo urbanas.

De las consideraciones respecto al equipo a utilizar, podemos decir que en la ciudad de Puebla y Tlaxcala, en las zonas urbanas y densamente urbanas en aplicaciones en donde se tenga un sitio existente D-AMPS, se deben utilizar radio bases RBS 2102, que son para instalación dentro de un contenedor, siempre y cuando se tenga espacio en el mismo. En los sitios nuevos es adecuado utilizar radio bases RBS 2202, que están listas para funcionar sin la necesidad de contenedor. El CDU recomendado es tipo A, por estar optimizado para máxima potencia, lo que es de gran utilidad en el centro de las ciudades de Puebla y Tlaxcala, en las zonas suburbanas el tipo de CDU puede ser tipo C+, que es el estándar. El tipo de antenas en el centro de la ciudad deben ser EMS, para las zonas urbanas se recomiendan antenas Kathrein, si no hay material disponible, se pueden utilizar antenas Decibel para instalación, cuidando que la interferencia en sitios lejanos no sea importante. Con este tipo de consideraciones es como se conforma el templete para sitios en una ciudad determinada, y las modificaciones pertinentes al mismo las realiza el diseñador.

El proceso para agregar sitios es el mismo en la mayoría de los casos, con algunas variantes cuando se consideran zonas en donde es necesario dar sólo cobertura y el tipo de zona a cubrir es de cultivo o similar, como sucede en algunos tramos de las dos carreteras entre Puebla y Tlaxcala, en donde se puede cambiar el tipo de antena por una de mayor ganancia, de manera que la señal se concentre en la carretera.

5.3.2 Resultados de Plan Nominal

Una vez completados los sitios nominales nuevos, en la figura 5.12 se muestra el plan nominal, con los sitios existentes de la red D-AMPS encerrados en un círculo. La red D-AMPS existente se pretende mantener activa y paulatinamente migrar el tráfico hacia la nueva red GSM.

El número final de sitios depende de las negociaciones entre el proveedor del servicio y el operador. En este proyecto **Eritel** canceló 6 sitios, por que su presupuesto anual consideraba una menor cantidad de dinero para el despliegue de la fase 2 en la región 7, eliminando después de analizar en el plan nominal, los sitios que en opinión del equipo formado por personal del departamento de RF de **Eritel** y los consultores de diseño eran prescindibles. Las tres consideraciones recomendadas por equipo de diseño para sitios candidatos a cancelación fueron:

- Sitios diseñados sólo por cobertura.
- Sitios que no fueran existentes D-AMPS.
- Sitios ubicados en zonas de poco interés comercial.

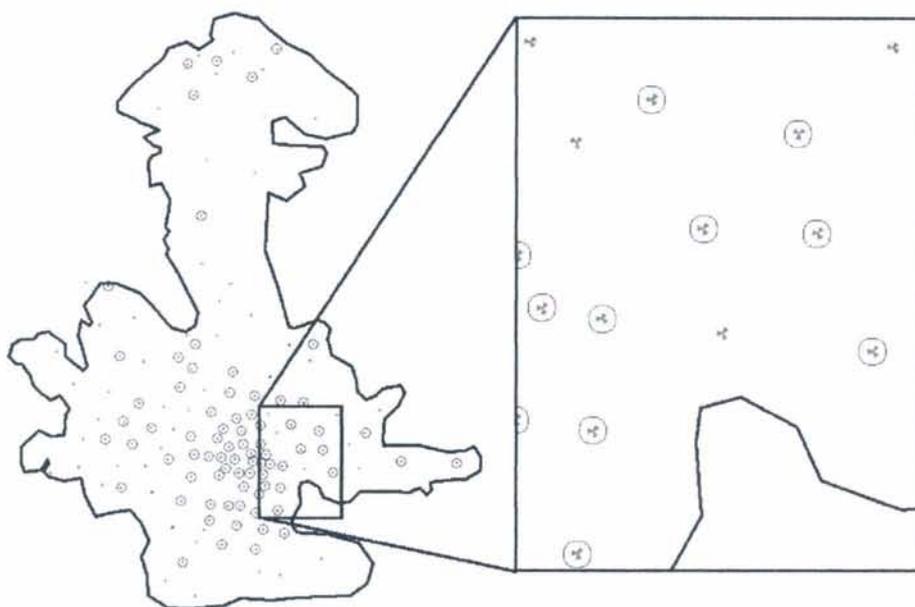


Figura 5.12. Plan nominal con los sitios existentes D-AMPS marcados con un círculo.

En la figura 5.13 aparecen en rojo tres de los sitios eliminados, que darían continuidad en la cobertura del periférico; en un rectángulo azul aparece la posición de estos sitios respecto al vector de cobertura. En la figura 5.14 se muestran los otros tres sitios eliminados en la vía corta a Tlaxcala. De esta forma el plan nominal se hizo considerando 131 sitios aprobados por el operador, en donde algunos por consideraciones de tráfico quedaron únicamente con dos sectores.



Figura 5.13. Sitios del periférico en Puebla eliminados del plan nominal.

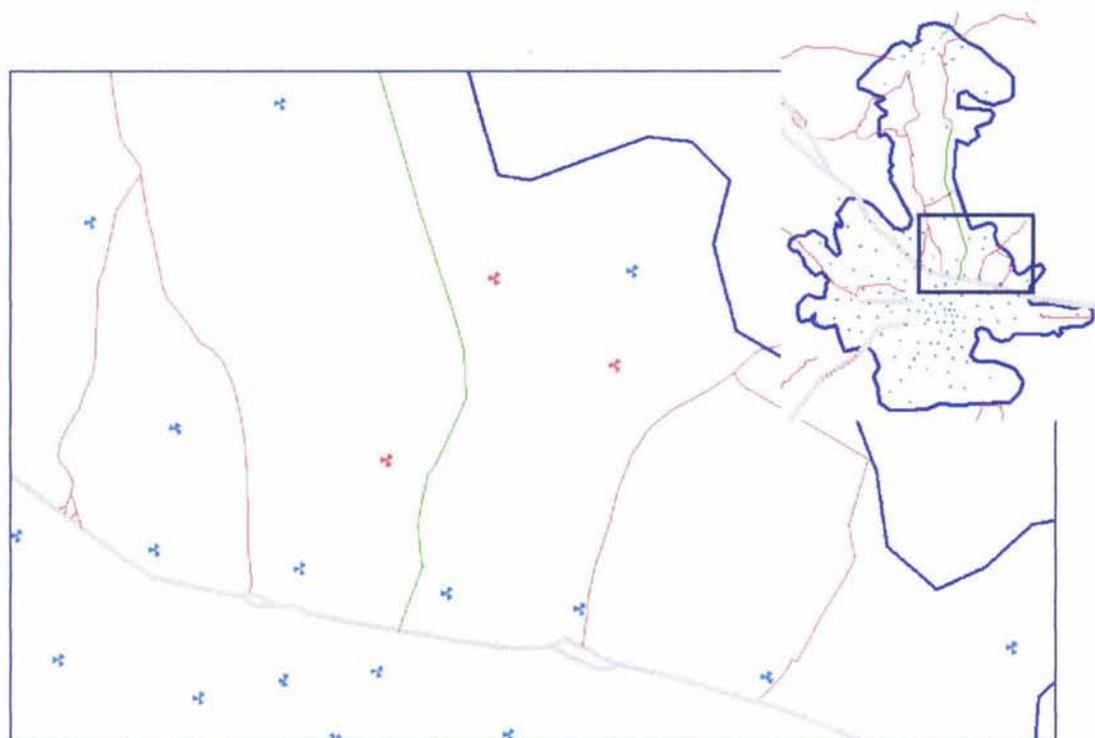


Figura 5.14. Sitios de la vía corta a Tlaxcala eliminados del plan nominal.

Las predicciones de los niveles de cobertura o mejor celda servidora para los 131 sitios nominales fueron generadas con TEMS *cell planner* de Ericsson. La predicción de cobertura muestra los niveles esperados en las diferentes áreas por cubrir, y es un resultado gráfico que se presenta al cliente, para que este apruebe el plan nominal y se proceda a la búsqueda de sitios. Los niveles de diseño calculados por la herramienta de predicción se encuentran en la figura 5.15, en donde se expresa en porcentajes la probabilidad de que en cierto tipo de área se obtengan los niveles señalados.

Mejor servidora GSM 1900 capa inferior		
■	$x > -64.0$ dBm 98%	Interior urbano
■	$-64.0 >= x > -69.0$ dBm 95%	Interior urbano
■	$-69.0 >= x > -73.0$ dBm 90%	Interior urbano
■	$-73.0 >= x > -74.0$ dBm 98%	Interior suburbano
■	$-74.0 >= x > -78.0$ dBm 95%	Interior suburbano
■	$-78.0 >= x > -82.0$ dBm 90%	Interior suburbano
■	$-82.0 >= x > -89.0$ dBm 90%	Dentro de auto urbano
■	$-89.0 >= x > -91.0$ dBm 90%	Dentro de auto suburbano
■	$-91.0 >= x > -96.0$ dBm 90%	Exterior rural
■	$-96.0 >= x > -102.0$ dBm	Acceso mínimo

Figura 5.15. Niveles de diseño para el plano de cobertura de Puebla y Tlaxcala.

En la figura 5.16 se muestra la predicción de cobertura para las ciudades de Puebla y Tlaxcala. Los puntos negros representan los sitios, los cuales están representados por sectores que indican la dirección de las antenas de cada celda, la línea azul marca el

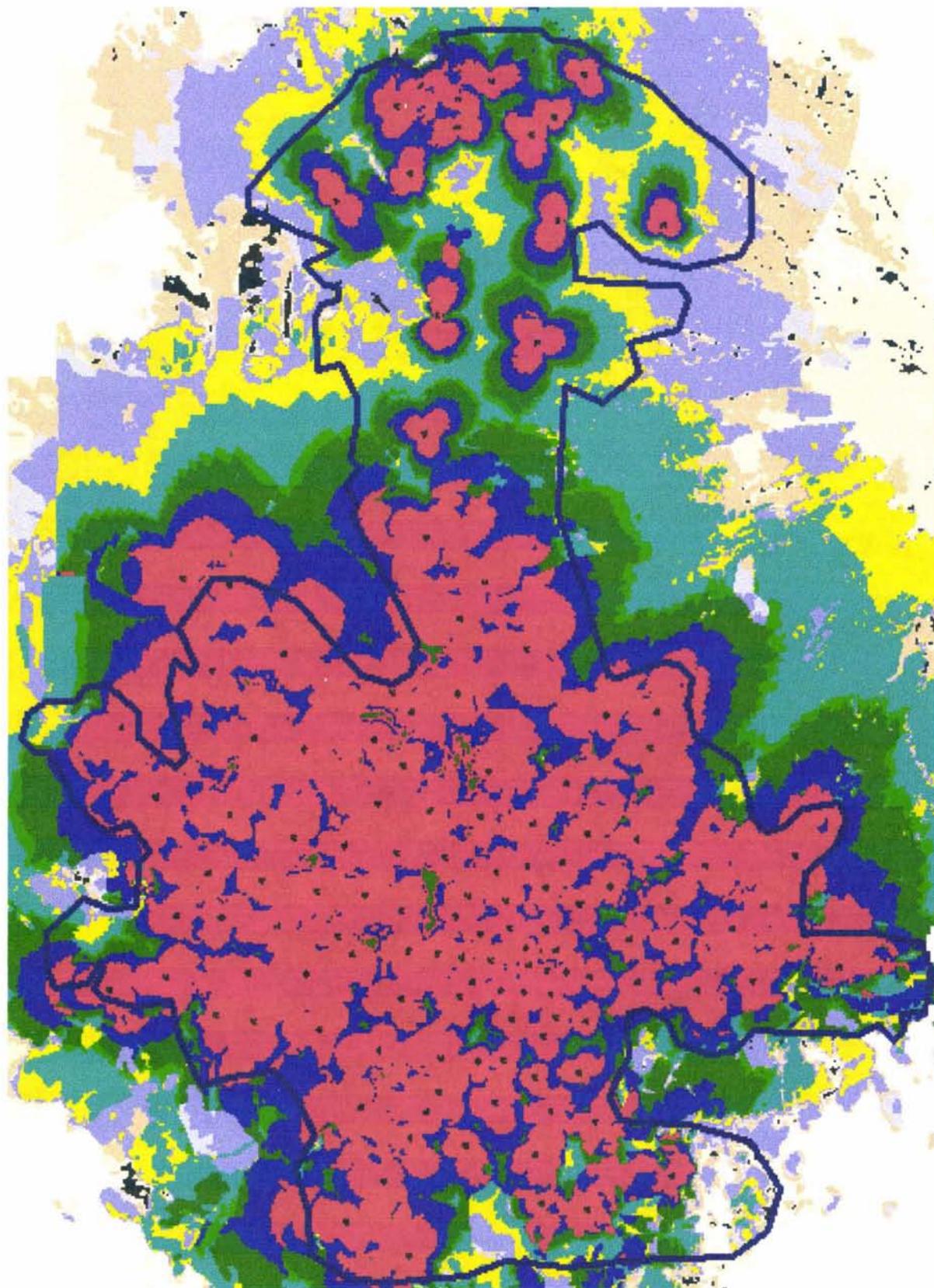


Figura 5.16. Plano de predicción de cobertura del plan nominal para Puebla y Tlaxcala.

perímetro del área en la que el operador requiere una cobertura del 85% en interiores, que se conoce como vector de cobertura, por ejemplo, las áreas con rojo en la figura 5.16 representan la zona en donde existe un 98% de probabilidad de encontrar niveles mayores a -64 dBm en exteriores, suficientes para proveer una cobertura en interiores en una zona urbana. En el caso de las áreas azul oscuro se representa las áreas con una probabilidad del 95% de obtener niveles mayores a -69 dBm y menores a -64 dBm, suficientes también para proporcionar una cobertura en interiores en un entorno urbano.

Otra parte fundamental del plan nominal es la lista de sitios nominales, que proporciona los datos necesarios para la búsqueda de sitios, o adecuación de los sitios D-AMPS existentes, una vez que el plan nominal ha sido aceptado. Esta lista, en conjunto con las predicciones de cobertura y mejor servidora constituyen el plan nominal, de esta lista, es fundamental la ubicación de cada sitio expresada en coordenadas, la dirección de cada uno de los sectores, la altura planeada, el anillo de búsqueda de cada uno, y el tipo de radio base a utilizar. En la tabla 5.2 se presenta parte de la lista de sitios nominales generada por TEMS Cell Planner y procesada con una hoja de cálculo.

	Site ID	Latitude	Longitude	BTS	Cell ID	Antenna Type	Height	Azimuth	Tilt
Puebla	PUE2037	19°01'3.39"N	98°15'10.30"W	2202	PUE2037A	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M	30	30	1
					PUE2037B	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M	30	150	2
					PUE2037C	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	28	260	0
Puebla	PUE2237	19°03'17.21"N	98°13'5.69"W	2206TCC	PUE2237A	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	25	53	2
					PUE2237B	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	25	158	0
					PUE2237C	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	25	300	1
Puebla	PUE2637	19°04'56.75"N	98°08'34.18"W	2202	PUE2437A	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	30	30	1
					PUE2437B	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	30	150	2
					PUE2437C	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M	30	260	0
Puebla	PUE2437	19°03'55.75"N	98°09'12.20"W	2102	PUE2437A	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	26	50	2
					PUE2437B	65_2X_18P_DB_932DD65T2-M	26	190	2
					PUE2437C	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M	26	300	0
Puebla	PUE4037	18°59'35.21"N	98°14'41.60"W	2202	PUE4037A	65_6X_18P_KA_742212	30	45	0
					PUE4037B	65_2X_18P_KA_742212	39	140	0
					PUE4037C	65_1X_18P_KA_742212	30	270	0

Tabla 5.2. Lista parcial de sitios nominales.

5.4. INSPECCIÓN DE SITIOS

Después de generar el plan nominal para Tlaxcala y Puebla, el cual está compuesto por las simulaciones de cobertura, y la lista de sitios nominales, se procede a la búsqueda de los sitios. Aunque la mayoría se instalarán en torres o edificios propiedades de Eritel, en algunos otros casos será necesario llegar a un arreglo con el dueño de los predios elegidos en donde se pretende instalar el sitio, a esta actividad se le denomina búsqueda de sitios. Para el caso de los sitios en donde ya se tiene un sitios D-AMPS instalado, el proceso se acorta y se realiza una visita al sitio con la finalidad de recabar la información necesaria para la instalación o las adecuaciones

pertinentes; en donde alguna veces es necesario modificar el diseño nominal, por ejemplo en la altura de las antenas cuando éstas tienen algún obstáculo, o cuando en la plataforma del sitio no hay espacio para más antenas, también puede ser posible que no puedan ser instaladas en borde las azoteas y necesiten una pequeña estructura que aumente la altura de las antenas, como en el sitio del ejemplo siguiente que fue instalado en el centro de la ciudad de Puebla.

Para ejemplificar el proceso de búsqueda de sitios y la selección del candidato idóneo para el sitio final se selecciono un sitio del centro de la ciudad de Puebla, en donde el gobierno municipal no permite la instalación de torres, y en donde dadas las características de las construcciones es difícil encontrar un terreno a la venta o alguien dispuesto a rentar un espacio en su propiedad. El siguiente ejemplo considera dos ubicaciones posibles o dos candidatos en el centro de la ciudad de Puebla, el nombre del sitio nominal es 3 Norte y se le ha asignado un segundo nombre para su identificación en la base de datos, este es PUE1091. Al segundo nombre de un sitio se le denomina identificación de celda y está compuesto por las tres primeras letras del estado de la república en donde está localizado, y un número consecutivo, que se asigna a todos los sitios en el país al momento de ser creados en la base de datos. Esta identificación de celda se utiliza para simplificar el manejo de la información y evitar confusiones con sitios con el mismo nombre en otras regiones del país, dado que en el proyecto se definió un base de datos centralizada con la información de todos los sitios en la república.

Una vez que se encuentran los candidatos para el sitio, el gestor encargado de la búsqueda envía un reporte con fotografías y con los datos de las posibles ubicaciones. El consultor de diseño utiliza las coordenadas proporcionadas por el gestor y genera predicciones de cobertura para los candidatos que a su parecer cumplan con ciertos criterios y decide cuales candidatos visitar para tomar una decisión final.

Una vez que el diseñador escoge los posibles sitios, se traslada junto con un ingeniero de RF por parte de Eritel y con el gestor para visita los candidatos y decidir cuál es el más apropiado. Cabe comentar que este tipo de búsqueda se realiza cuando el sitio es nuevo y no existe infraestructura del operador en el lugar donde se necesita instalarlo.

Los criterios para decidir si un candidato es viable son:

- El candidato que mejor área de cobertura tenga con base en la predicción de la herramienta de diseño.
- Debe estar lo más cerca posible a la ubicación nominal.
- La distancia al sitio nominal no debe ser mayor al radio de búsqueda, aunque este punto puede ser flexible en algunos casos, como cuando no se cuenta con muchos candidatos.
- La primera zona de Fresnel es decir los primeros 100 metros deben estar libres de obstáculos.
- Es necesario verificar si existen accesos al sitio.
- Se debe contar energía eléctrica cercana al candidato.

En la visita al sitio también se verifica que la topografía y el tipo de terreno circundante al sitio coincida con los definidos en la herramienta de predicción, para proponer posibles cambios en la configuración de las antenas, o una reubicación incluso del sitio nominal.

Como se mencionó anteriormente, la ubicación de los candidatos respecto al anillo de búsqueda es muy importante, y consiste en el área en donde se buscarán candidatos para el sitio PUE1091, el cual aparece con una línea punteada en la figura 5.17 y tiene un radio de 50 metros; el subcontratista **Buscacell**, que está a cargo de la búsqueda de sitios por parte de **Eritel**, debe encontrar un candidato viable en esta área, el anillo de búsqueda es de 100 metros para zonas urbanas pero las condiciones del centro de la ciudad obligan a que el radio sea de menor longitud.



Figura 5.17. Anillo de búsqueda para el sitio PUE1091.

Normalmente el número de candidatos suele ser mayor a cinco, pero debido a la ubicación de PUE1091, en el centro de la ciudad de Puebla, es difícil presentar más de dos; aunque las opciones son limitadas, es posible rechazar todos los candidatos si estos no satisfacen los criterios del diseñador. A los candidatos presentados por el gestor se les ha denominado PU1091_A y PUE1091_B, el primer candidato se encuentra a 37.5 m del punto nominal, y el segundo a 52.5 m. Tomando en cuenta los criterios mencionados, podríamos decir que el segundo candidato no puede ser aceptado, porque la distancia de éste al punto nominal excede el radio de búsqueda, pero como ya se mencionó, en esta zona es difícil encontrar candidatos viables, y es necesario evaluar los pocos disponibles con criterios un poco más flexibles.

A continuación se presentan los componentes del reporte de candidatos viables, el cual se encuentra completo en el apéndice C. El reporte debe contar con:

- Los datos del sitio nominal.
- Datos de las personas que visitan el sitio.

- Datos de cada uno de los candidatos con diagramas de la ubicación del candidato y obstáculos a menos de cien metros.
- Fotografías panorámicas del sitio.
- Análisis de la búsqueda del sitio por parte del diseñador.

Los datos del sitio nominal PUE1091, deben contener: la fecha en que se visitaron los candidatos, la altitud del sitio sobre el nivel del mar, medida con el GPS en sitio, la declinación magnética tomada de la herramienta de predicción, la proyección utilizada que es NAD27 para México y con el cual se deben tomar las coordenadas en el GPS. De la lista de sitios del plan nominal se toman las coordenadas del sitio, la ubicación y la configuración de las antenas, esto es la orientación y altura de las antenas.

Ciudad: Puebla, Pue.
 Día de la visita: 22 / 08 / 01
 ID (identificación) del sitio: PUE1091 Nombre del sitio: 3 NORTE

Estado del sitio: Existente Nuevo (X)
 Radio del anillo de búsqueda: 50 [m]
 Declinación magnética: 6 [m]

Coordenadas Nominales: **Latitud** **19.049756° N**
Longitud **98.197123° W**

Altura de la antena: 20 m (sobre el nivel del suelo)
 Orientación de la antena: Sector 1: 43 ° Sector 2: 158 ° Sector 3: 270 °

Datos: NAD27 (GPS) Altitud : 2400 m (sobre el nivel del mar)

El reporte de búsqueda de sitios debe contener los datos de la persona que elabora el reporte y los datos de la persona que verifica y aprueba la ubicación del candidato para instalar el sitio. En esta parte es necesario incluir la información siguiente:

Nombre: Juan Pérez Firma: _____
 Teléfono : _____ e-mail: _____

Eritel :
 Nombre: Giovanni Pesiri – Ramiro Arias Firma: _____
 Teléfono: _____ e-mail: _____

La localización del candidato, los datos generales, el diagrama de la azotea y fotografías panorámicas y de los obstáculos, se deben incluir en el reporte de los candidatos. Aun con toda esta información disponible se recomienda que el diseñador visite todos los candidatos para hacer su propia evaluación. Bajo estas circunstancias, se recomienda al menos visitar los sitios nominales críticos, es decir, aquellos en lugares clave como el centro de la ciudad, para evitar re-planeaciones para corregir errores. En las figuras 5.18 y 5.19 se presentan los diagramas contenidos en el reporte de sitios para los dos candidatos del ejemplo en cuestión.

Candidato #: 1 PUE1091_A

Edificio (azotea) Terreno Otros

Altura del edificio: 15 [m]

Dirección: 3 Norte #1403 Col. Centro Puebla, Pue.

Coordenadas: Latitud: **19.050026° N**

Longitud: **98.196723° W**

Datos: NAD27 (GPS).

Distancia al punto original: 37.9 [m]

Diagrama (nivel azotea).

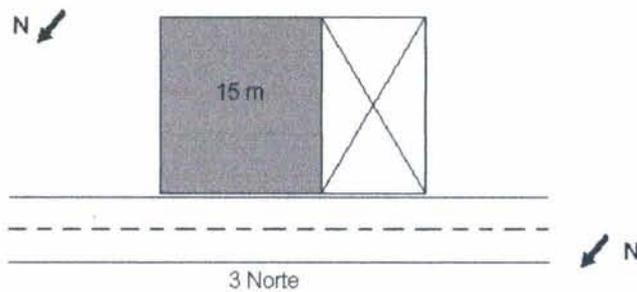


Figura 5.18. Diagrama de ubicación del candidato 1 para PUE1091.

Candidato #: 2 PUE1091_B

Edificio (azotea) Terreno Otros

Altura del edificio: 6 [m]

Dirección: 14 ote # 305 Col. Centro Puebla, Pue.

Coordenadas: Latitud: **19.196640° N**

Longitud: **98.196640° W**

Datos: NAD27 (GPS).

Distancia al punto original: 52.5 [m]

Diagrama (nivel azotea):

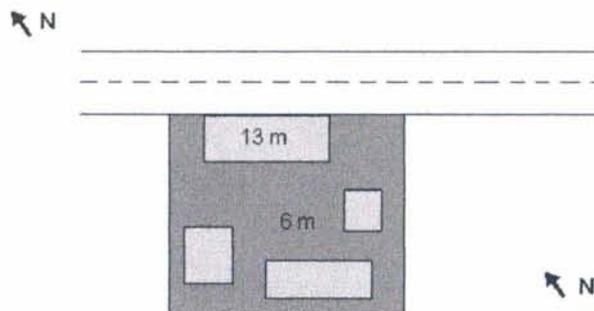


Figura 5.19. Diagrama de ubicación del candidato 2 para PUE1091.

Al final del reporte se debe incluir un resultado del análisis, en el cual se descarta o se acepta determinado candidato y se hacen comentarios sobre posibles problemas de instalación o deficiencias de los candidatos. En el caso del sitio PUE1091, el segundo candidato fue descartado por varios factores, el primero de ellos es porque está muy próximo al límite del anillo de búsqueda y principalmente por la necesidad de montar las antenas en una torre, lo cual no está permitido en esta zona de la ciudad por el tipo de arquitectura. El primer candidato está más cercano al sitio nominal y la azotea tiene quince metros de altura, lo que facilita la colocación de las antenas sobre una pequeña estructura sin la necesidad de una torre, además se puede hacer un cuarto en la azotea donde se instalará el equipo de la BTS y del enlace.

Después de haber encontrado todos los sitios, se genera la lista de sitios aceptados; en esta lista se incluyen como datos adicionales las coordenadas reales y la dirección del sitio, así como alguna modificación en la configuración de antena después de la revisión en campo de todos los sitios por parte del personal de diseño. En la tabla 5.3 se presenta una lista parcial de los sitios aceptados. El paso siguiente es realizar las mediciones de radio para retroalimentar la herramienta de predicción con valores de atenuación real para los distintos tipos de terreno. La experiencia muestra que es mejor realizar este tipo de mediciones previas a la generación del plan nominal para que sea más exacto, pero ya que esta tarea es muy costosa, se prefiere mejor hacer solamente las correcciones necesarias una vez que el plan nominal está aceptado.

City	SiteID	Address	Latitude	Longitude	BTS	Cell ID	Antenna Type	Height	Azimuth	Tilt
Puebla	PUE2037	#2501BoulevardAtlixco ColoniaBelisarioDominguez	19°01'3.35"N	098°15'9.70 "W	2202	PUE2037A	65_4X_18P_DB_932DD65 T4-M	30	30	1
						PUE2037B	65_4X_18P_DB_932DD65 T4-M	30	150	2
						PUE2037C	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	28	260	0
Puebla	PUE2237	#5726CalleRioBravo Col.SanManuel	19°03'17.18" N	98°13'5.23 W	2206T CC	PUE2237A	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	25	53	2
						PUE2237B	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	25	158	0
						PUE2237C	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	25	300	1
Puebla	PUE2437	#3-BAvenidaMexico ColoniaSanctorum	19°03'54.75" N	98°09'12.10 "W	2202	PUE2437A	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	26	50	-1
						PUE2437B	65_2X_18P_DB_932DD65 T2-M	26	190	2
						PUE2437C	65_4X_18P_DB_932DD65 T4-M	26	300	0
Puebla	PUE4037	V.deSanLuiseseq.V.Bravo Col.BosquesdeSanSebastian	18°59'35.25" N	98°14'40.80 "W	2202	PUE4037A	65_6X_18P_KA_742212	30	45	0
						PUE4037B	65_2X_18P_KA_742212	39	140	0
						PUE4037C	65_1X_18P_KA_742212	30	270	0

Tabla 5.3. Lista parcial de sitios aceptados.

5.5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En el documento de construcción del sitio se describe el alcance y las responsabilidades del trabajo de ingeniería civil necesario en cada sitio; en el caso de este proyecto, las responsabilidades de la obra civil fueron asumidas por **Eritel** al contar con empresas filiales que se encargan de estos trabajos.

La implementación de la red por lo regular queda a cargo del proveedor, como se definió en el primer apartado de este capítulo. La responsabilidad de la implementación fue de Ericsson, pero puede ser asumida por el operador. En este caso, **Eritel** contrato los servicios de expertos para la instalación de todo el equipo, quienes lo hicieron en conjunto con empresas externas dedicadas a la implementación de redes celulares. Para la correcta implementación es necesario un documento de instalación del sitio, al que también se le llama TR (Technical review, revisión técnica) y que aparece completo en el apéndice C. Este documento contiene principalmente:

- Datos del sitio tomados de la lista de sitios aceptados.
- Plano de instalación exterior del sitio.
- Diagrama con la posición de las antenas, cama de alimentadores y adecuaciones.
- Configuración de las antenas.

A continuación se presenta la revisión técnica del sitio PUE109. En la primera parte de este documento debe especificar el nombre, dirección, identificación del sitio y si está ubicado en torre o azotea, la región a la que pertenece y si está instalado en una central telefónica de alguna empresa como Telmex, Maxcom o Axtel . En tabla 5.4 se muestran todos estos datos para el sitio 3 Norte.

Nombre:	3 Norte	Región:	7
ID GSM:	PUE1091		
Dirección:	Calle 3 Norte #1403		
Colonia, delegación o municipio:	Colonia Centro 72000		
Estado:	Puebla, Puebla		
Ubicación física:	AZOTEA	Instalación en central telefónica:	NO

Tabla 5.4. Datos generales de un sitio.

El TR de la tabla 5.5 contiene la información de la configuración de las antenas, el número de radios por sector, la orientación de cada sector, la altura de cada una de las antenas y el tipo de antenas para cada sector. La sintaxis del tipo de antena contiene

información de acuerdo a la siguiente descripción: los dos primeros números son los grados de apertura del haz principal, que para todos los sectores es de 65°; el siguiente número es la inclinación eléctrica de la antena, que en los sectores A y B es de 3°, mientras que en el sector C es de 2°; el tercer número representa la ganancia de la antena y los datos restantes son el modelo y fabricante. Para los tres sectores las antenas son de la marca *kathrein* del modelo 742212, pero también pueden ser antenas de la marca Decibel que son de menor calidad que las primeras. Las primeras tienen una inclinación variable, mientras que las segundas tienen una inclinación eléctrica fija y puede variar de acuerdo al modelo de antena. Además, en esta documentación se deben incluir las coordenadas del sitio y la declinación magnética de la ciudad en donde será instalado el sitio; esto es porque las orientaciones que da la herramienta de diseño están referenciadas al norte geográfico y es necesario ajustar las coordenadas de diseño al norte magnético de cada ciudad. También se indica el modelo de la radio base, en este caso es una radio base 2106 de *Ericsson*.

Configuración (Hardware)		Portadoras por sector (Datos de RF)			
Tipo de RBS: 2106		Antena Omnidireccional	A	B	C
Configuración de los Radios: 3X2(2,2,2)		No	1	1	1
Coordenadas geográficas:		Orientación	43°	168°	270°
Latitud	19° 3' 9.2" N	Inclinación Mecánica	0°	0°	0°
Longitud	98°11'48.2" W	Altura	21 m	21 m	21 m
Declinación magnética	6.1°	Tipo de antena	65_3X_18P_KA_742212	65_3X_18P_KA_742212	65_2X_18P_KA_742212

Tabla 5.5. Datos de configuración de antenas.

La tabla 5.6 del TR contiene información más detallada de la configuración de los radios. Las radio bases 2106 cuentan con un tipo especial de radios denominados dTRU (Double Transceiver Unit, Unidad trans-receptora doble) que tiene internamente dos radios, los cuales pueden ser configurados para operar independientemente o como uno solo. Si la configuración se hace para que el dTRU tenga los dos radios activos, la potencia de transmisión para cada uno es de 45 dBm; mientras que si se configura para que ambos trabajen como uno solo, se obtiene una ganancia en potencia dando 47 dBm de salida en el dTRU. Esta tabla marca la configuración que se debe adoptar para la conexión del dTRU, si se adoptada la segunda opción se dice que la BTS tiene la configuración con TCC (Transceiver Coherent Combining, Combinador coherente de trans-receptores

A		B		C		NOTAS:	Aprobado:	FECHA
dTRU	DUMMY	dTRU	DUMMY	dTRU	DUMMY	CON TCC		Oct. 8, 2002
						1dTRU = 1 portadora = 1 TRU	Revisado por:	
						SIN TCC	Ramiro Alfonso Arias López tel. 2581 - 4808	
						1dTRU = 2 portadoras = 2 TRU's	Comentarios:	
FRETE DE GABINETE						Cableado: NO COMBINADO		

Tabla 5.6. Datos de aprobación y de configuración con TCC.

En la tabla 5.7 del TR se especifica si el sitio se instalará como un sitio nuevo para GSM o en un sitio D-AMPS existente, además se incluyen algunas observaciones sobre los mástiles en donde se instalarán las antenas.

TIPO DE SITIO →

Existente D-AMPS Planeado D-AMPS New GSM

Tipo de Estructura:

MÁSTIL EN AZOTEA

Antenas D-AMPS a futuro en plano:

No hay planeado sitio TDMA aún, se deja espacio para contenedor que contendrá la RBS D-AMPS.

Altura de nivel de plataforma:

No aplica el sitio se instalará en azotea.

Propuesta de Instalación en:

MÁSTIL EN AZOTEA

Altura de instalación propuesta:

22 m

Tabla 5.7. Tabla con datos de instalación de antenas y tipo de sitio.

El TR lo elabora un subcontratista del proveedor, el cual toma los datos de la base de datos de sitios aceptados. Una vez que el TR ha sido elaborado, el personal de ingeniería de Ericsson se encarga de revisar el reporte; en el cual se pueden agregar algunas consideraciones no incluidas en los planos; para solucionar algún posible problema de instalación, como son: obstáculos en las antenas o una mala trayectoria de los alimentadores. Si se llegarán a presentar estas últimas condiciones el TR es rechazado y el subcontratista debe realizar las adecuaciones necesarias para cumplir con las recomendaciones del personal de ingeniería. En la figura 5.20 se muestra el plano de piso con indicaciones de la instalación de la cama de los *feeders*, el gabinete para instalar la BTS y el diagrama de la estructura que soportará las antenas (vista superior).

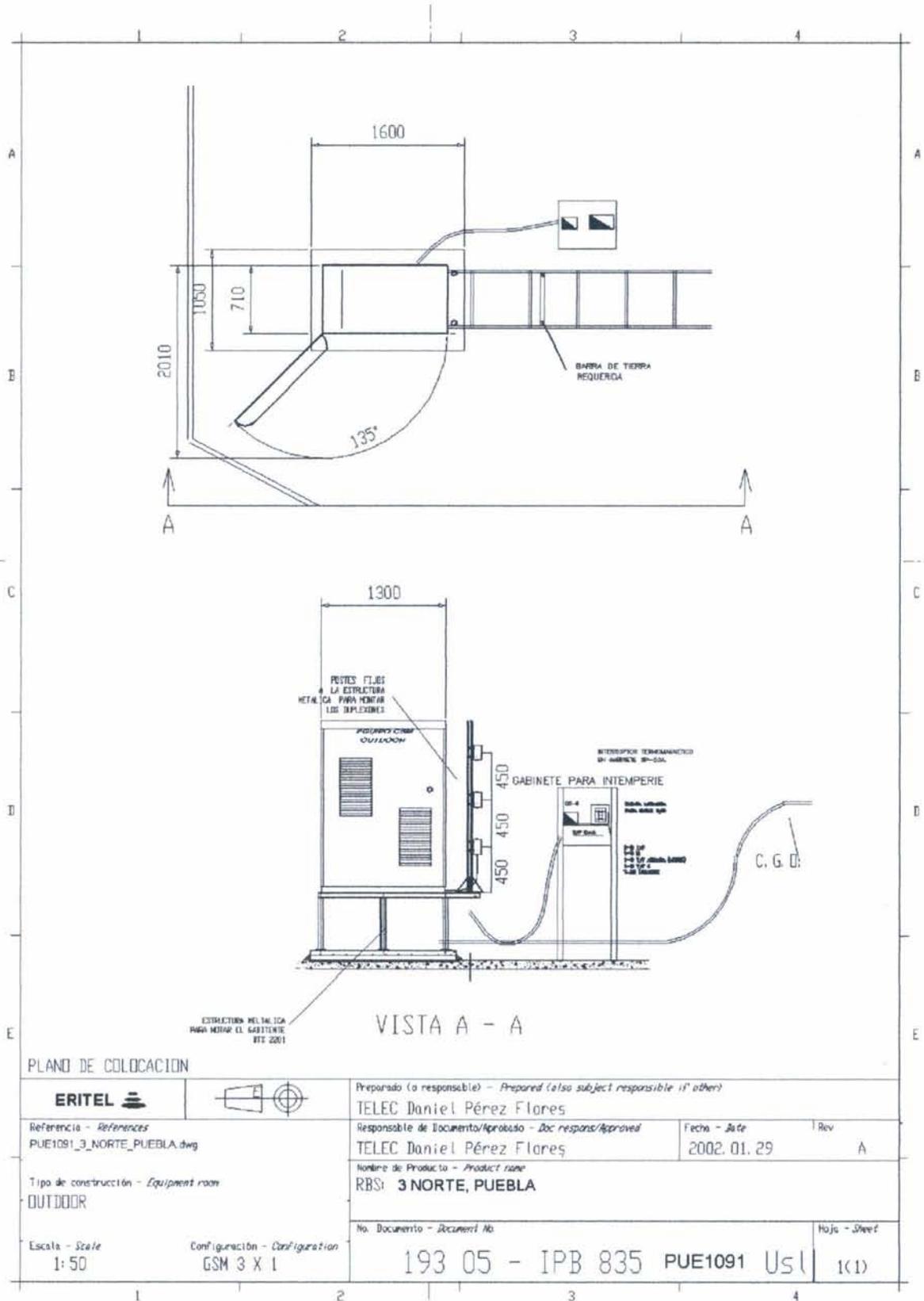


Figura 5.20. Ubicación de gabinete exterior de RBS 2102 en PUE1091.

En la figura 5.21 se muestra de manera detallada la forma de la instalación de las antenas, la cama de los alimentadores, la estructura y la posición de las antenas para el sitio PUE1091.

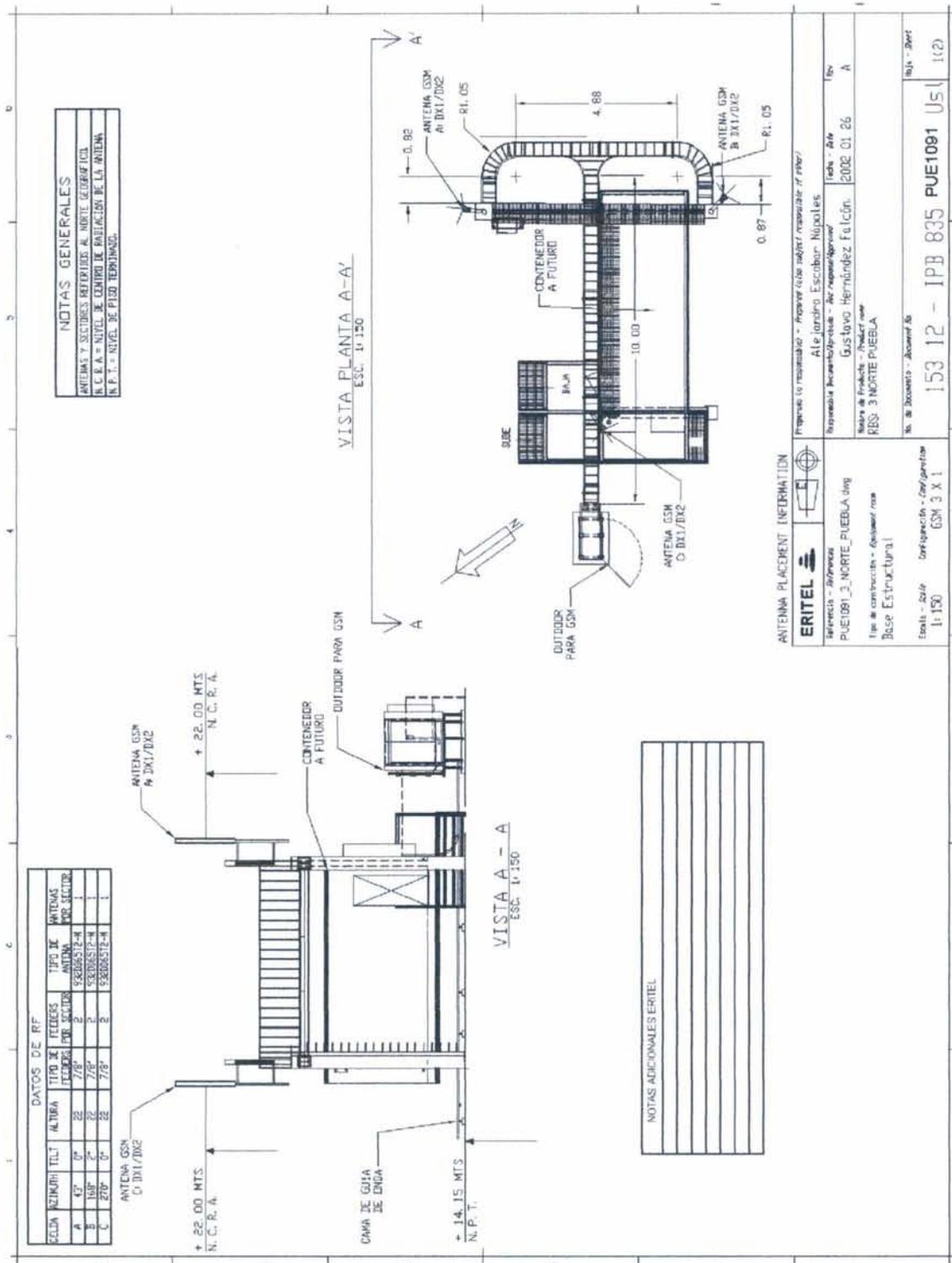


Figura 5.21. Plano general de instalación de PUE1091.

5.6. BALANCE DEL SISTEMA

El balance del sistema es fundamental para lograr que la energía que disipa esté no cause interferencia y que tanto el enlace de *downlink* como de *uplink* tengan la misma cobertura. Para que un sistema esté balanceado se debe cumplir que en el 95% de su área se tenga cobertura con un nivel de señal al menos con un cierto valor mínimo requerido, este valor mínimo suele estar alrededor de -90 dBm en el exterior.

Para que se logre establecer una llamada en el interior de un edificio, esto debido a la sensibilidad del móvil, en este apartado se calcula el valor del parámetro de celda que define la potencia de salida del TRU antes del combinador seleccionado, para que el sistema este balanceado.

Así mismo, el balance del sistema nos indica el nivel de potencia de salida adecuado en la BTS. Como se exponen en el capítulo tres de procedimientos de diseño, el enlace más débil, que es el de móvil a radio base, es el que determina la potencia máxima a la que deben radiar las radio bases. Para el análisis del balance del sistema tomaremos los datos de un sitio típico, con una radio base 2106 de Ericsson, equipado con un combinador tipo A, el cual permite la utilización de salto en frecuencia y proporciona una salida de potencia máxima en comparación con otros tipos de CDU, descritos en el capítulo tres. De esta manera, tomando en cuenta que con una BTS equipada con un CDU tipo A podemos lograr una potencia $P_{out_{BTS}}$ máxima, después del combinador igual a 43.5 dBm, y con una pérdida en el combinador tipo A de $LC_{BTS} = 3$ dB. Se instalarán TMAs en las estaciones base para lograr una mejor cobertura en el *uplink*, lo que da una ganancia de 1.5 dBm y una sensibilidad de la radio base igual a -115.5 dBm, siempre y cuando la pérdida en el alimentador no sea mayor 3dB. Se utilizarán móviles de clase uno descritos en el capítulo tres, por ser los únicos disponibles para GSM 1900 con una sensibilidad de -104 dBm y una potencia de salida de 33 dBm o 2W. Aunque se ha demostrado prácticamente que estos móviles tienen una sensibilidad de -110 dBm, las antenas utilizadas cuentan con diversidad por polarización y distancia en la construcción de la antena, lo que implica una ganancia de 3.5 dBm. Resumiendo la anterior tenemos entonces:

$P_{out_{BTS}}$ Máxima	= 43.5 dBm
$P_{out_{MS}}$	= 33 dBm
G_{dBTS}	= 3.5 dBm
MS_{SENS}	= -110 dBm
BTS_{SENS}	= -111.5 dBm
LC_{BTS}	= 3 dB

Con base en la ecuación 3.8 tenemos que,

$$P_{out_{BTS}} = P_{out_{MS}} + LC_{BTS} + G_{dBTS} + (MS_{SENS} - BTS_{SENS})$$

$$P_{out_{BTS}} = 33 + 3 + 3.5 + (-110 + 111.5)$$

Por lo que la potencia a la salida después del combinador de la estación base debe ser:

$$P_{\text{out}_{\text{BTS}}} = 41 \text{ dBm}$$

Esta potencia de salida de la estación base es la necesaria para que el enlace esté balanceado y no se recomienda cambiar una vez que ha sido calculada para una configuración específica y una clase en particular de móvil. Si se desea reducir el tamaño de la celda se puede disminuir la potencia y activar en la celda una función que obligue al móvil a reducir su potencia de transmisión. La potencia necesaria de salida después del combinador determina que potencia deben tener las radio bases para que el sistema mantenga los valores de interferencia controlados y los móviles puedan establecer un enlace balanceado evitando llamadas caídas por bajo nivel de señal. Tomando en cuenta que la potencia máxima de salida en la radio base antes del combinador es de 46.5 dBm, el valor del parámetro en la celda que define esto es igual a 47, para lograr el balance, el valor definido en la BSC debe bajarse en dos pasos y ser igual a 45 que equivale a 44.5 dBm, si a esto le restamos la pérdida en el combinador que es igual a 3 dB; la potencia de salida máxima después del combinador será 41.5 dBm. Con lo que se logra que el enlace esté balanceado.

5.7. NIVELES DE DISEÑO

Los niveles de diseño son calculados por la herramienta de diseño. En este apartado se calculan de manera manual, tomando en cuenta un algoritmo diferente al que la herramienta utiliza. Aunque estos han sido calculados en la predicción de cobertura que se presenta al cliente en el Plan nominal y final, se pretende mostrar las diferencias en los valores, obtenidas con las formulas de Jake expuestas en el capítulo 3.

Para poder definir los niveles de diseño en un punto dado es necesario conocer el nivel de señal requerido, el cual está dado por la formula 3.9. Para esto es necesario considerar los siguientes datos:

MS_{SENS}	= -104 dBm
RF_{MARG}	= 3 dB
IF_{MARG}	= 2 dB
BL	= 5 dB

$$SS_{\text{REQ}} = MS_{\text{SENS}} + RF_{\text{MARG}} + IF_{\text{MARG}} + BL_{\text{MARG}}$$

Substituyendo en la fórmula anterior los datos ya mencionados, tenemos:

$$SS_{\text{REQ}} = -104 + 3 + 2 + 5$$

$$SS_{\text{REQ}} = -94 \text{ dBm}$$

El valor obtenido de SS_{REQ} es el umbral mínimo en la red para los móviles puedan realizar una llamada, tomando en cuenta un caso ideal en donde el ruido de piso o interferencia debida a los sitios lejanos en operación es despreciable. A pesar de que el cálculo arroja un valor de -94 dB, se optó por darle un margen mayor de acceso a los móviles para permitir que más usuarios puedan acceder al servicio, este valor es de -102 dB; lo que representa el nivel de acceso mínimo a la red, es decir, permite al móvil

registrarse como activo en la MSC. Esto sin duda puede dar lugar a llamadas con baja calidad, pero no en todos los casos, ya que de lo contrario se estaría negando el servicio a un buen número de usuarios, que se registrarían en la red de otros operadores de GSM con cobertura en la zona. Un ejemplo típico es usuarios que llegan a un aeropuerto y su teléfono tiene la opción de registrarse a la red con el valor de acceso mínimo menor, lo que para el usuario representa que este operador tiene mejor cobertura.

Los niveles de diseño para cobertura en exteriores, interiores y dentro de un automóvil están dados respectivamente por las expresiones 3.10, 3.11 y 3.12, los cuales deben ser iguales a los niveles generados por la herramienta de predicción TEMS *cell planner*:

$$SS_{\text{DISEÑO}} = SS_{\text{REQ}} + LNF_{\text{MARG}} \quad \text{MS en exteriores}$$

$$SS_{\text{DISEÑO}} = SS_{\text{REQ}} + LNF_{\text{MARG}} + CPL_{\text{MARG}} \quad \text{MS en un auto}$$

$$SS_{\text{DISEÑO}} = SS_{\text{REQ}} + LNF_{\text{MARG2}} + BPL_{\text{MARG}} \quad \text{MS en interiores}$$

Tomando en cuenta los márgenes de pérdida por penetración en automóviles y en construcciones, expuestos en el capítulo tres, tenemos que el margen de pérdida por penetración en automóviles es de 6 dB y el margen de pérdida por penetración en construcciones es de 18 dB para zonas densamente urbanas y de 12 dB para zonas suburbanas.

El margen de la atenuación log-normal se obtiene de las tablas que se encuentran en el apéndice E. La forma de utilizarlas es la siguiente:

1. Seleccionamos la tabla que corresponda al tipo de simulación de cobertura de la cual queremos la desviación estándar del margen de atenuación log normal. Para el caso de cobertura en exteriores en zonas densamente urbanas tomaremos una varianza de 10, para áreas urbanas 8 y para zonas rurales o suburbanas 6. En el caso de cobertura para interiores en zonas densamente urbanas utilizaremos una varianza de 14, en interiores para zonas urbanas de 12 y en interiores para suburbanas de 10. Para el caso de la cobertura en el interior de automóviles se tomarán las varianzas para cobertura en exteriores menos el margen de atenuación por penetración.
2. Seleccionamos la curva de las fórmulas de Jake de acuerdo al valor de la histéresis elegida para hacer el *handover*. Para nuestro caso tomaremos una histéresis de 3 dB, por ser este el valor típico de histéresis, es decir, se deja una zona delimitada por la mitad de la potencia de la celda servidora, para esperar que el *handover* sea realmente necesario, y la disminución de la señal no se deba aun obstáculo o un desnivel transitorio en el terreno. Con lo anterior nos aseguramos que una vez realizado el *handover* no sea necesario regresar a la celda original, o para evitar que un móvil estacionado en el borde de cobertura de las celdas haga *handover* repetidamente de una celda a otra (a este fenómeno de le llama ping-pong).
3. Buscar el porcentaje de área por cubrir.
4. Encontrar el valor del margen de atenuación log-normal.

En la figura 5.22 se observan cuatro curvas correspondientes cada una de ellas a una histéresis de handover, siendo la que está en el extremo izquierdo la correspondiente a una histéresis de cero, en donde se presentaría el problema de ping-pong; la segunda corresponde a una histéresis de 2 dB; la tercera a una histéresis de 3 dB, que es el valor típico de histéresis definido en el sistema; y en el extremo derecho la curva correspondiente a una histéresis de 100 dB, que corresponde a un modelo en donde la celda servidora no tiene vecinos con quien hacer handover. En la figura podemos encontrar el valor de la desviación estándar del margen log-normal en un entorno urbano para interiores ($\sigma = 12$ dB) con una cobertura del 98% y una histéresis de 3 dB; la curva que debemos considerar es la segunda de izquierda a derecha.

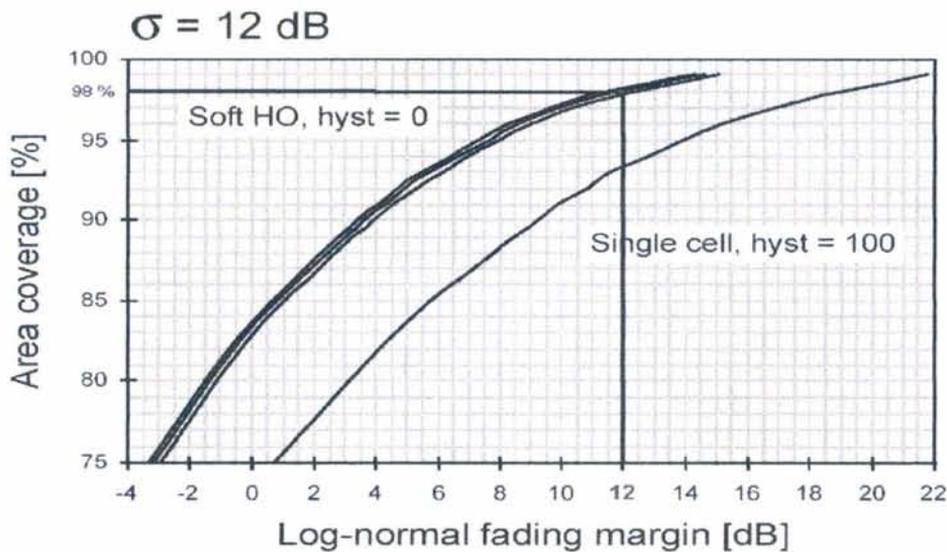


Figura 5.22. Márgenes de atenuación log-normal simulados.

Considerando el procedimiento descrito anteriormente, para todos los porcentajes y tipo de área a cubrir, obtenemos la tabla 5.8 con los niveles de diseño calculados, utilizando las tablas de márgenes de atenuación log-normal simulados. Cabe mencionar que las predicciones de cobertura hechas con la herramienta se basan en el algoritmo 999 propiedad del Ericsson, que es una modificación del algoritmo experimental Okumura-Hata, por lo que los niveles obtenidos a partir del cálculo hecho difieren de los generados por la herramienta de predicción. Los porcentajes de cobertura para los cuales fueron hechos los cálculos han sido tomados de los definidos por la herramienta de predicción mostrados en las figuras 5.4 y 5.15.

Tipo de Área	Cobertura [%]	SS _{REQ} [dBm]	LNF _{MARG} [dB]	BPL _{mean} [dB]	CPL	SS _{DISEÑO Manual} [dBm]	SS _{DISEÑO herramienta} [dBm]
Cobertura en interiores Urbano $\delta_{LNF} = 12$ dB	98%	-94	12	18	-	-64	-64

Tabla 5.8. Niveles de diseño.

Tipo de Área	Cobertura [%]	SS _{REQ} [dBm]	LNF _{MARG} [dB]	BPL _{mean} [dB]	CPL	SS _{DISEÑO} Manual [dBm]	SS _{DISEÑO} herramienta [dBm]
Cobertura en interiores Urbano $\delta_{LNF} = 12$ dB	95%	-94	8	18	-	-68	-69
Cobertura en interiores Urbano $\delta_{LNF} = 12$ dB	90 %	-94	4	18	-	-72	-73
Cobertura en interiores suburbano $\delta_{LNF} = 10$ dB	98 %	-94	10	12	-	-73	-74
Cobertura en interiores suburbano $\delta_{LNF} = 10$ dB	95%	-94	7	12	-	-75	-78
Cobertura en interiores suburbano $\delta_{LNF} = 10$ dB	90%	-94	3	12	-	-79	-82
Cobertura automóvil urbano $\delta_{LNF} = 8$ dB	90%	-94	2	-	6	-86	-89
Cobertura automóvil suburbano $\delta_{LNF} = 6$ dB	90%	-94	1	-	6	-87	-91
Cobertura automóvil rural $\delta_{LNF} = 6$ dB	90%	-94	1	-	6	-87	-96

Tabla 5.8. Niveles de diseño.

Comparando los niveles de diseño calculados manualmente, con los calculados con la herramienta de predicción, se observa que para lograr una cobertura urbana al 98% en interiores, es necesario un nivel de señal de -64 dBm en ambos cálculos. En los dos siguientes niveles de señal, la diferencia del cálculo manual con el de la herramienta es de 1 dBm por abajo del cálculo manual, pero a partir de la cobertura al 95% en interiores suburbanos, la diferencia es mayor, siendo de al menos 3 dBm. El caso con una mayor discrepancia se da en la cobertura rural en automóvil, en donde el nivel de señal de diseño calculado manualmente es de 9 dBm mayor al calculado con la herramienta. Con base en lo anterior, podemos decir que; el cálculo manual es muy pesimista en cuanto a la cobertura en medios con menor atenuación. Para la cobertura en medios urbanos muy atenuados, ambos modelos coinciden en los niveles de señal calculados, la diferencia es resultado de que el modelo de propagación utilizado por la herramienta está optimizado, por lo que en zonas más abiertas los niveles de señal requeridos no son tan altos. Esto hace que para dar cobertura en zonas suburbanas la herramienta requiera de menos sitios, y el diseño sea más óptimo.

5.8. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACIÓN INICIAL

El objetivo fundamental de la optimización inicial consiste en garantizar el funcionamiento adecuado de la red antes de su lanzamiento comercial. Para esto es necesario comprobar que los niveles de cobertura medidos en campo corresponden a los esperados por el diseño, además se debe de verificar que el valor de los parámetros que han sido configurados en las BTS y en la BSC sean los correctos. Para lograr esto, se envía un grupo de Ingenieros para realizar las pruebas de campo en la ciudad o población en la que se va a iniciar el servicio, mientras que para la verificación de los parámetros se hace una prueba de consistencia para cada BSC que se va a probar. Se recomienda hacer la revisión de parámetros antes de iniciar las pruebas de campo.

Además de la revisión de los parámetros de radio en la BSC, se recolectan los datos de importancia que son extraídos de la base de datos de TCP, como son: un listado de las frecuencias definidas para cada sitio, los códigos de identificación de la estación base, las celdas vecinas definidas para cada celda, mapas de cobertura, mapas de la ciudad, etc.

El texto en letra cursiva, presentado líneas abajo, muestra parte de la impresión de los recursos de la red, la cual es una de las revisiones que se debe hacer. La primera columna es el nombre de la celda, la segunda es el número de canales de control, la tercera es el número de canales de señalización y la cuarta es el número de canales de tráfico. Si alguna de las celdas no tiene recursos por algún motivo, las tres columnas tendrán un valor de cero. Si esto sucede, algún elemento de la BTS puede estar dañado o bien los radios pueden estar bloqueados manualmente, porque acaban de ser instalados y apenas se va a hacer la configuración de estos; éste es el caso de la celda PUE2087B que se encuentra en el listado.

CELL RESOURCES

CELL	BCCH	SDCCH	NOOFTCH
TLAX1423C	1	7	6
TLAX1423B	1	7	6
TLAX1423A	1	7	6
PUE2087C	1	7	6
PUE2087B	0	0	0
PUE2087A	1	7	14
PUE3080C	1	7	14
PUE3080B	1	7	6
PUE3080A	1	7	6
PUE5673C	1	7	6
PUE5673B	1	7	6

Otra impresión que se debe de obtener del sistema, es la información de la lista de celdas vecinas para cada una de las celdas de la zona que se va a probar. Para visualizar esto, mostramos una impresión para la celda PUE2397C, en donde aparecen listadas las seis celdas definidas como vecinas. Si durante el recorrido en esta celda no se realizan los *handovers* con alguna de sus celdas vecinas, se debe de comprobar con la impresión que éstas estén correctamente definidas (en ambos sentidos); si la relación de vecindad está correctamente definida, se deberá de estudiar más a detalle en la oficina la causa de este problema.

CELL
PUE2397C

CELLR DIR CAND CS
PUE1134C MUTUAL BOTH NO

CELLR DIR CAND CS
PUE4502B MUTUAL BOTH NO

CELLR DIR CAND CS
PUE8977B MUTUAL BOTH NO

CELLR DIR CAND CS
PUE7877A MUTUAL BOTH NO

CELLR DIR CAND CS
PUE9897A MUTUAL BOTH YES

CELLR DIR CAND CS
PUE3397B MUTUAL BOTH YES

La información que muestra esta impresión es: como encabezado la celda de la cual nos interesa saber su lista de vecinas; en la primera columna aparece la lista de celdas vecinas; en la segunda observamos si la relación está definida en ambos sentidos; la tercera es la confirmación de que ambas celdas están definidas como vecinas y en la cuarta nos indican si la celda pertenece al mismo sitio o no.

También se obtiene la información de las frecuencias definidas en cada celda, la ubicación de los sitios, el tipo de antenas, la orientación, altura e inclinación de las antenas y algunos otros parámetros, como pueden ser la histéresis para el *handover*, etc. Toda esta información se puede obtener de la base de datos de TCP (TEMS Cell Planner) y se procesa en una hoja de cálculo de Excel, obteniendo una tabla similar a la presentada en la tabla 5.9.

Celda	BTS	Tipo de antena	Altura	Acimut	Tilt	BCCH	NCC	BCC	Vecina1	Vecina2
PUE1077A	2202	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	30	30	1	604	0	1	PUE1102B	PUE1077C
PUE1077B	2202	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	30	150	2	609	2	1	PUE1081C	PUE1497C
PUE1077C	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	28	260	0	591	4	4	PUE1448B	
PUE1078A	2206	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	25	53	2	583	1	2	PUE1110A	
PUE1078B	2206	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	25	158	0	589	2	1	PUE1117A	PUE1078C
PUE1078C	2206	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	25	300	1	586	6	2	PUE1117A	PUE1078A
PUE1079A	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	26	50	-1	605	2	2	PUE1079B	
PUE1079B	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	26	190	2	583	0	1	PUE1488A	PUE1308A
PUE1079C	2202	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	26	300	0	593	7	6	PUE1079A	PUE1122B
PUE1081A	2106T CC	65 6X 18P KA 742212	30	45	0	593	7	5	PUE1077B	
PUE1081B	2106T CC	65 2X 18P KA 742212	39	140	0	596	3	5	PUE1081C	PUE1107C
PUE1081C	2106T CC	65 1X 18P KA 742212	30	270	0	588	6	7	PUE1077B	PUE1081A
PUE1082A	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	20	10	3	587	7	4	PUE1082B	PUE3346C
PUE1082B	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	22	120	2	608	6	6	PUE3346C	
PUE1082C	2202	65 2X 18P DB 932DD65T2-M	20	265	1	584	2	6	PUE1082A	

Tabla 5.9. Información básica para recorridos de prueba.

Otra parte de la información requerida para las pruebas iniciales son los mapas con la traza urbana de las zonas que se van a probar, mapas de las predicciones de cobertura y mapas de la mejor servidora. Las predicciones de mejor servidora nos indican el área que cubre cada celda de acuerdo al diseño y las predicciones de cobertura tienen información de los niveles de señal esperados dentro de toda el área de servicio.

Una parte de las actividades de optimización inicial es llevar a cabo auditorías en los sitios, obviamente comprobando que la instalación del equipo haya sido la correcta. Si el tiempo de entrega del proyecto permite que se lleve a cabo la auditoría en todos los sitios de la ciudad, es mucho mejor; en caso contrario, lo más adecuado es tomar una muestra aleatoria de al menos el 25% de los sitios; lo que nos dará una idea del estado general de la instalación. La ventaja de hacer la auditoría y la corrección de los problemas encontrados en todos los sitios, es que las posibles consecuencias se van a ver automáticamente minimizadas; ya que de lo contrario, estos se podrían ver reflejados durante las pruebas de campo. Si no se realizan las auditorías y las correcciones correspondientes, esto implicaría más retrasos, puesto que se podría pensar que los problemas encontrados en el recorrido han sido generados por fallas en la instalación, lo cual es muy común que ocurra. De esta forma, después de auditar los sitios, habría que hacer nuevamente las mediciones en campo, lo cual trae consigo más tiempo invertido. Los problemas de instalación encontrados deben ser corregidos exclusivamente por gente capacitada en esta tarea y que pertenezca al NOM, pues ellos tienen su propio control de los cambios o correcciones hechas a la red celular. El formato que se debe utilizar para registrar los resultados de las auditorías de sitios es el de la figura 5.23.

La descripción de los campos más importantes es la siguiente:

1. En la parte superior se anota el nombre del responsable de la auditoría.
2. El primer cuadro corresponde a todos los datos referentes a la descripción del sitio, el ID corresponde al número que se le ha asignado a cada sitio dentro de la red a nivel nacional para diferenciarlos de los demás.
3. En el siguiente recuadro, el dato corresponde a la ubicación del sitio, la que se obtiene con la lectura de las coordenadas que se toman del GPS.
4. El tercer cuadro tiene un espacio para anotar la información referente al modelo de BTS, el número de TRU, el tipo de cableado que corresponde únicamente a la configuración que tiene la BTS para determinar la potencia de salida, y el estado de los TRU para saber si están operando o tienen alguna falla. La información para el gabinete 2 sólo se llena si es que existe una expansión, es decir se instala un segundo gabinete para aumentar la capacidad de la BTS. Además, se anota la inclinación (tilt) de las antenas, la orientación y el modelo de antena por sector. Con respecto a la torre se debe de anotar el tipo (puede ser arriostrada, auto soportada, monopolo o en azoteas) y la forma de la plataforma en la que están instaladas las antenas. Se agrega también información referente a la longitud del *feeder* y su calibre. Se puede agregar otro recuadro para hacer comentarios referentes a los problemas adicionales o irregularidades que se hayan encontrado durante la auditoría.

FORMATO DE AUDITORIA PARA BASE DE DATOS DE GSM								
Elaborado por:								
RF Site Survey								
Ciudad	Puebla		Fase	1	Región	7	Fecha de visita	22/01/2004
Estado	Pue, Pue		MSC	CU	BSC	NX	Declinación Magnética	5
GSM ID:	PUE0129		Nombre Sitio:	Santiago				
Localización del Sitio								
Coordenadas Medidas WGS 84	Latitud:	19°28'50.0"		Calle, Número, Colonia y Delegación ó Municipio				
	Longitud:	099°11'21.5"		Calle Santiago #22 Col. Santa María Estrella Chipilo Puebla				
Entre que calles	Esq. Cuauhtémoc							
Datos de BTS								
Gabinete 1				Gabinete 2				
Tipo de BTS: 2206	Sec A	Sec B	Sec C	Tipo de BTS:	Sec A	Sec B	Sec C	
Número de TRU o DTRU	2	2	2	Número de TRU o DTRU				
Tipo de Cableado	C	C	C	Tipo de Cableado				
Estatus del TRU o DTRU	O/A	O	O/A	Estatus del TRU o DTRU				
# Ant.	Altura	Tilt Mec	Tilt Mástil	Azimuth Magnético	Tilt Elect	Tipo de Antena		
Sector A	1	19.8 m	2	2	38	4	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	
Sector B	1	19.8 m	2	2	160	4	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	
Sector C	1	19.8 m	2	2	274	4	65 4X 18P DB 932DD65T4-M	
Tipo de torre	Monopolo							
Tipo de plataforma	Triangular							
Calibre del Feeder	7/8"							
Longitud de Feeder	23 m (En sitios factibles)							
Comentarios:								

Figura 5.23. Formato de auditorías de sitios.

Para una ciudad con más de 10 sitios, se recomienda dividirla en grupos de celdas o *clusters* para las pruebas, ya que facilita tanto el recorrido como el análisis de la ciudad dividida por zonas. El criterio para el agrupamiento de los sitios en *clusters*, se define con base en los mapas de mejor servidora y trata de incluir al menos siete sitios en cada grupo o *cluster* para su evaluación. En la figura 5.24 se muestra la división de las ciudades de Puebla y Tlaxcala en ocho clusters, los puntos en negro representan cada

uno de los sitios para estas dos ciudades. El agrupamiento de los sitios fue hecho con en base en el mapa de predicción de mejor servidora que aparece en la figura 5.25.

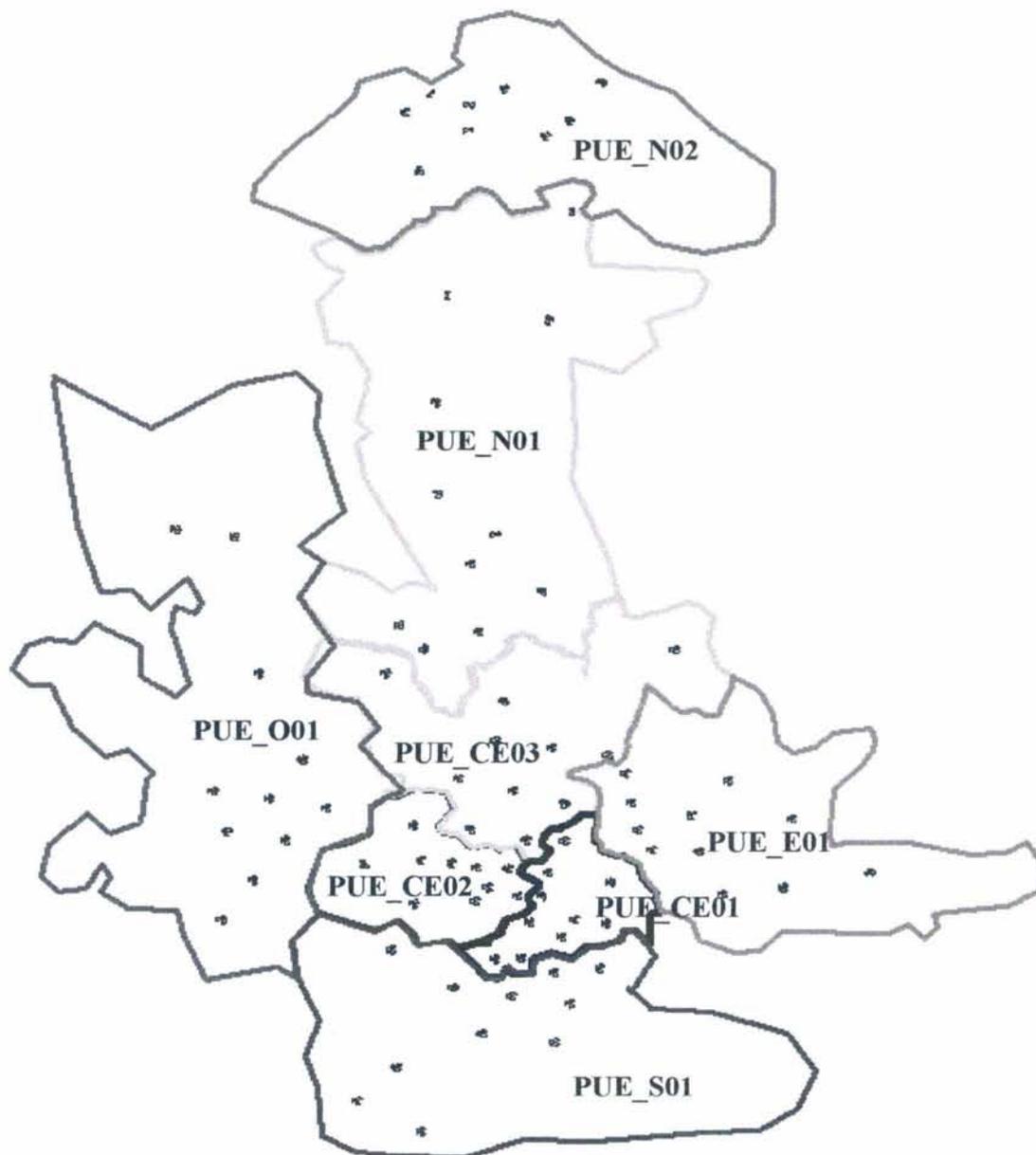


Figura 5.24. Clusters de las ciudades de Puebla y Tlaxcala.

Cada uno de los *clusters* tiene como límites el mismo borde de las celdas consideradas dentro del este; es decir, los bordes de los cluster están exactamente en donde termina la cobertura para los sitios que pertenecen a dicho *cluster*. Los límites de los *clusters* que tienen sitios de borde, está limitada por el vector de cobertura de la ciudad y que aparece con el contorno negro en la figura 5.25; dentro de esta zona la cobertura en interiores debe estar garantizada al 80%.

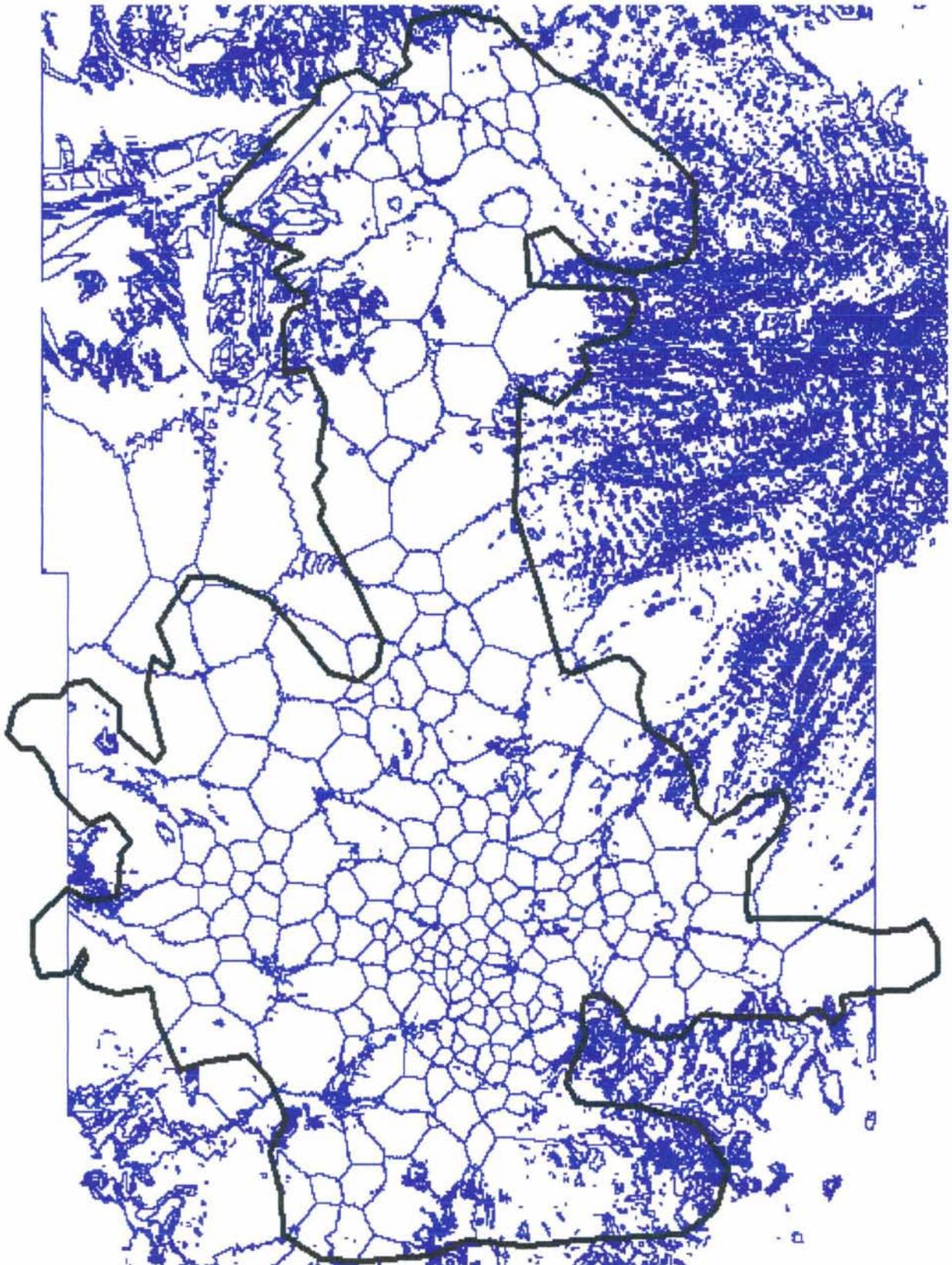


Figura 5.25. Mapa de predicción de mejor servidora para Puebla y Tlaxcala.

Para todas las ciudades es necesario diseñar una ruta del recorrido, cuidando de que toda el área sea evaluada, principalmente aquellas en la que exista una gran afluencia de usuarios.

Para diseñar una ruta, se debe tomar en consideración el siguiente criterio:

- La ruta debe recorrer cada uno de los sectores de cada sitio provocando el *handover* entre ellos mismos y en ambas direcciones. De esta forma se pueden identificar problemas de sectores cruzados o rotados, que pueden ser provocados por fallas en la instalación o bien por la mala configuración a nivel de datos en la BSC.
- La ruta debe cruzar el límite de la cobertura de cada celda hacia sus celdas vecinas, para comprobar que la relación de vecindad existe; esto se debe de hacer en ambos sentidos para comprobar que la definición ha sido hecha en ambas direcciones.
- Si los sitios son rurales, la ruta debe pasar cada cuatro calles y para sitios urbanos cada dos o tres calles. Pueden existir zonas en las que el operador crea conveniente hacer la ruta calle por calle o bien a pie, si no es posible hacerla con el vehículo.
- La ruta debe pasar por las zonas indicadas por el cliente y que son consideradas como importantes o que son de gran afluencia de usuarios.

En la figura 5.26 se encuentra la ruta trazada para el *cluster* denominado centro uno o PUEBLA_CE01, las figuras formadas por semicírculos representan cada uno de los sitios con sus tres sectores.

Los recorridos por *cluster* son diseñados para evaluar la red con más detalle y corregir tanto los problemas de implementación como de diseño, además de corregir la definición del valor de los parámetros si es necesario. Estos recorridos se presentan al operador para que observe el estado de la red celular previamente a su optimización inicial, pero en realidad la evaluación final de la red celular se hará con un recorrido general que no es tan cerrado y pasa principalmente por las avenidas y lugares importantes de la ciudad.

Con el diseño de las rutas se concluyen los preparativos iniciales y se tiene todo listo para iniciar los recorridos de prueba en toda la ciudad, y sólo se espera a que se libere la ciudad por parte del NOM, es decir que hayan dado de alta todo el equipo en el sistema y que esté correctamente configurado.

Para las pruebas que se hicieron en campo, utilizamos la herramienta que ya hemos mencionado anteriormente, llamada TEMS *Investigation*. La descripción de esta herramienta se encuentra en el apéndice F.

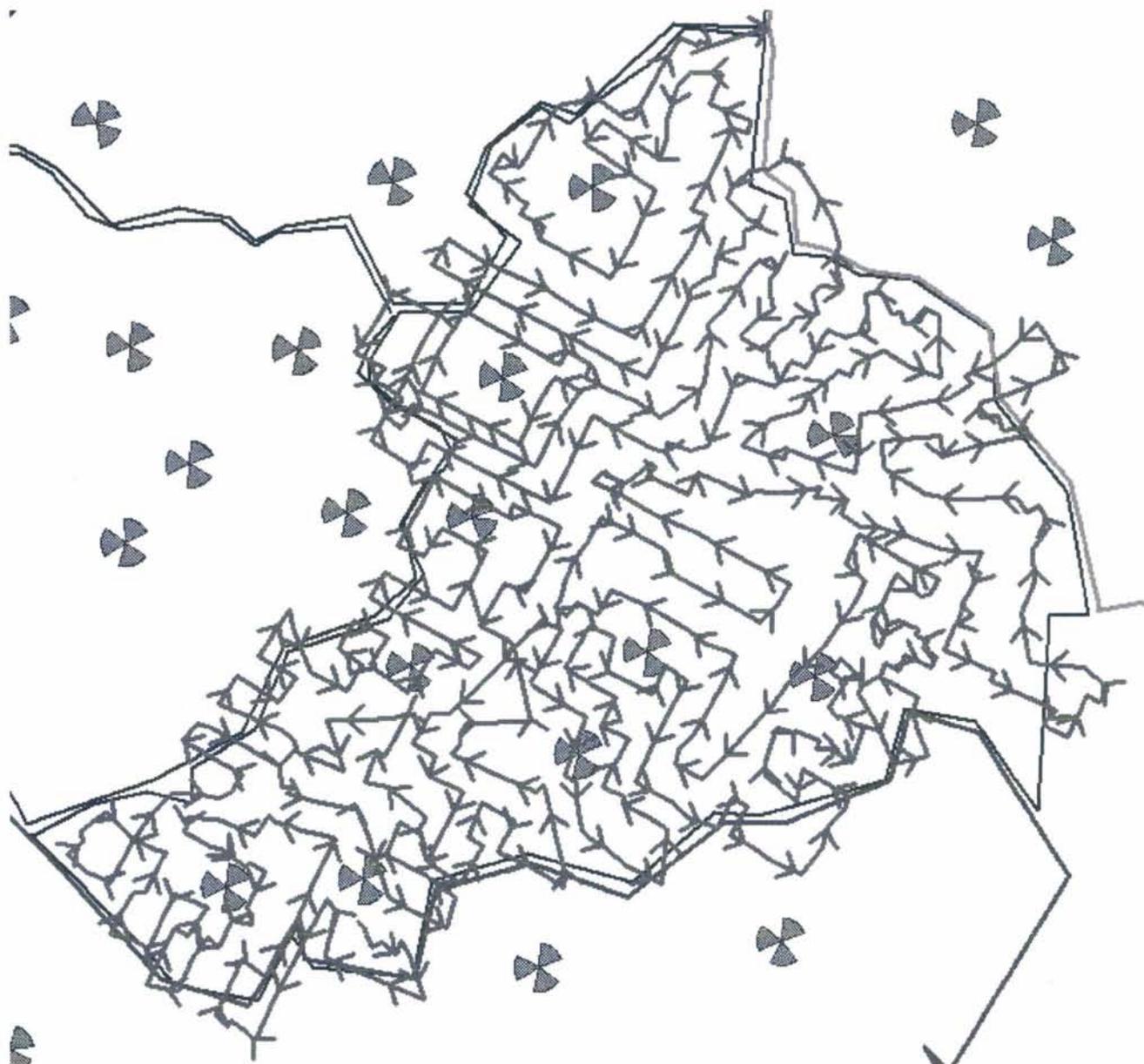


Figura 5.26. Ruta para el recorrido en el cluster PUEBLA_CE01.

Para los recorridos de las ciudades de Puebla y Tlaxcala se utilizaron cuatro equipos, formados cada uno por dos Ingenieros correctamente capacitados para utilizar la herramienta de pruebas y analizar la información recolectada. Los trabajos de optimización inicial de estos ocho *clusters* tardaron cuatro semanas y no se encontraron problemas graves, salvo los ocasionados por la falta de sitios. Es común que durante la primera fase del proyecto existan sitios faltantes, lo que provocará problemas de falta de cobertura, llamadas caídas, interferencia, etc; pero conforme se vayan liberando los sitios, los problemas se irán minimizando. En la figura 5.27 se muestra el recorrido general únicamente para la ciudad de Puebla, cada uno de los colores representan diferentes niveles de señal de acuerdo a la figura 5.28.

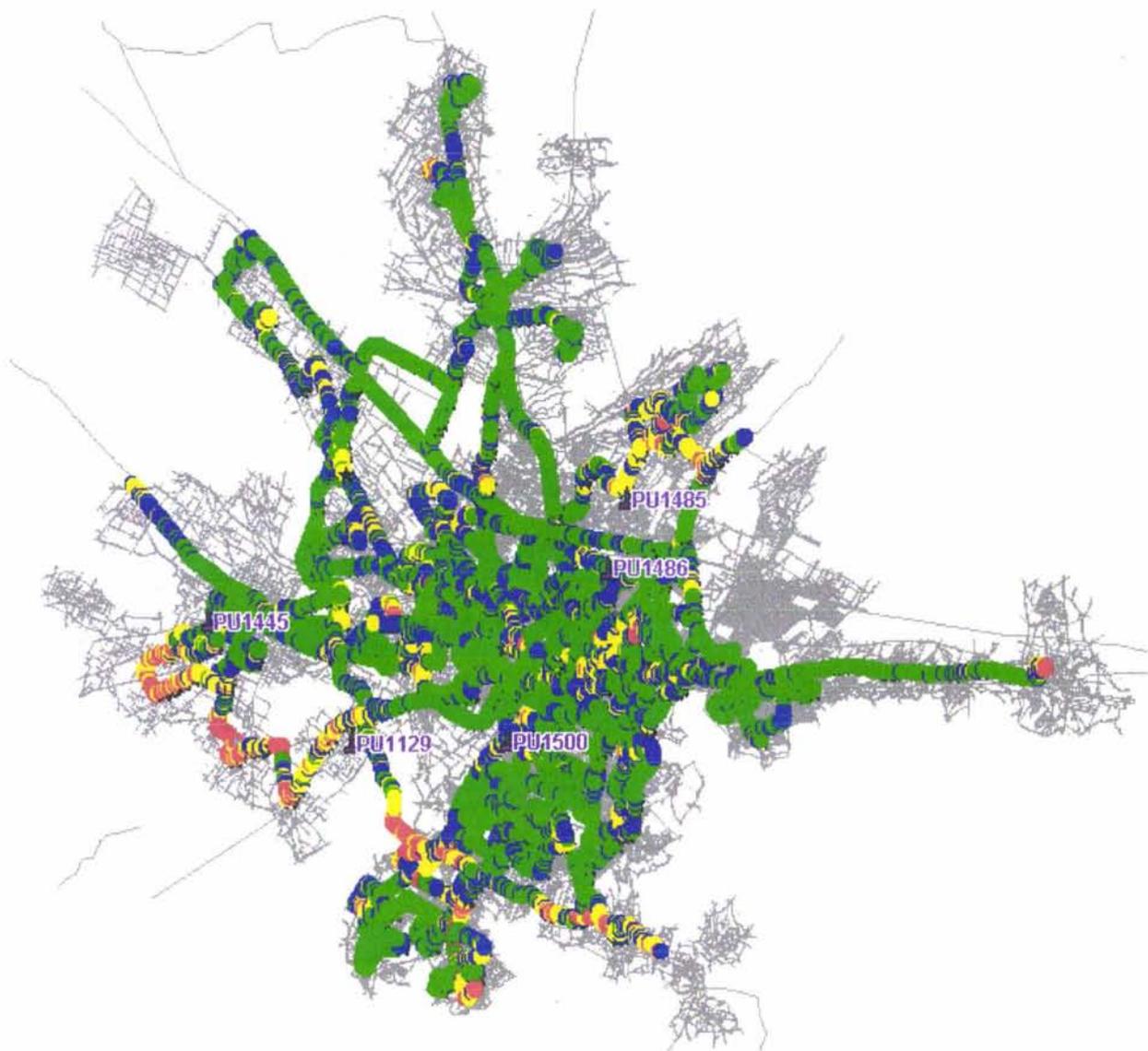


Figura 5.27. Niveles de señal del recorrido general de Puebla.



Figura 5.28. Valores de niveles de señal.

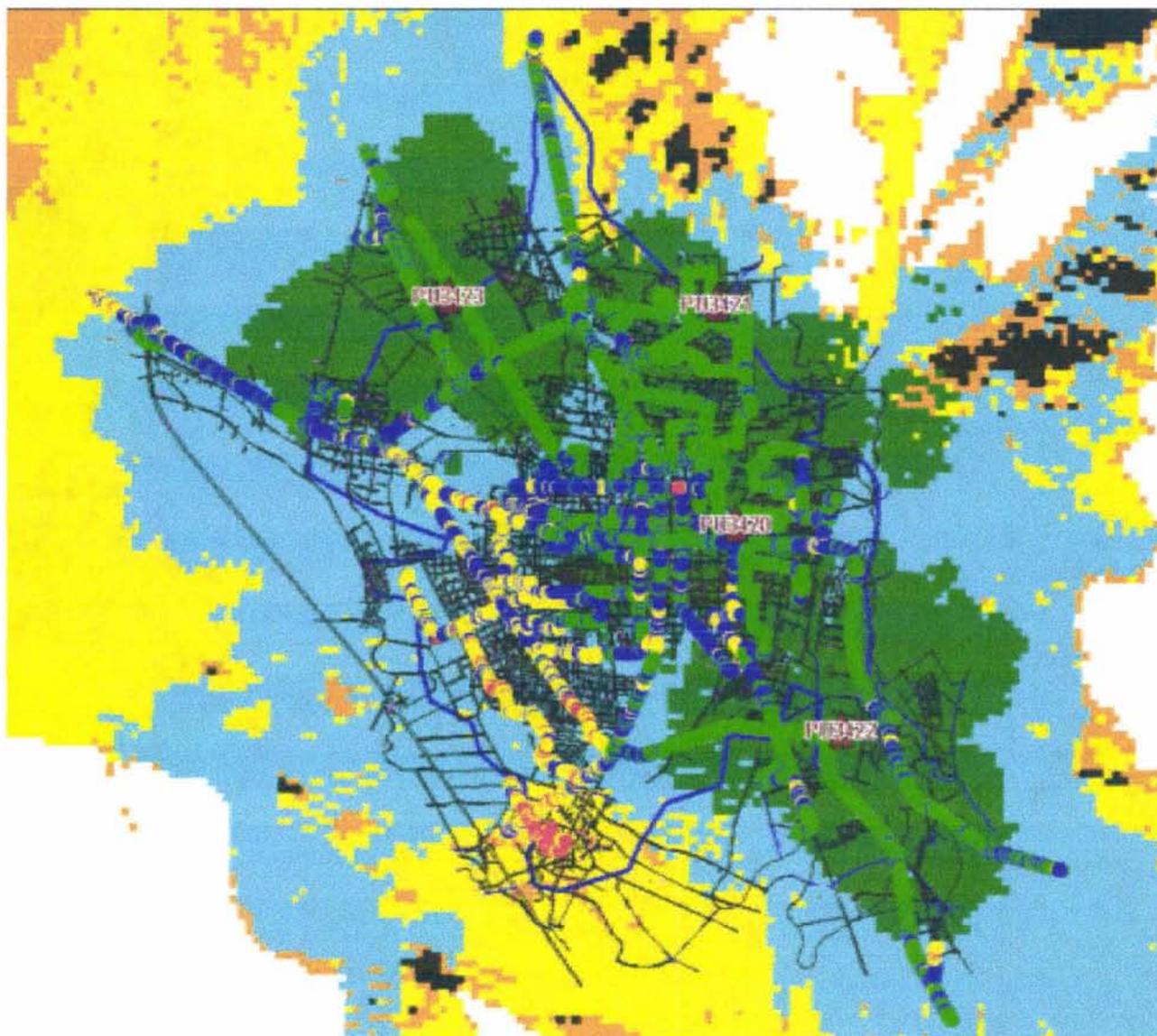
Los problemas encontrados en estas ciudades fueron de llamadas caídas, falta de cobertura, relaciones de vecindad faltantes e interferencia. Las llamadas caídas fueron ocasionadas por mala calidad (interferencia), bajos niveles de señal (falta de sitios) y por falta de relaciones de vecindad. Para la primera causa, la solución es hacer un cambio adecuado de frecuencia en el BCCH para la celda que está ocasionando el problema; para la segunda causa, habrá que esperar el sitio faltante o bien tratar de cubrir esa zona modificando la configuración de los sitios de alrededor (cuidando de no provocar interferencia) y para la tercera, sólo es necesario agregar en el sistema las relaciones faltantes.

Finalmente, se debe de entregar un reporte al operador, en el que se muestren los resultados generales de los recorridos, tal como los mapas de los niveles de señal, mapa de calidad de voz, mapa de bits erróneos, estadísticas, etc. El formato que se debe utilizar es de acuerdo a la información que se presenta en las figuras 5.29, 5.30, 5.31 y 5.32. Este reporte muestra únicamente un cluster de la ciudad de Puebla para ejemplificar la información que se debe de entregar.

FINAL CLUSTER REPORT

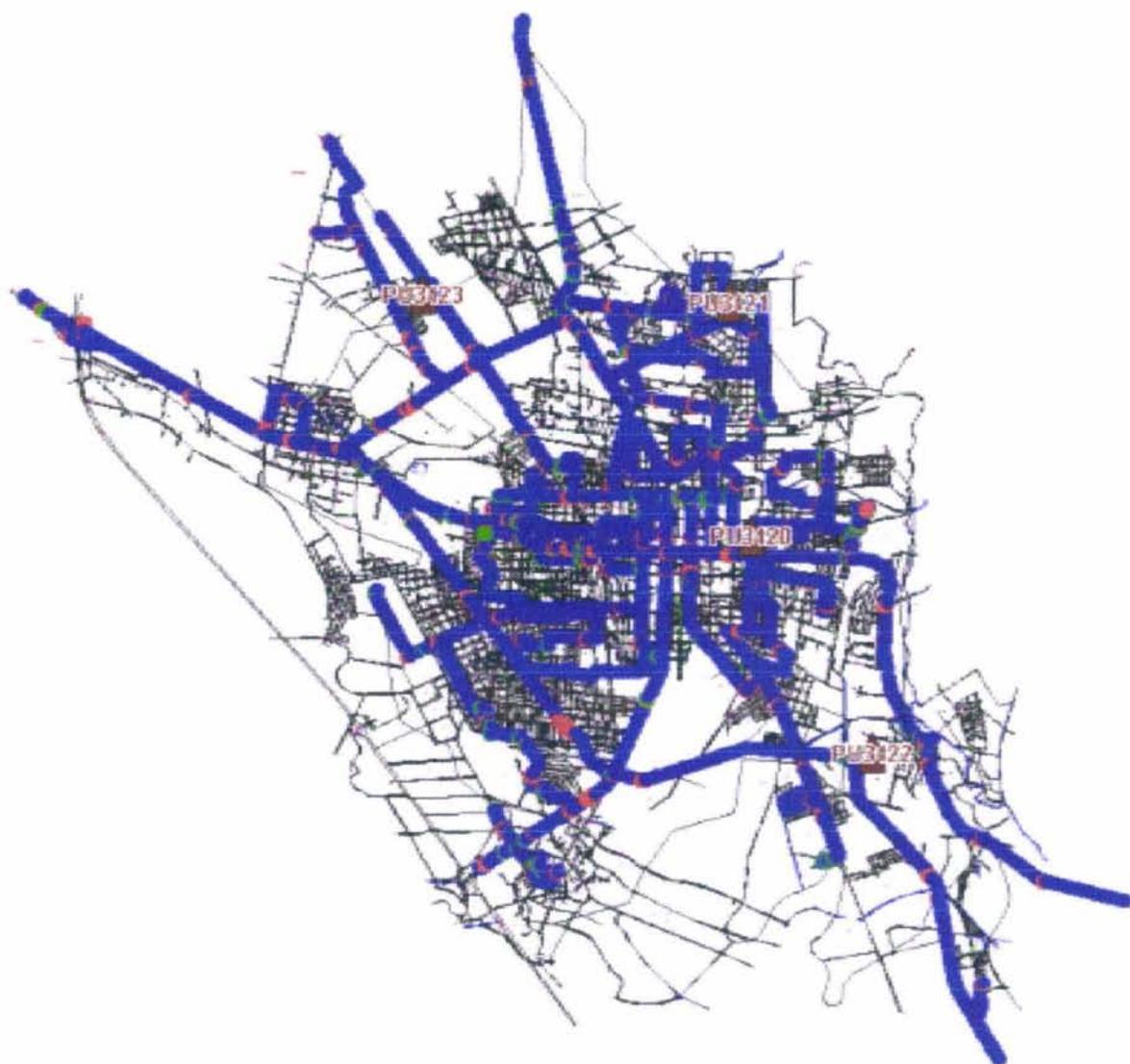
City:	Puebla			
Cluster name:	R7_PUE_CE_001			
Final Cluster Report Number:	001			
+				
TEMS Operator	E-mail		Telephone	
Armando Lopez Vazquez	amando.lopezvl@am2.ericsson.se		5591970077	
Region: 7	Sites in the Cluster:			
Zone: CE	SITE ID	Active Y/N	SITE ID	Active Y/N
Cluster: R7_PUE_CE_001	PUE3420	X		
Date: 030603	PUE3421	X		
	PUE3422	X		
	PUE3423	X		
Cluster Performance:				
Drive Tests	Call Setup	Total Handovers	Failed Handovers	Dropped Calls
2	13	174	0	0
CLUSTER ACCEPTANCE BY RF:				
General Comments ¹ :				
To the south-west we have low coverage levels because the sites are around 4 or 3 km far away, to improve it we need increasing height in some sectors or plan a new site.				
Report Approved by:				
Date:				
TEMS: 3.2	KIT: 15			
S/N	520329-51-023973-8			

Figura 5.29. Formato de reporte final (estadísticas).



RXLEV (dBm)	
✖ No Service Mode	(0)
● -72 to -30	(110303)
● -81 to -73	(58070)
● -90 to -82	(26654)
● -110 to -91	(5310)
⬤ Idle Mode	(776)

Figura 5.30. Formato de reporte final (nivel de señal).



SQI	
● Good (16 to 30)	(194797)
● Acceptable (6 to 15)	(1256)
● Unsatisfactory (-30 to 5)	(8839)
◊ Idle Mode	(776)
× No Service Mode	(0)

Figura 5.31. Formato de reporte final (niveles de SQI).



RXQUAL	
○ 0 to 3	(201125)
● 4 to 5	(3502)
● 6 to 7	(265)
× No Service Mode	(0)
• Idle Mode	(776)

Figura 5.32. Formato de reporte final (niveles de RxQual).

5.9. PROCEDIMIENTOS DE OPTIMIZACIÓN PERMANENTE

Una vez que la red celular ha sido lanzada comercialmente al público, comienza a generarse tráfico dentro de la misma por parte de los nuevos usuarios. En este momento se inicia el proceso de optimización permanente sobre la red celular conforme a los procedimientos descritos en el capítulo 4. Estos procedimientos tienen el objetivo de mantener un buen desempeño de la red celular de acuerdo al estado y comportamiento de cada uno de los siguientes indicadores de desempeño:

1. Acceso aleatorio.
2. Disponibilidad de canal de tráfico.
3. Llamadas caídas.
4. Calidad de voz.
5. Congestión.
6. *Handover*.

En la práctica, no siempre se siguen los pasos descritos en los procedimientos al pie de la letra, puesto que cada optimizador los aplicará o modificará de acuerdo a su criterio una vez que haya adquirido experiencia. El primer problema referente a los accesos aleatorios fallidos involucra que no puedan establecerse las llamadas, lo cual representa obviamente un gran impacto negativo, por lo que su solución representará una mejora muy notable principalmente por la facturación del servicio. El segundo procedimiento describe el análisis y solución del problema de la indisponibilidad de los canales de tráfico, lo que provocará que los usuarios no tengan acceso a la red celular. El tercer y cuarto problemas están muy ligados uno del otro, puesto que las llamadas caídas son causadas por la mala calidad, por lo que la solución de este problema representa una mejora en la percepción que el usuario tiene durante el curso de su llamada. El quinto problema, se puede resolver rápidamente e incluso prevenirse simplemente observando el crecimiento del tráfico en cada una de las celdas, pues de lo contrario el usuario tendrá problemas al acceder a la red. El último problema es una consecuencia de los anteriores, por lo que al resolverlos seguramente este último indicador se verá bastante corregido. Durante la aplicación de los procedimientos, haremos uso de una herramienta llamada NPA (Network Performance Analyzer, Analizador del desempeño de la red) la cual extrae directamente de la base de datos del sistema, las estadísticas que se generan y las muestra gráficamente para facilitar el análisis de los problemas. Comenzaremos entonces con la aplicación para cada uno de los procedimientos ya descritos.

5.9.1. Procedimiento para el acceso aleatorio fallido

El acceso aleatorio es un proceso que realizan los móviles y que está relacionado directamente con la accesibilidad a la red celular. El proceso de acceso aleatorio puede ser hecho para iniciar una llamada, para contestar un voceo (llamado de la red a los móviles), para registrarse por primera vez a la red, para desconectarse de la red, para actualizar el área de localización o para hacer su registro periódico, indicándole a la red que aún se encuentra activo y la celda en la que se ubica.

Cuando la red aún no tiene muchos usuarios, suele darse un efecto que se presenta en todos los sistemas de comunicaciones digitales de este tipo, al cual se le denomina acceso aleatorio fantasma y es generado por el ruido de piso. Esto ocurre cuando la BTS interpreta equivocadamente una secuencia aleatoria como una ráfaga de acceso, pero en realidad solamente es ruido. Una forma de minimizar este problema es con una cuidadosa asignación del BSIC para cada una de las celdas, así como un buen diseño del plan de frecuencias. Para este problema, analizaremos un caso en particular para una celda específica mediante el siguiente estudio de caso.

- **Aplicación del procedimiento en la celda PUE1480C**

El problema que presenta esta celda es un alto porcentaje de accesos aleatorios fallidos de manera muy irregular como se muestra en la figura 5.33. El objetivo en este caso, es reducir este porcentaje y lograr que sea lo más cercano a cero, garantizando así un buen servicio a los usuarios.

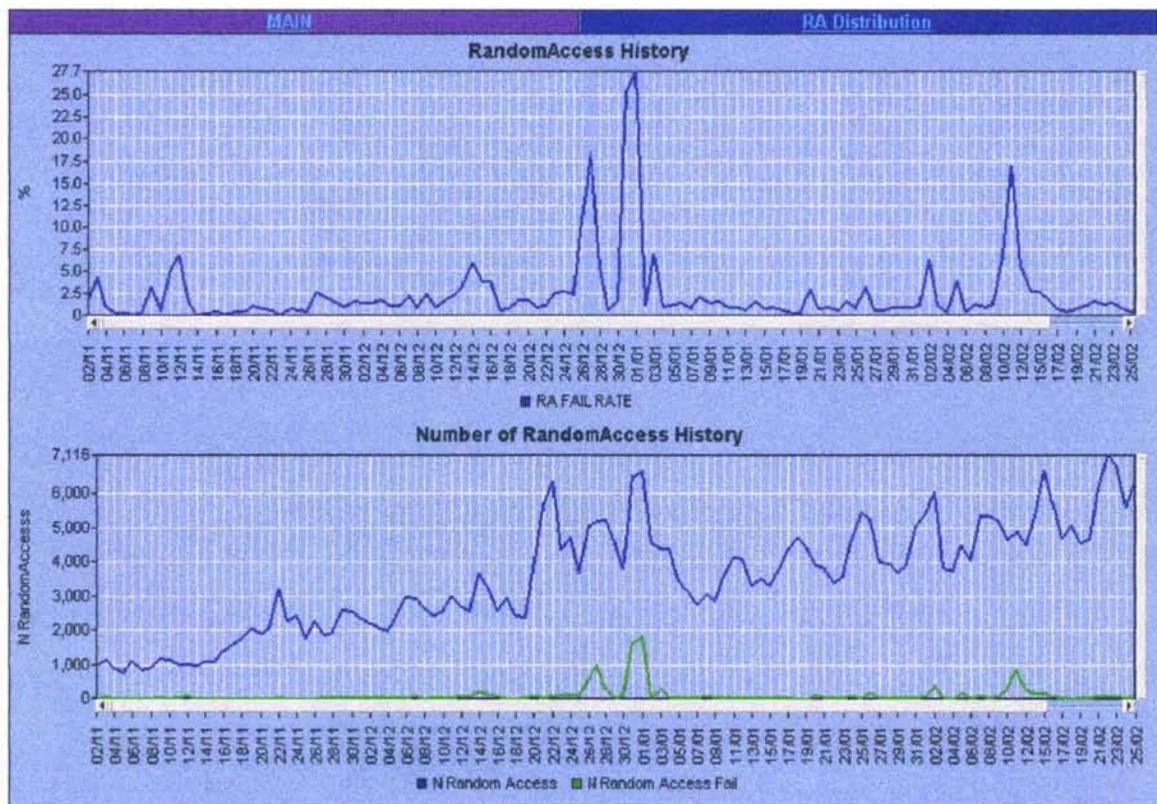


Figura 5.33. Alto RA para la celda PUE1480C.

El procedimiento que podemos aplicar para el análisis y solución de este problema lo describimos a continuación:

1. El sistema genera una lista de todas las celdas para cada una de las BSC y las ordena de forma ascendente de acuerdo a su desempeño. Del siguiente listado de la figura 5.34, seleccionaremos la celda PUE1480C ya que durante el periodo

seleccionado resultó ser la peor celda. Hay que observar que si bien esta celda no es la que tiene la tasa más alta, si es la que tiene el peor impacto sobre la red, esto es la que tiene el mayor número de intentos de accesos.

CELL	BSC	RA Fail Rate	Impact (5,46%)	Tot RA Att	Originated RA %	Reestablishment %	Emergency Calls %	Answer to Paging %	All Other Cases %
PUE1480C	PUEBSC1	17.43	1 649	22138	5.1	0	0	1.7	93.1
TLAX1140C	PUEBSC1	32.93	0 775	5512	5.7	0.1	0	1.4	92.9
PUE1136C	PUEBSC1	13.23	0 208	3681	11.4	0.2	0.1	4.3	84.1
PUE1092C	PUEBSC1	10.66	0 163	3584	16.2	0	0.2	3.1	80.5
TLAX1470C	PUEBSC1	8.84	0 112	2951	5.8	0	0.1	3.3	90.8
PUE1473C	PUEBSC1	12.8	0 104	1899	21.4	0.3	0.1	5.3	73
PUE1136A	PUEBSC1	9.83	0 093	2207	10	0	0.3	6	83.8
PUE1091B	PUEBSC1	1.52	0 033	5130	23.9	1.1	0.4	11.5	63.1
PUE1487A	PUEBSC1	3.71	0 023	1428	24.4	0.1	0.1	7.4	68.1
PUE1119C	PUEBSC1	0.84	0 014	3787	23	0	1	6.5	69.5
PUE1105B	PUEBSC1	0.71	0 013	4244	23.1	0	0.1	4.8	72
PUE1131C	PUEBSC1	0.54	0 011	4784	27.8	0.1	0.5	9.9	61.7
PUE1111C	PUEBSC1	0.9	0 01	2655	21.9	0	0.2	7.1	70.8
PUE1468C	PUEBSC1	4.32	0 01	556	15	0	0.8	5.5	78.8
PUE1487B	PUEBSC1	0.9	0 01	2565	28.2	0.1	0.2	8.8	62.7
PUE1124A	PUEBSC1	0.38	0 009	5465	27	0	0.1	10.1	62.8
PUE1130B	PUEBSC1	1.72	0 009	1220	27.3	0	0.1	12.3	60.4
PUE1113B	PUEBSC1	0.35	0 009	5725	26.7	0.1	0.2	10.5	62.6
PUE1124B	PUEBSC1	0.47	0 009	4298	28.8	0.2	0.2	10.3	60.5
PUE1119B	PUEBSC1	0.21	0 008	9077	26.5	0	0.1	9.3	64
PUE1089C	PUEBSC1	0.21	0 008	8483	27.9	0	0.5	8.9	62.7

Figura 5.34. Lista de las peores celdas en RA para Puebla y Tlaxcala.

- El siguiente paso es verificar, para la BSC a la que pertenece la celda seleccionada, que el número de muestras que se tomaron es lo suficientemente alto como para describir fielmente el comportamiento de su operación. En la figura 5.35. observamos que la cantidad de muestras para la BSC de Puebla es muy confiable, pues es mayor al 90%; esto se puede observar en la columna de *Reliability*.

BSC	TCH TRAFFIC	RA FAILURE	SDCCH DROP	TCH DROP	SERVICE DENIED	SQI BAD	SUBS. CONG.	ICM Band >1	HAND. FAIL	TCH BLOCK	RELIAB.
ACABSC1 (REGION 7)	190.2	0.16	0.41	1.06	1	1.18	0.87	0.26	1.34	1.73	100
JALBSC1 (REGION 7)	273.5	0.3	0.5	1.17	4.93	4.52	4.73	0.31		0.62	100
OAXBSC1 (REGION 7)	136.7	0.19	0.56	1.03	0.65	3.04	0.5	1.34	1.15	4	100
PUEBSC1 (REGION 7)	355	0.13	0.45	0.97	0.49	2.97	0.34	0.19	1.67	1.16	100
VERBSC1 (REGION 7)	427.4	0.37	0.43	0.83	0.33	1.21	0.15	1.01	1.83	0.83	70.83

Figura 5.35. Credibilidad del número de muestras tomadas.

- El paso tres consiste en la verificación del valor del parámetro MAXTA, que indica el momento en el que se hace el cambio de celda para cuando el móvil se

ha alejado demasiado de la BTS y además limita el acceso de los móviles a la red si se encuentran también demasiado lejos. Este valor ha sido estandarizado en todo el país a un valor 63, que equivale aproximadamente a 32 Km. (la relación es de 2 a 1). Esto quiere decir que si un móvil se encuentra a más de 32 Km. de la BTS a la que pretende acceder, la conexión no se llevará a cabo y se contabiliza como un acceso fallido más. El valor de este parámetro lo podemos obtener directamente de una impresión del sistema que nos muestra esta información. La siguiente impresión muestra el valor de este parámetro, y este es correcto, por lo que descartamos que la causa sea la mala configuración de este parámetro.

CELL LOCATING DISCONNECT DATA

<i>CELL</i>	<i>MAXTA</i>	<i>RLINKUP</i>
<i>PUE1480A</i>	<i>63</i>	<i>20</i>
<i>PUE1480B</i>	<i>63</i>	<i>20</i>
<i>PUE1480C</i>	<i>63</i>	<i>20</i>
<i>END</i>		

- El siguiente paso sería localizar la ubicación de la celda en un mapa, así como sus celdas vecinas y después verificar mediante una impresión del sistema, que ninguna de estas celdas tengan la misma combinación de BSIC y BCCH. Si esto llegará a ocurrir, los móviles no sabrían exactamente en que celda están ubicados, pues estarían midiendo dos distintos niveles de señal pero reconociéndolos como una misma celda. Esto sin duda, puede ocasionar problemas a la hora de que los móviles quieran acceder a la red, pues no saben exactamente con que celda hacerlo. De la figura 5.36., observamos en el mapa las celdas vecinas a PUE1480C. La impresión que obtenemos del sistema para cada una de estas celdas es la siguiente, en donde los datos que nos interesan son el BSIC y BCCHNO, pudiendo observar que ninguna celda de estas tiene la misma combinación mencionada.



Figura 5.36. Mapa para la celda PUE1480C y sus vecinas.

NEIGHBOUR RELATION DATA

```

CELL
PUE1480C
BSIC BCCHNO
33      606
CELLR   DIR   CAND  CS
PUE1137C MUTUAL BOTH  NO
BSIC BCCHNO
43      610
CELLR   DIR   CAND  CS
PUE1092C MUTUAL BOTH  NO
BSIC BCCHNO
72      591
CELLR   DIR   CAND  CS
TLAX1474C MUTUAL BOTH  NO
BSIC BCCHNO
23      597
CELLR   DIR   CAND  CS
PUE1480A MUTUAL BOTH  YES
BSIC BCCHNO
34      605
CELLR   DIR   CAND  CS
PUE1480B MUTUAL BOTH  YES
BSIC BCCHNO
25      601
END
    
```

- Hay que verificar los niveles de interferencia tanto en el enlace de *downlink* como en el de *uplink*. Puesto que esto puede provocar que la BTS decodifique de manera incorrecta el intento de acceso que proviene de los móviles, entonces se contabilizará un acceso aleatorio fallido más. La figura 5.37. muestra la calidad de voz para esta celda, la cual tiene un nivel bastante aceptable. En caso de que la calidad se encontrará muy degradada, sería indicio de que existe interferencia en el *downlink*, por lo tanto sería necesario optimizar el plan de frecuencias.

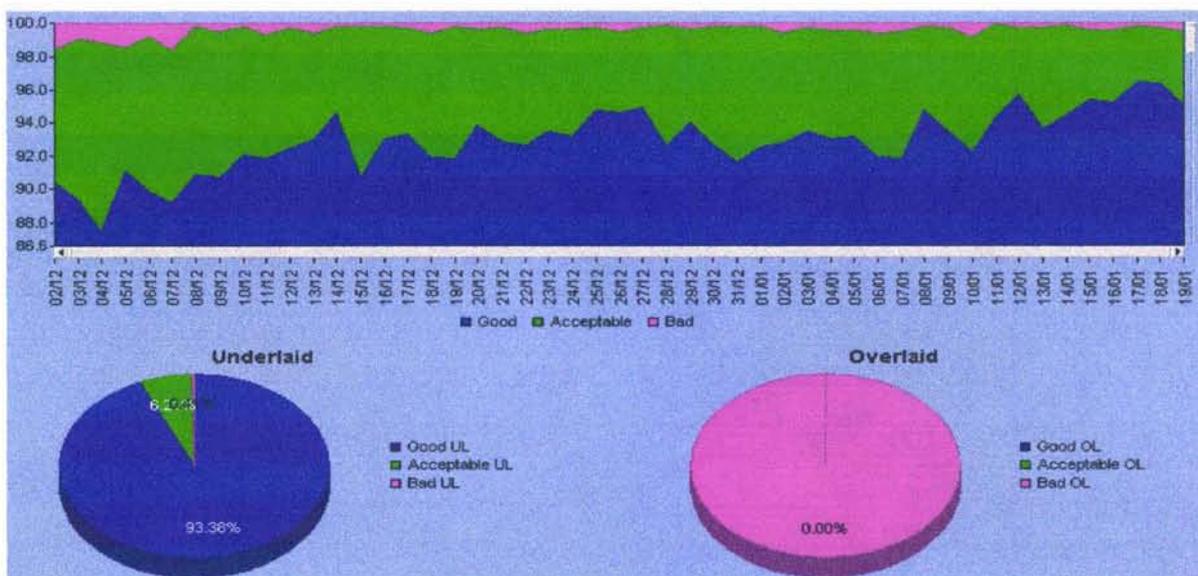


Figura 5.37. Calidad de voz para la celda PUE1480C.

La herramienta NPA muestra también una medición que hace la BTS sobre cada uno de los canales de transmisión cuando estos están en modo libre. Esta medición muestra el nivel de interferencia en el *uplink* para todos los canales que alcanza ver cada una de las BTS, pero en nuestro caso el canal 606 que corresponde a la celda PUE1480C, no presenta problemas de interferencia. En la figura 5.38. se ve que la barra correspondiente al canal 606, así como sus canales adyacentes están prácticamente en cero.

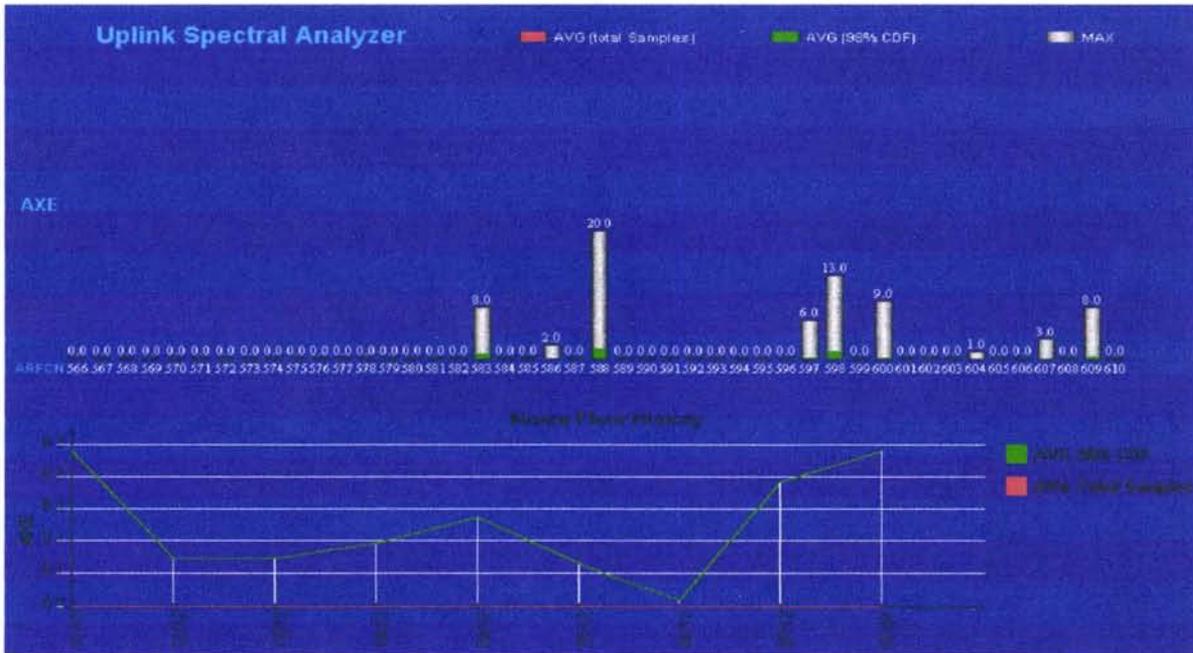


Figura 5.38. Medición de interferencia en el uplink para el canal 606.

6. Si la configuración de los canales de señalización para esta celda es errónea, puede ser que en el momento en el que el móvil intente hacer el acceso a una celda, simplemente no pueda establecerse el proceso de asignación del canal de tráfico, puesto no existen canales de señalización. En la siguiente impresión mostramos la definición de los canales para la celda PUE1480C, la cual es la correcta; y a manera de ejemplo mostramos la definición para otras celdas, aclarando que todas aquellas que tengan una definición diferente a la celda que estamos analizando, están incorrectas. Por ejemplo, el sitio PUE1448 acaba de ser integrado a la red y aún no tiene ninguna configuración asignada.

CELL RESOURCES				
CELL	BCCH	CBCH	SDCCH	NOOFTCH
TLAX1470C	1	0	0	7
TLAX1470B	1	0	12	6
TLAX1470A	1	1	7	6
PUE1480C	1	1	7	6
PUE1480B	1	1	7	6
PUE1480A	1	1	7	6
PUE1448C	0	0	0	0
PUE1448B	0	0	0	0
PUE1448A	0	0	0	0

7. También puede presentarse un problema de congestión pero a nivel de BSC, ya que en ocasiones resulta que el tráfico crece tanto que la capacidad del enlace entre la BSC y la MSC se vuelve insuficiente. La solución de un problema de este tipo es exclusiva del NOM, por lo que si se sospecha de esta falla, habrá que hacer la solicitud correspondiente a esta área para su revisión.
8. En el mapa mostrado en el punto 4, podemos observar con detenimiento que la celda que tiene este problema es una celda de borde de la red celular. Puesto que esta es la última celda que le da cobertura a la autopista hacia México, se presenta un gran número de accesos fallidos por la gran cantidad de usuarios que transitan por esta vía a una alta velocidad. Aunado a esto, toda esta zona es un área abierta, lo que permite que la señal se propague demasiado aún con bajos niveles, la cual será fácilmente interferida por el ruido de piso.

Existe otra gráfica dentro de la herramienta NPA que muestra el *timing advance* (TA) para cada celda dentro de la red. Hay que recordar que la medición de TA nos indica la distancia aproximada en la que se concentra el tráfico de la celda. Es decir, si la mayor parte de los móviles se concentran cerca de la BTS, casi todas las muestras tendrán un valor de TA pequeño, de alrededor de 6, lo que quiere decir que los móviles se encuentran en un radio menor a 3 Km. En caso contrario, si se presenta un alto TA, esto quiere decir que muchos de los móviles están accediendo a esa celda desde muy lejos y obviamente con niveles muy bajos de señal. La figura 5.39. muestra la medición de TA para la celda PUE1480C, pudiendo apreciarse que se está dando servicio a los móviles que se encuentran a una distancia aproximada de 31 Km. de la BTS. Esto sin duda ocasionará problemas de accesos fallidos, pues los niveles que se presentan a esta distancia son de aproximadamente -110 dB, los que son muy sensibles al ruido de piso.

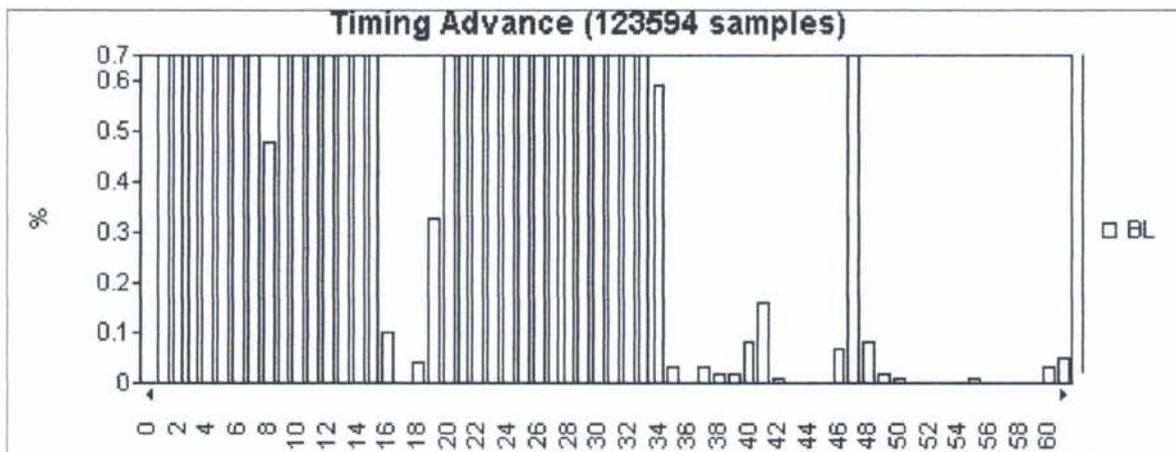


Figura 5.39. Avance en el tiempo para PUE1480C.

Una posible solución en este caso, es revisar la inclinación eléctrica y mecánica de la antena de la celda PUE1480C y si es posible hay que darle una inclinación hacia abajo a la antena para disminuir su cobertura y evitar que esté llegando muy lejos su señal. La inclinación tanto eléctrica como mecánica de esta antena es de 0°, por lo

que se decidió hacer una simulación en TCP para tratar de disminuir su cobertura. Se hicieron las simulaciones dándole una inclinación mecánica a la antena de 4°, 6° y 7° respectivamente de acuerdo a la figura 5.40, con la correspondencia de los niveles de cobertura en la figura 5.41. Para no perder cobertura en interiores, se decidió darle una inclinación de 0° a 6° mecánicos.

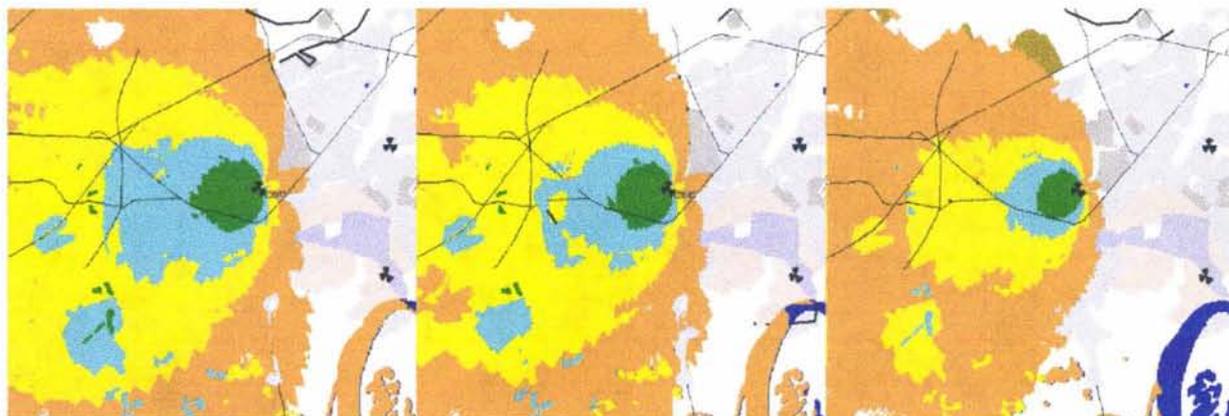


Figura 5.40. Simulación de inclinación eléctrica para 4°, 6° y 7° en PUE1480C.

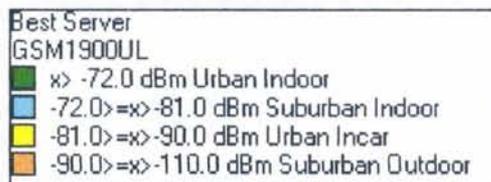


Figura 5.41. Asignación de los niveles de cobertura para la simulación anterior.

9. Una vez que el cambio de inclinación en la antena ha sido hecho por la gente de implementación del NOM, hay que seguir observando las estadísticas para comprobar que la solución implementada realmente solucionó el problema. Para esto se recomienda dejar pasar por lo menos tres días y analizar las estadísticas para decidir si el problema está resuelto. En la figura 5.42. se observa que a partir del día 27 de febrero, fecha en la que se hizo el cambio, el número de accesos aleatorios disminuyó así como el número de accesos fallidos. Además, se observa una disminución aún mayor en el número de accesos aleatorios el día 7 de mayo por la instalación de un sitio nuevo en la autopista México-Puebla.
10. También podemos observar en la figura 5.43. que en la celda PUE1480C, las muestras con un alto TA han disminuido y que ahora la mayor parte de los móviles se concentran en un radio no mayor a 16 Km. Esta distancia parece ser aún muy grande, pues normalmente el radio de cobertura de una celda es de aproximadamente 2 Km.; pero hay que recordar que esta es una celda de borde y por más que intentemos limitar su cobertura, esta siempre se propagará en exceso.

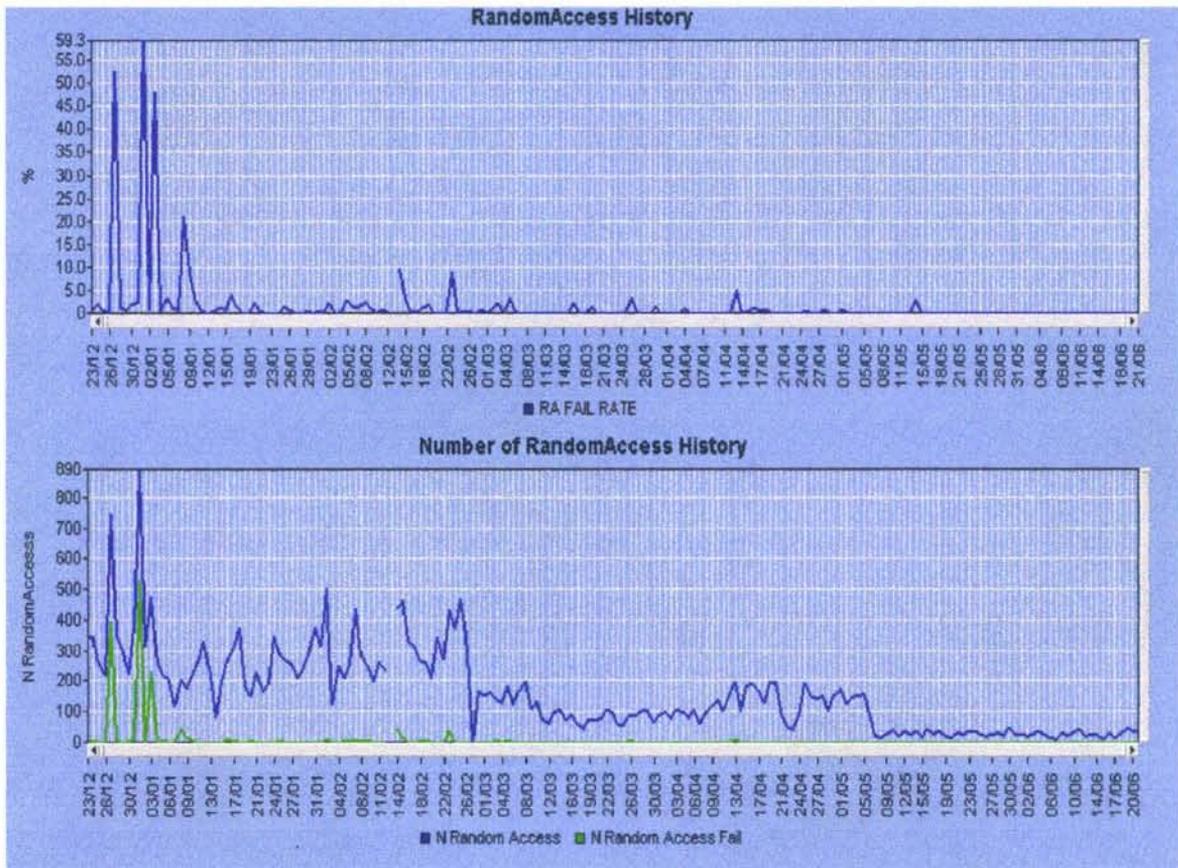


Figura 5.42. RA para la celda PUE1480C.

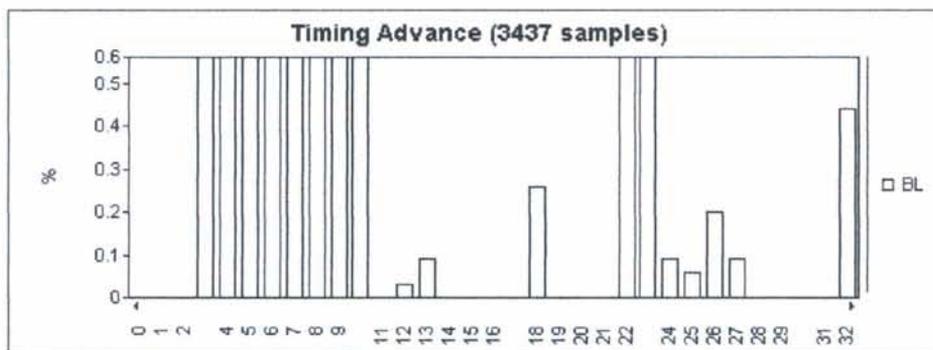


Figura 5.43. Avance en el tiempo para PUE1480C después del cambio.

En el caso que hemos analizado, la implementación del cambio de inclinación de la antena tardó tres días, por lo que muchas de las veces no es posible observar las mejoras inmediatamente una vez que se ha determinado la solución.

5.9.2. Procedimiento para la indisponibilidad del canal de tráfico

La indisponibilidad de los canales de tráfico representa un problema muy serio para el operador, por el todo dinero que deja de facturarse al denegar el acceso a los usuarios

a la red. Generalmente este problema es ocasionado por fallas en el hardware o bien por congestión en la celda. La prevención de este problema es posible al estar monitoreando las alarmas que genera el sistema y observando el crecimiento del tráfico. Ahora veremos la aplicación del procedimiento, analizando un caso en particular para la ciudad de Tlaxcala.

- **Aplicación del procedimiento en la celda TLAX1364B**

Dentro de cualquier red celular, es normal que el hardware falle en algún momento, ya sea por la terminación de su vida útil o bien por el mal uso que se le da. Obviamente si los radios fallan, el servicio le será denegado a los usuarios por la falta de recursos en la BTS. El problema de congestión también tiene el mismo impacto negativo, por lo que será necesario analizar las celdas que tengan este problema mediante la aplicación del procedimiento, tal y como lo ejemplificamos a continuación. La celda que analizaremos es TLAX1364B por ser la peor celda en este aspecto. La figura 5.44 muestra que esta celda empezó a tener problemas con la disponibilidad del canal de tráfico a partir del 5 de diciembre del 2003. El problema se presentó en el segundo radio, es decir, en la capa superior ocasionando una disponibilidad de los canales de tráfico de únicamente el 50%.

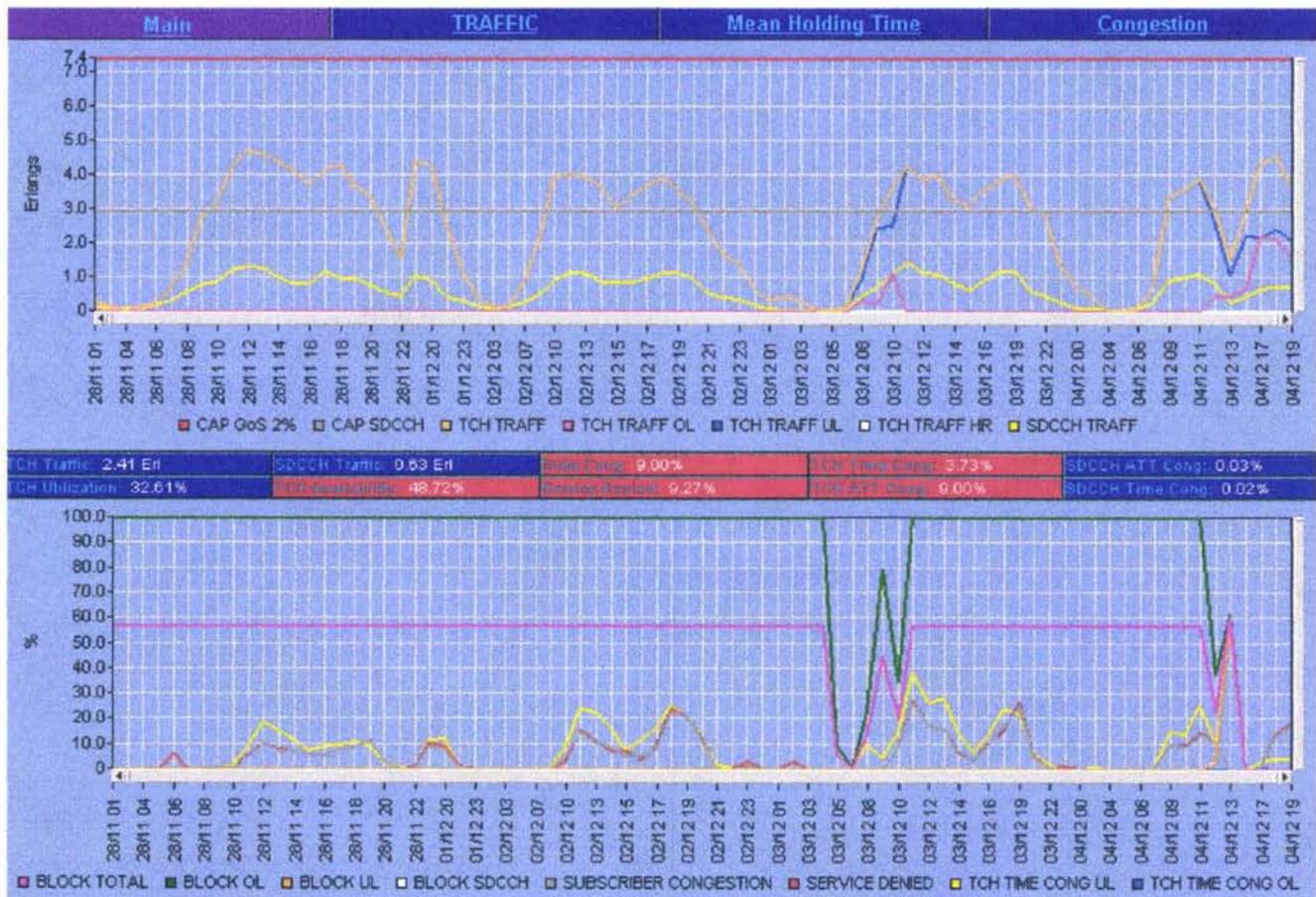


Figura 5.44. Indisponibilidad de la celda TLAX1364B.

1. De la misma forma que para el caso anterior, el sistema genera una lista con las peores celdas para este indicador de desempeño. La figura 5.45 muestra que en esta BSC la celda TLAX1364B es la que tiene menor disponibilidad del canal de tráfico.

CELL	BSC	TCH AVAIL	Impact (2,54%)	TCH AVAIL UL	TCH AVAIL OL	SDCCH AVAIL	No. of TRUs	No. of TCHs	No. of SDCCHs
TLAX1364B	PUEBSC1	54.07	0.233	98.9	20.5	98.9	2	14	7
PUE4052C	PUEBSC1	0	0.217	0	0	0	1	6	7
PUE4049B	PUEBSC1	54.6	0.17	94.2	0	95.1	2	10	7
PUE4049A	PUEBSC1	57.76	0.156	98.3	0	99.8	1	10	7
PUE3042A	PUEBSC1	37.97	0.135	38	0	38	1	6	7
PUE3416A	PUEBSC1	82.97	0.037	83	0	99.6	1	6	7
PUE1355A	PUEBSC1	95.9	0.033	95.9	95.9	95.9	3	22	7
PUE1327B	PUEBSC1	94.91	0.026	100	91.1	100	2	14	7
PUE1355B	PUEBSC1	95.9	0.021	95.9	95.9	95.9	2	14	7
TLAX1336A	PUEBSC1	96.54	0.018	96.5	96.5	96.5	2	14	7
TLAX1336B	PUEBSC1	96.74	0.017	96.7	96.7	96.7	2	14	7
TLAX1336C	PUEBSC1	96.86	0.016	96.9	96.9	96.9	2	14	7
PUE3414C	PUEBSC1	96.02	0.009	96	0	99.9	1	6	7
PUE3039C	PUEBSC1	98.47	0.008	98.5	98.5	98.5	2	14	7
TLAX3039A	PUEBSC1	98.47	0.008	98.5	98.5	98.5	2	14	7
TLAX3039B	PUEBSC1	98.48	0.008	98.5	98.5	98.5	2	14	7
TLAX1364C	PUEBSC1	99.73	0.001	99.9	99.6	99.9	2	14	7

Figura 5.45. Disponibilidad para la celda TLAX1364B.

2. También se debe de verificar que el número de muestras que hayan sido tomadas durante el periodo de interés haya sido mayor al 90% para asegurar que están describiendo adecuadamente el comportamiento de la celda. Del listado de la figura 5.46, observamos que el número de muestras tomadas para la BSC de Puebla corresponde a los más altos.

BSC	TCH TRAFFIC	RA FAILURE	SDCCH DROP	TCH DROP	SERVICE DENIED	SQI BAD	SUBS. CONG.	ICM Band >1	HAND. FAIL	TCH BLOCK	RELIAB
ACABSC1 (REGION 7)	162.7	0.16	0.37	0.92	0.49	1.55	0.29	0.24	1.73	1.48	91.67
JALBSC1 (REGION 7)	254.5	0.66	0.51	1.18	2.34	4.28	2.14	0.24	0.82	0.34	100
OAXBSC1 (REGION 7)	138.6	0.09	0.75	0.98	3.94	3.09	3.73	1.39	1.17	5.51	100
PUEBSC1 (REGION 7)	321.9	0.21	0.42	0.94	0.3	2.7	0.17	0.19	1.8	0.89	100
VERBSC1 (REGION 7)	409.4	0.42	0.42	0.82	0.29	1.16	0.13	0.97	1.8	0.33	87.5

Figura 5.46. Credibilidad del número de muestras para Puebla.

3. Se recomienda todos los días revisar la lista de alarmas que genera la BSC para detectar posibles problemas en el hardware, de esta manera se pueden evitar futuros problemas al dañarse definitivamente el equipo ocasionando, en algunos casos, que todo el sitio deje de operar.

La figura 5.47 muestra la lista de alarmas para la celda TLAX1364B durante el periodo de estudio. Las primeras nueve alarmas se refieren a una perdida momentánea de comunicación entre la BTS y la BSC, esto suele suceder en algunas BTS con baja calidad en su enlace. De las primeras alarmas que se están presentando en el sitio, ninguna de ellas tendrá un impacto negativo lo suficientemente grande como para que los radios lleguen a fallar. La última alarma de la lista muestra que uno de los radios está en modo local, lo cual quiere decir que el radio se está bloqueando y al mismo tiempo trata de reiniciarse para corregir la falla. De continuar esta falla puede presentarse servicio denegado por la indisponibilidad de los canales de tráfico.

TIME	MO	DESCRIPTION
01/12/2003 19:34:25	RXOTS-37-0-4	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 7:12:52	RXOTS-37-2-6	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 4:15:30	RXOTS-37-2-7	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 1:54:26	RXOTS-37-8-5	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 1:22:19	RXOTS-37-4-4	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 22:17:50	RXOTS-37-10-4	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 22:17:50	RXOTS-37-9-7	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 20:10:01	RXOTS-37-2-3	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 20:09:59	RXOTS-37-2-3	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 18:50:08	RXOTS-37-2-5	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)
01/12/2003 18:49:41	RXOTS-37-1-0	TRA / PCU (Remote Transcoder / PCU Communication Lost)

Figura 5.47. Alarmas del sitio TLAX1364B.

También se puede acceder al sistema en tiempo real y obtener para un sitio, el estado de cada uno de los radios instalados mediante una impresión. Por ejemplo, para la siguiente impresión los 6 renglones indican cada uno de los radios instalados, teniendo dos por sector. El segundo radio del sector B tiene un problema puesto que aparece como bloqueado. En este caso, solamente nos corresponde notificar al NOM de la falla para que ellos canalicen a la gente y reparen la falla.

```

RADIO X-CEIVER ADMINISTRATION
MANAGED OBJECT CONFIGURATION DATA

MO          RESULT  ARFCN   TXAD   BSPWR
RXOTX-1-0  CONFIG   584     2      45
RXOTX-1-1  CONFIG   HOP     5      45
RXOTX-1-2  CONFIG   588     1      45
RXOTX-1-3  BLOCKED
RXOTX-1-4  CONFIG   593     0      45
RXOTX-1-5  CONFIG   HOP     3      45

```

- Es necesario verificar que la configuración del radio de la celda TLAX1364B es la adecuada. Esta comprobación es diferente a la anterior, pues en el otro caso se revisó el estado de los radios. La configuración de la celda TLAX1364B está correcta porque en la segunda columna aparecen todos los 16 *time slots* de los dos radios como CONFIG, de acuerdo a la siguiente impresión:

```

MO          RESULT  ARFCN   CHCOMB   ICM

```

RXOTS-1-2-0	CONFIG	588	BCCH	ON
RXOTS-1-2-1	CONFIG	588	CBCH8	ON
RXOTS-1-2-2	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-2-3	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-2-4	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-2-5	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-2-6	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-2-7	CONFIG	588	TCH	ON
RXOTS-1-3-0	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-1	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-2	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-3	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-4	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-5	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-6	CONFIG	HOP	TCH	ON
RXOTS-1-3-7	CONFIG	HOP	TCH	ON

- Como no se encontró ninguna inconsistencia en la configuración de la celda, no se envía ninguna petición de cambio al COG. Puesto que la implementación de la solución no nos corresponde a nosotros y al parecer es un problema de hardware, habrá que contactar al NOM para darle seguimiento al problema junto con ellos.
- La solución a este problema fue encontrada por el personal que fue enviado a sitio para su inspección. Se encontró que el radio del sector B presentaba problemas de bloqueo por un daño en su software, por lo que fue necesario cargar nuevamente la versión del software. En la figura 5.48 podemos observar que a partir del día 4 de diciembre se reestableció la disponibilidad al 100%.

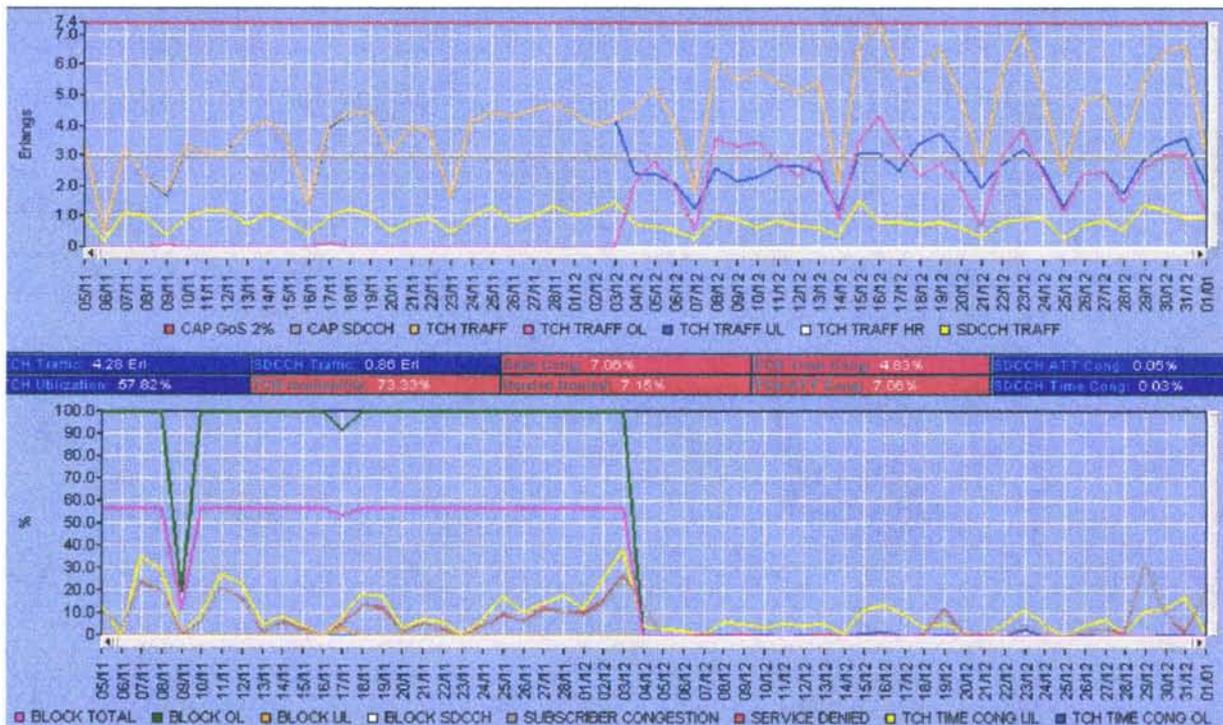


Figura 5.48. Disponibilidad de canal para TLAX1364B.

Después del cambio implementado, obtuvimos la siguiente impresión del sistema, en donde podemos ver que el segundo radio del sector B ya se encuentra operando correctamente, puesto que aparece como CONFIG. De todas maneras, habrá que seguir observando las estadísticas y la lista de alarmas para comprobar que el radio opera correctamente.

```

RADIO X-CEIVER ADMINISTRATION
MANAGED OBJECT CONFIGURATION DATA
MO          RESULT  ARFCN  TXAD  BSPWR
RXOTX-1-0  CONFIG  584    2     45
RXOTX-1-1  CONFIG  HOP    5     45
RXOTX-1-2  CONFIG  588    1     45
RXOTX-1-3  CONFIG  HOP    4     45
RXOTX-1-4  CONFIG  593    0     45
RXOTX-1-5  CONFIG  HOP    3     45
    
```

5.9.3. Procedimiento para llamadas caídas

El problema de llamadas caídas suele presentarse en el canal de señalización y en el canal de tráfico, siendo en este último en donde ocurren con más frecuencia por la duración de la conexión del enlace. Si este problema continúa sin darle una solución inmediata, el usuario tendrá una percepción muy mala de la red porque sus llamadas se perderán una y otra vez. Dentro de la ciudad de Puebla encontramos una celda con este problema, esta es la celda PUE1099B, la que analizaremos y determinaremos su solución más apropiada para mejorar su desempeño.

- **Aplicación del procedimiento en la celda PUE1099B**

La celda PUE1099B comenzó a tener llamadas caídas excesivas a partir del día 13 de agosto de manera repentina, ocasionando que las estadísticas empezaran a mostrar un muy mal desempeño de la red, por lo que fue necesario bloquear el radio de esta celda para evitar que los indicadores de desempeño de la BSC se siguieran viendo afectados, hasta encontrar la falla en el hardware. La figura 5.49 muestra una alta tasa de llamadas caídas para esta celda en línea café en la segunda gráfica. Una vez que este problema comenzó se estuvo comportando de manera muy irregular, alcanzando un valor de hasta el 18%.

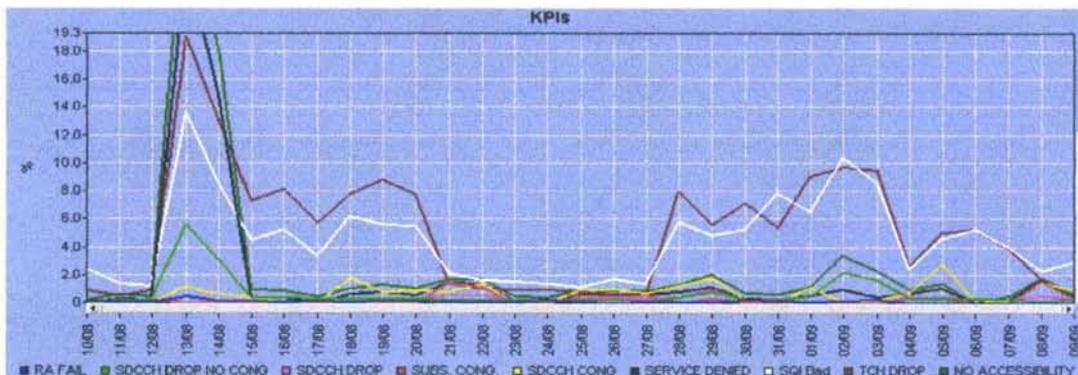


Figura 5.49. Llamadas caídas en la celda PUE1099B.

Ahora es necesario analizar este problema aplicando el procedimiento ya antes descrito, buscando obviamente la solución más adecuada, así como su aplicación. Como ya mencionamos anteriormente, existen cinco posibles razones para que una llamada se interrumpa y estas son:

1. Llamadas caídas por un alto *timing advance*

Es muy raro que una celda tenga llamadas caídas por un alto *timing advance* en cualquiera de las dos ciudades que estamos analizando, normalmente los bajos niveles en el borde de la red celular se verán afectados por el ruido de piso y provocará que la comunicación entre el móvil a la BTS se interrumpa. Podemos verificar la gráfica de TA para esta celda en la figura 5.50, pero observamos que las muestras tienen un valor de TA bajo, por lo que podemos descartar que las llamadas caídas sean debidas a un TA alto.

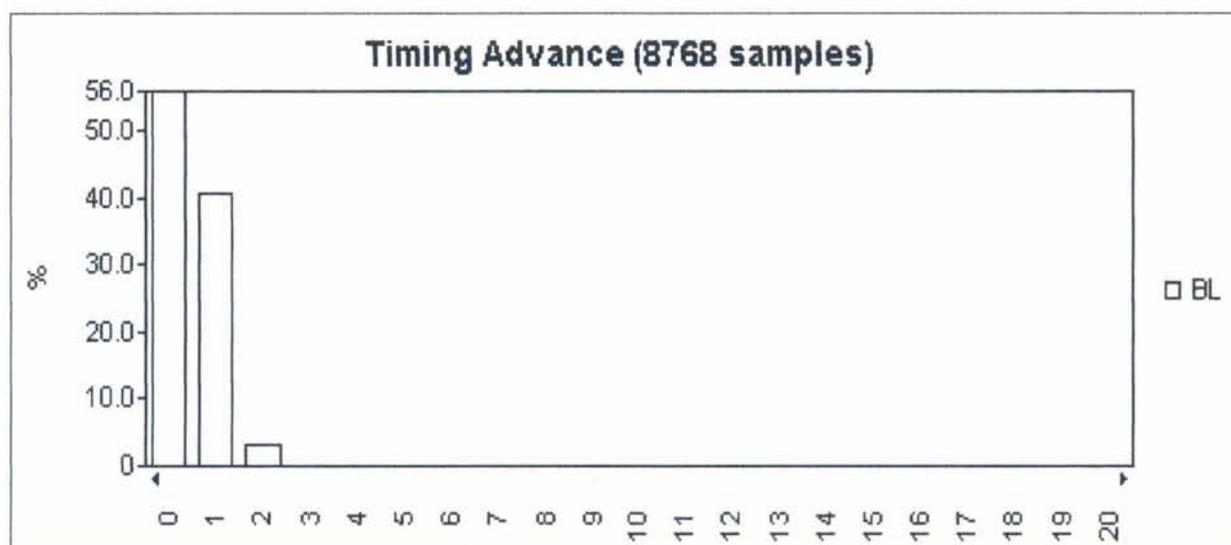


Figura 5.50. Gráfica de bajo TA para PUE1099B.

2. Llamadas caídas por bajos niveles de señal

En nuestra herramienta NPA, existe una ventana que nos muestra la distribución de las llamadas caídas en el canal de tráfico, así como la razón por la que ocurren. De la siguiente figura 5.51, en la parte inferior, observamos en la barra de color rosa el porcentaje de las llamadas caídas debido al bajo nivel de señal en el enlace de *downlink* y en color verde claro el porcentaje de llamadas caídas debido al bajo nivel de señal en el enlace de *uplink*; pero como podemos apreciar la cantidad de llamadas caídas por esta razón realmente no es tan grande, por lo que en primera instancia podemos pensar que esta no es la razón principal del problema, pero sin dejarlo totalmente descartado. Una posible causa, podría ser que esta celda estuviera cubriendo una zona con demasiados usuarios situados en interiores, pero entonces podríamos pensar que este mismo problema se debería de presentar tanto en la capa superior como inferior, pero no es el caso, por lo que se descarta esta posibilidad. De la gráfica superior se observa que la mayor parte de las llamadas caídas se están

presentando en la capa superior, o bien en el segundo radio de esta celda. Hay que recordar que en el segundo radio se encuentra activada la función de salto en frecuencia, que consiste en el cambio aleatorio de la frecuencia de transmisión, dependiendo de la secuencia elegida.

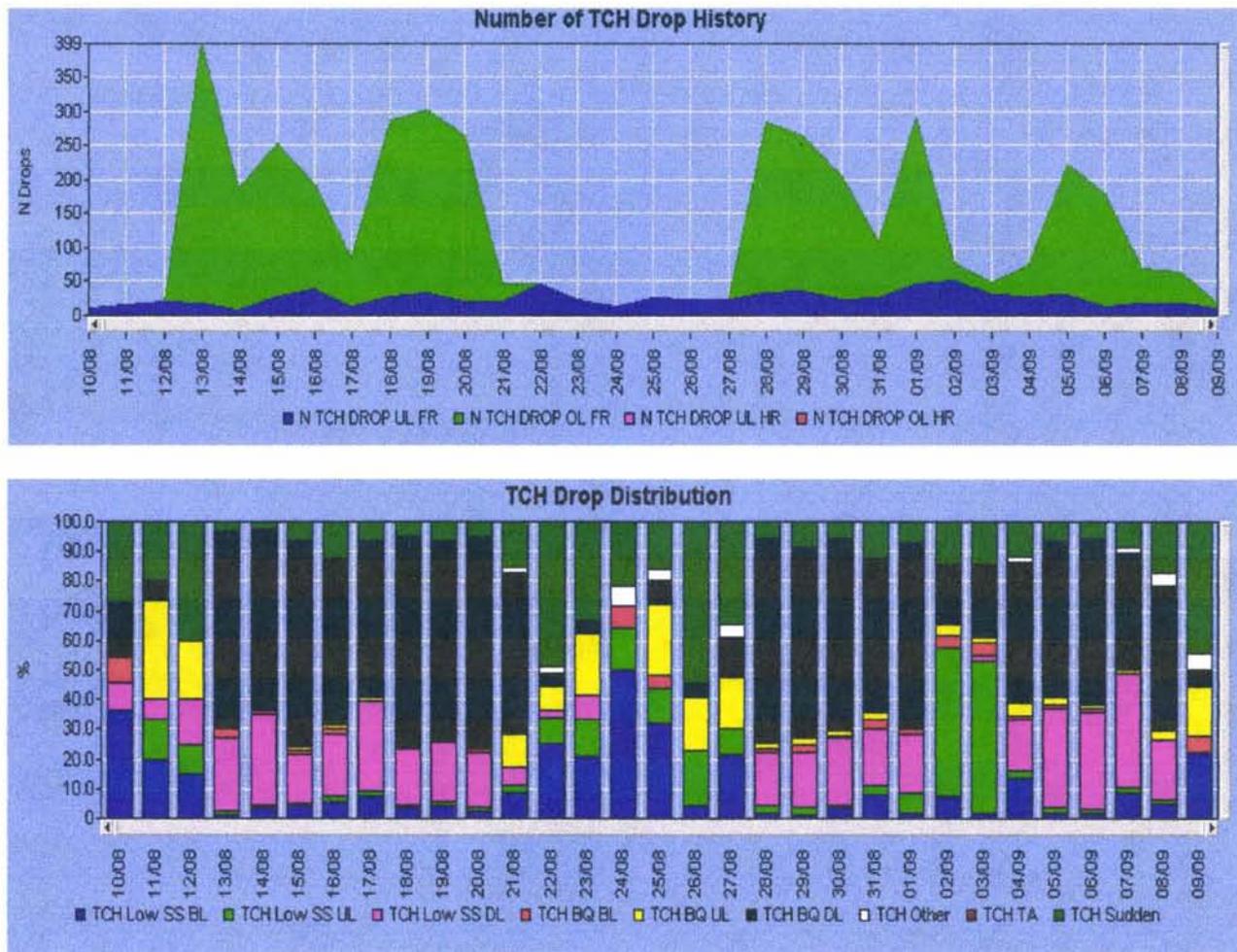


Figura 5.51. Gráfica de distribución de llamadas caídas en el canal de tráfico.

3. Llamadas caídas por mala calidad

De la misma gráfica anterior, observamos en color negro la cantidad de llamadas caídas por mala calidad, la cual es la razón principal de este problema. De inicio, podemos pensar en cambiar el grupo de frecuencias de transmisión de la capa superior, pues probablemente están interferidas. Para estar seguros de este planteamiento, fue necesario hacer un recorrido en campo y observar en tiempo real el comportamiento del enlace en esta celda. En la figura 5.52 está el recorrido de la prueba que se hizo con el equipo TEMS *Investigation*, mostrando únicamente el mapa de desempeño de calidad, pero observamos que la mayor parte de las muestras tienen un valor bueno de calidad.

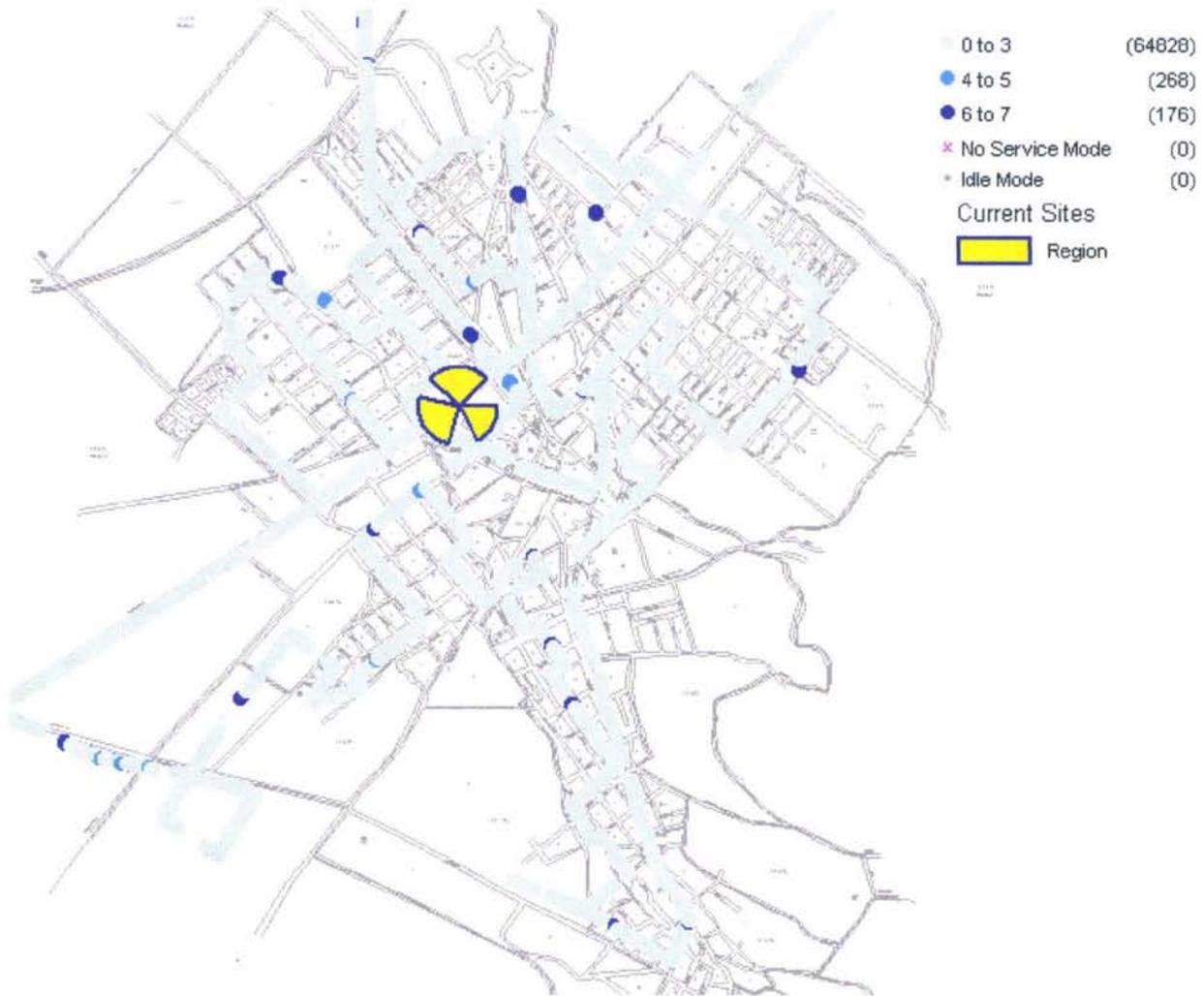


Figura 5.52. Mapa del recorrido con TEMS para PUE1099B.

4. Llamadas caídas repentinas

Durante el mismo recorrido se inspeccionó físicamente la zona para saber si existen obstáculos muy grandes que provoquen una pérdida repentina de la comunicación entre el móvil y la BTS, pero no se encontró ninguno. En algunas ocasiones, este problema se llega a presentar en la entrada de túneles o cuando se desprende instantáneamente la batería del teléfono.

5. Llamadas caídas por otras razones

De las mismas pruebas hechas en campo, durante la mayor parte del tiempo el móvil se mantuvo en la capa inferior y no se encontraron problemas con la calidad; pero en un cierto momento debido a la distribución del tráfico, el móvil pasó de la capa inferior a la capa superior dentro de la misma celda, pero con un nivel mucho menor de señal de aproximadamente -90 dB. Esto por supuesto, nos extrañó puesto que estábamos de frente viendo al sitio y esta situación persistía; como ya habíamos analizado las otras

cuatro posibles razones, lo que nos quedaba era contactar al NOM y pedirles su apoyo para hacer una auditoría muy minuciosa de la instalación completa del sitio. El NOM se encargó de revisar toda la instalación de los *feeders*, radios, combinadores, *duplexores*, etc; encontrando finalmente que el problema se encontraba en la conexión del *jumper* que va de los *combinadores* a los *duplexores*. El problema era que los *jumpers* estaban cruzados entre el sector B y C, provocando que cuando el móvil pasaba de la capa inferior a la superior, este lo hacía pero a la antena que apuntaba hacia el sector C, con lo que el nivel de señal se veía muy deteriorado, así como su calidad y finalmente las llamadas se caían. Para solucionar esto, la gente de instalaciones del NOM se encargó de corregir la falla cambiando la conexión de los *jumpers*. Una vez que se hizo el cambio, la tasa de llamadas caídas disminuyó a un valor menor del 2%, lo cual es un valor aceptable. Esto se puede apreciar en la figura 5.53, donde la distribución de las llamadas caídas se ha normalizado.

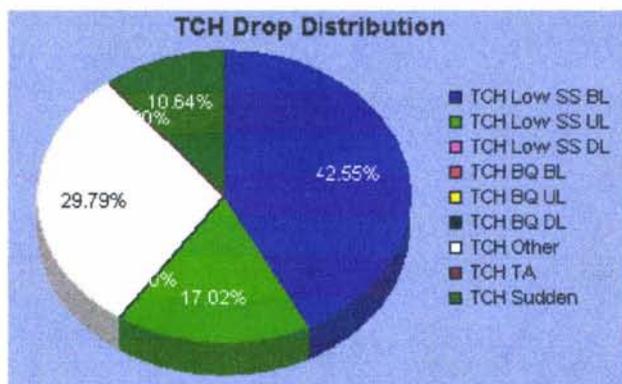


Figura 5.53. Distribución de llamadas caídas para PUE1099B.

La aplicación del procedimiento para analizar el problema de llamadas caídas en el canal de señalización es esencialmente la misma, pero no presentamos un caso ya que hasta este momento aún no se ha presentado un caso crítico como en el caso de las llamadas caídas en el canal de tráfico.

5.9.4. Procedimiento para la mala calidad de voz

Durante el curso de una llamada, en ocasiones se escucha entrecortado, esto es porque en ese momento la calidad se está viendo degradada por las malas condiciones de radio que existen. Por esto, el índice de calidad de voz es otro de los indicadores que junto con el de llamadas caídas en el canal de tráfico, es utilizado para evaluar y comparar el desempeño de una BSC con las demás. Ahora analizaremos el problema de mala calidad y sus soluciones aplicadas a un caso en particular.

- **Aplicación del procedimiento en la celda TLAX1359C**

Para analizar este problema, tomaremos un caso de la ciudad de Tlaxcala que presentó un bajo desempeño en este aspecto; la celda es TLAX1359C. La aplicación de este procedimiento la haremos de acuerdo a los siguientes puntos:

1. Se selecciona de las diez peores celdas con mayor impacto negativo sobre la red, la que se encuentre en primer lugar, es decir aquella con el mayor tráfico y peor desempeño de calidad.
2. La confiabilidad de los datos se verifica por BSC y esta debe ser mayor a un 90% para que puedan ser útiles. De la lista de la figura 5.54 se observa que el número de muestras tomadas para esta BSC a la que pertenece la celda en cuestión, corresponde a las más altas, con lo que se asegura que se han tomado las muestras necesarias para describir verazmente el comportamiento de la celda.

BSC	TCH TRAFFIC	RA FAILURE	SDCCH DROP	TCH DROP	SERVICE DENIED	SQI BAD	SUBS. CONG.	ICM Band >1	HAND. FAIL	TCH BLOCK	RELIAB.
ACABSC1 (REGION 7)	190.2	0.16	0.41	1.06	1	1.18	0.87	0.26	1.34	1.73	100
JALBSC1 (REGION 7)	273.5	0.3	0.5	1.17	4.93	4.52	4.73	0.31		0.62	100
OAXBSC1 (REGION 7)	136.7	0.19	0.56	1.03	0.65	3.04	0.5	1.34	1.15	4	100
PUEBSC1 (REGION 7)	355	0.13	0.45	0.97	0.49	2.97	0.34	0.19	1.67	1.16	100
VERBSC1 (REGION 7)	427.4	0.37	0.43	0.83	0.33	1.21	0.15	1.01	1.83	0.83	70.83

Figura 5.54. Credibilidad del número de muestras para Tlaxcala y Puebla.

3. Una relación de vecindad faltante puede ocasionar problemas de mala calidad por el arrastre de llamadas; si faltan relaciones de vecindad por definir, el móvil no es capaz de hacer el *handover* a la siguiente mejor celda servidora y finalmente la llamada se caerá por mala calidad y bajo nivel de señal. Para revisar las relaciones de vecindad que deben de estar definidas en el sistema, es necesario un mapa con la ubicación de la celda TLAX1359C, donde se observen sus celdas vecinas y además una impresión que se obtiene de la BSC con la lista de las relaciones de vecindad definidas para esta celda. La impresión de esta lista para la celda TLAX1359C es la siguiente:

NEIGHBOUR RELATION DATA

CELL

TLAX1359C

CELLR	DIR	CAND	CS
TLAX2829B	MUTUAL	BOTH	NO
TLAX2832C	MUTUAL	BOTH	NO
TLAX2829A	MUTUAL	BOTH	NO
TLAX1141C	MUTUAL	BOTH	NO
TLAX1141A	MUTUAL	BOTH	NO
TLAX1359A	MUTUAL	BOTH	YES
TLAX1359B	MUTUAL	BOTH	YES

Con el siguiente mapa de la figura 5.55 observamos que todas las celdas que son vecinas a TLAX1359C han sido definidas en el sistema, por lo que la falta de relaciones de vecindad no es la causa del problema de la mala calidad en la celda TLAX1359C.

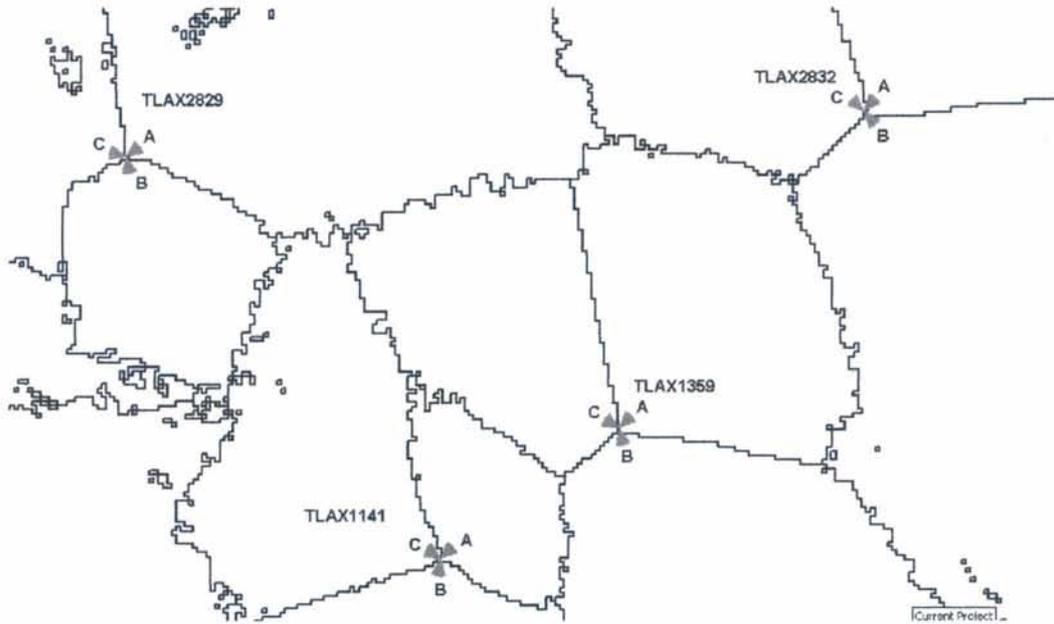


Figura 5.55. Mapa para TLAX1359C y celdas vecinas.

4. Cuando una celda tiene una cobertura excesiva, provoca que los móviles se enlacen a esta a pesar de que se encuentren a una distancia muy lejana de la BTS, es decir muy fuera del área de cobertura de la celda en cuestión; esto finalmente provocará que las llamadas se arrastren y se tome un gran número de muestras con malos niveles de calidad. Para saber esto, es necesario observar la gráfica de TA para la celda TLAX1359C, verificando el valor de las muestras tomadas. Hay que recordar que si el TA tiene un valor pequeño, quiere decir que el tráfico se concentra muy cerca de la BTS y viceversa. Si observamos la figura 5.56, podemos apreciar que las muestras tienen un valor máximo de 4, lo que significa que el tráfico se concentra dentro de un radio de 2 Km. Por lo tanto, también podemos descartar que la mala calidad que tiene la celda TLAX1359C sea causada por una cobertura excesiva. En el caso de que se hubiesen tomado muestras con un valor muy alto de TA, habría que evaluar una posible inclinación hacia abajo de las antenas y así disminuir la cobertura de la celda.

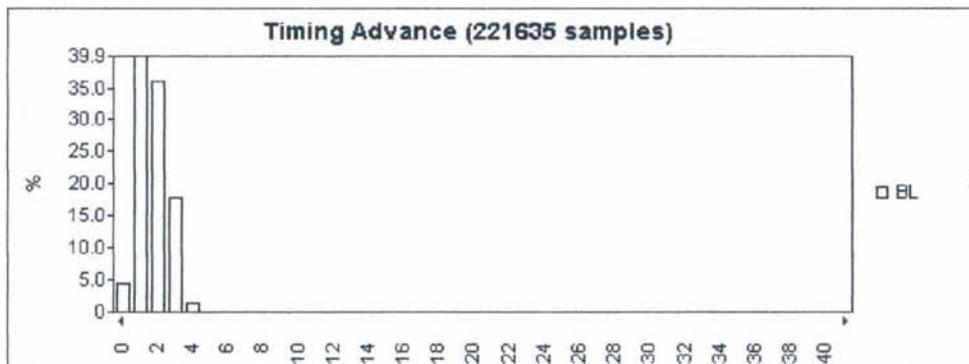


Figura 5.56. Gráfica de TA para TLAX1359C.

5. Cuando se presenta el problema de mala calidad, también se sospecha de posibles errores en la instalación del sitio. Para evitar pérdidas de tiempo, podemos revisar el expediente de auditorías de sitios, para verificar si existe una visita anterior que nos diga sobre errores en la instalación que ya hayan sido previamente encontrados. La figura 5.57 muestra el reporte de la auditoría y no observamos ninguna anomalía o alguna observación de relevancia que pueda afectar la calidad del servicio. También se pudo comprobar que la configuración de las antenas que se midió en campo, es la misma que se encuentra en la base de datos, por lo que también descartamos una mala configuración de las antenas.

FORMATO DE AUDITORIA PARA BASE DE DATOS DE GSM

Elaborado por: RF Site Survey

Ciudad Puebla Fase 1 Región 7 Fecha de visita 20/01/2004

Estado San Francisco MSC CU BSC NX Declinación Magnética 7°

GSM ID: TLAX1359C Nombre Sitio: San Bartolo

Localización del Sitio

Coordenadas Medidas WGS 84 Latitud: 19°28'49.2" Calle, Número, Colonia y Delegación ó Municipio

Longitud: 099°13'13.2" Calle Nueva esq. Negra Modelo

Entre que calles Central TELMEX Col. Industrial

Datos de BTS

Gabinete 1				Gabinete 2			
Tipo de BTS: 2206	Sec A	Sec B	Sec C	Tipo de BTS:	Sec A	Sec B	Sec C
Número de TRU o DTRU	2	2	2	Número de TRU o DTRU			
Tipo de Cableado	C	C	C	Tipo de Cableado			
Estatus del TRU o DTRU	O/A	O/A	O/A	Estatus del TRU o DTRU			

	# Ant.	Altura	Tilt Mec	Tilt Mástil	Azimuth Magnético	Tilt Elect	Tipo de Antena
Sector A	1	23.6 m	1	1	35	4	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M
Sector B	1	23.6 m	0	0	158	4	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M
Sector C	1	23.6 m	3	0	277	4	65_4X_18P_DB_932DD65T4-M

Tipo de torre Arriestrada

Tipo de plataforma Triangular

Calibre del Feeder 7/8"

Longitud de Feeder 28.7 m (En sitios factibles)

Comentarios:

Figura 5.57. Formato de auditoría para el sitio TLAX1359.

6. En caso de que fuera necesario hacer la inclinación de la antena de esta celda, no sería posible reducirla por estar localizada en el centro de Tlaxcala, ya que de ser así se perdería la cobertura en los interiores de esta área, que tiene construcciones con muros muy gruesos.
7. En la herramienta NPA podemos encontrar la distribución de calidad para cada celda, clasificándola como buena, aceptable y mala. De la figura 5.58 observamos que en la capa superior existe el 19.8% de calidad aceptable, lo que significa un mal desempeño en este aspecto. Para solucionar este problema, también hay que verificar si el área en la que está dando servicio la capa superior está bien delimitada o no y en su caso optimizar el valor de los parámetros que lo hacen. Los parámetros que controlan el límite del área son el TAOL (Timing Advance for OverLaid, Desplazamiento en el tiempo para la capa superior) y el LOL (Low Signal Strength for OverLaid, Bajo nivel de señal para la capa superior). El TAOL limita la distancia máxima a la que un móvil puede estar conectado en la capa superior, una vez rebasada esta distancia el móvil tendrá que hacer el *handover* a la capa inferior. El LOL es el valor de intensidad de señal mínimo con el que el móvil puede estar conectado a la capa superior, si el nivel cae por debajo de este umbral entonces tendrá que hacer el *handover* a la capa inferior. Por ejemplo, si un móvil inicia una llamada a pie de la BTS y se va alejando, el proceso normal de la llamada es que el móvil pase de la capa superior a la capa inferior dentro de la misma celda y después haga el *handover* hacia otra celda; en el caso de que los parámetros no estén bien configurados, la llamada puede permanecer en la capa inferior o superior indistintamente. Para estar seguros de la configuración que tienen estos parámetros, es necesario obtener una impresión del sistema que nos muestre sus valores. La impresión es la siguiente:

CELL LOCATING OVERLAID SUBCELL DATA

```
CELL      LOL  LOLHYST  TAOL  TAOLHYST
VE1359C  15    2         1     0
END
```

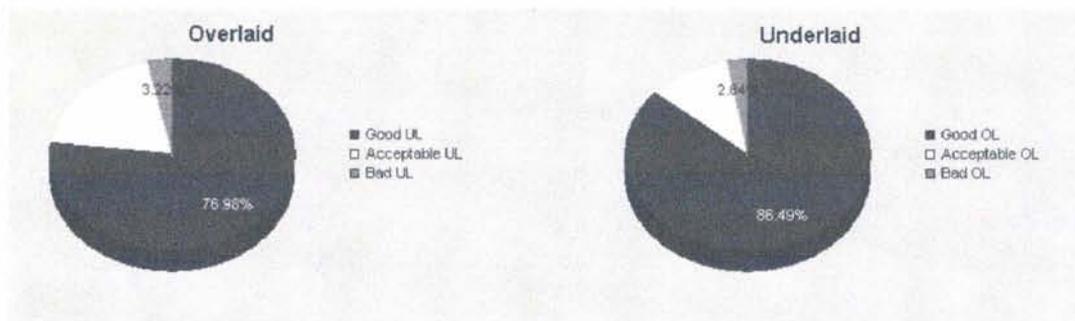


Figura 5.58. Gráfica de distribución de SQI para TLAX1359C.

8. Los parámetros de TAOL y LOL estaban incorrectamente configurados en la celda TLAX1359C, por lo que fue necesario solicitar el cambio correspondiente. La siguiente impresión muestra la configuración correcta para estos parámetros.

Al corregir estos valores, se optimizó la distribución de carga entre subceldas y el tráfico se distribuyó de mejor manera en las dos capas. En la figura 5.59 se observa que al activar esta distribución de carga, los indicadores de calidad mejoraron substancialmente respecto a las estadísticas hasta antes de que se aplicara el cambio el 9 de octubre.

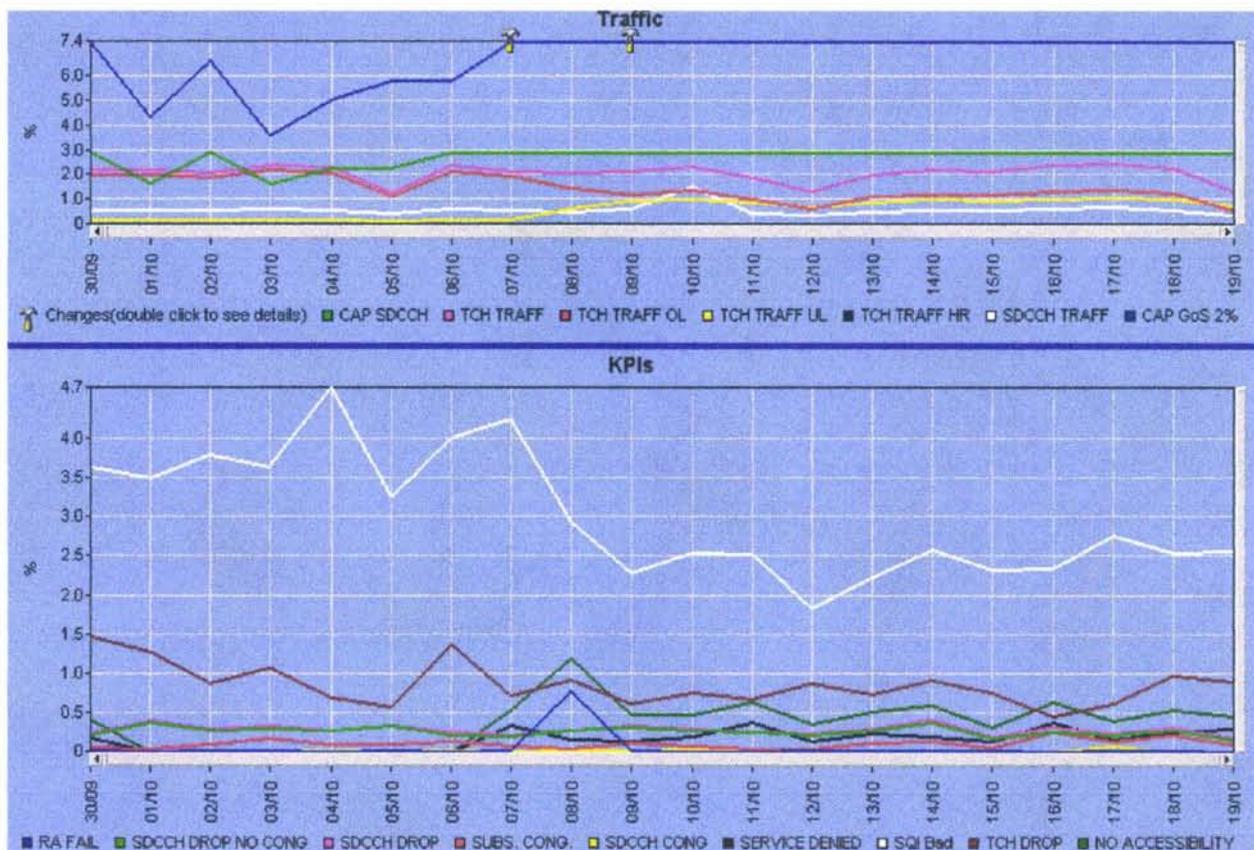


Figura 5.59. Gráfica de comportamiento de KPIs y tráfico.

CELL LOCATING OVERLAID SUBCELL DATA

```

CELL          LOL  LOLHYST  TAOL  TAOLHYST
VE1359C      150    2        61    0
END
  
```

- Puesto que los índices de mala calidad en la capa superior disminuyeron una vez que se aplicó el cambio, el problema está resuelto y habrá que seguir dándole seguimiento con las estadísticas varios días después.

5.9.5. Procedimiento para congestión

El problema de congestión en una red celular afecta directamente la calidad del servicio que el usuario percibe, es por esto, que la adecuada planeación para aumentar la capacidad de los sitios instalando segundos radios es necesaria en el momento adecuado. En algunas ocasiones, cuando se llega a hacer la expansión en una celda,

resulta que esta se vuelve innecesaria, pero no debido a una mala planeación sino que muchas de estas veces ocurre que el tráfico se mueve a otras zonas aparentemente sin alguna explicación. De la misma forma, habrá que monitorear las zonas en las que se realicen eventos temporales y que lleguen a concentrar un gran número de usuarios, en donde será necesario hacer al menos una expansión temporal de las celdas que cubran esa zona. La figura 5.60 muestra que la BSC de Puebla presentó problemas de congestión en el canal de tráfico durante un par de horas el día 5 de diciembre del 2003; ahora habrá que investigar que celda dentro de esta BSC es la que tiene este problema para atacarlo y encontrar la mejor solución.

- **Aplicación del procedimiento en la celda PUE1316A**

Cuando un usuario intenta acceder al sistema y recibe el tono de ocupado, es debido a que no existen canales de tráfico disponibles para asignárselo para que el usuario pueda establecer su llamada. Para la BSC de Puebla, tenemos que analizar cual es la celda que está ocasionando problemas para resolverlo y evitar tanto malas estadísticas como la mala impresión al usuario del servicio. Analicemos el problema considerando los siguientes aspectos:

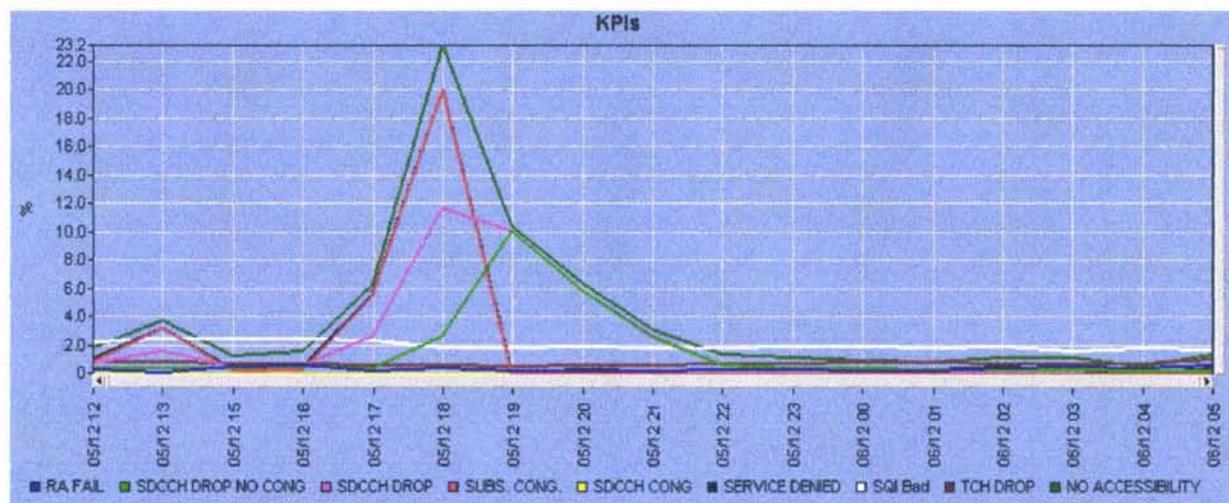


Figura 5.60. Gráfica de KPIs de la BSC de Puebla y Tlaxcala.

1. Para cada BSC hay que filtrar las diez primeras celdas que estén más próximas a congestionarse y analizar la tendencia del crecimiento de tráfico con ayuda de la herramienta NPA. La aproximación que hace la herramienta NPA es a una recta cuya pendiente está dada por los incrementos que se van presentando día tras día. En la figura 5.61, se observa la tendencia de tráfico para la celda PUE1316A, representada por la recta naranja, los valores de tráfico medio por día en color rosa y la capacidad de la BTS en color rojo. Según la tendencia de crecimiento de tráfico, el día 8 de octubre la celda en cuestión estaría al máximo de su capacidad, por lo que es necesario anticiparse a este evento solicitando la expansión de la celda.

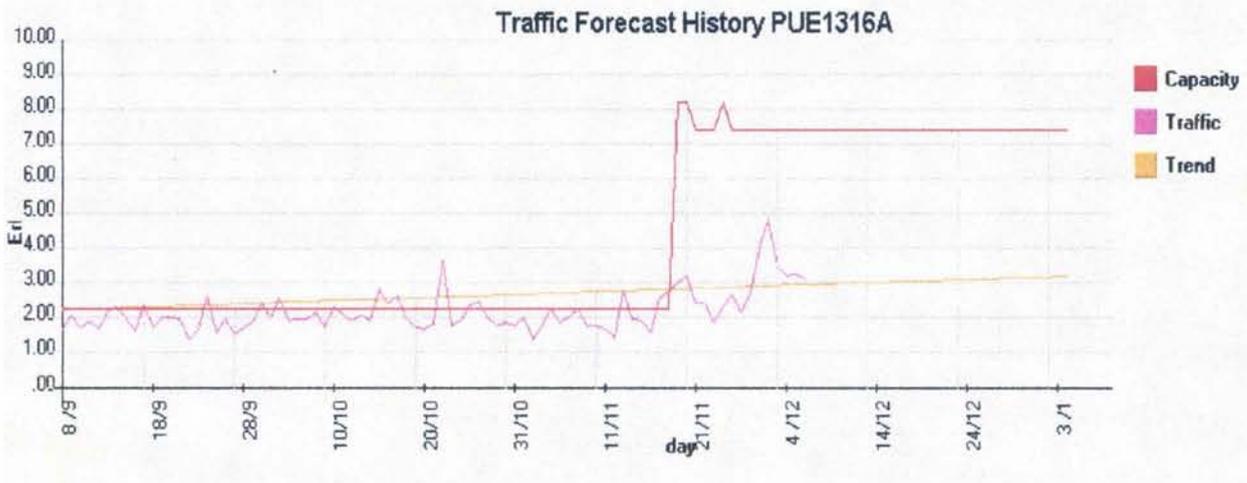


Figura 5.61. Tendencia de crecimiento de tráfico para la celda PUE1316A.

- Se verifica como en todos los procedimientos anteriores, que la confiabilidad de los datos sea alta y que los datos de tráfico estén completos para el periodo de medición. Hay que verificar la disponibilidad del canal de tráfico para saber si el problema es causado por fallas en el hardware. En la figura 5.62 se muestra para la celda que estamos analizando, congestión porque el radio de la capa superior se bloqueó; en este caso, el segundo radio presenta una falla ocasionando que todo el tráfico se concentre en la capa inferior y que se congestione, presentando así servicio denegado al usuario.

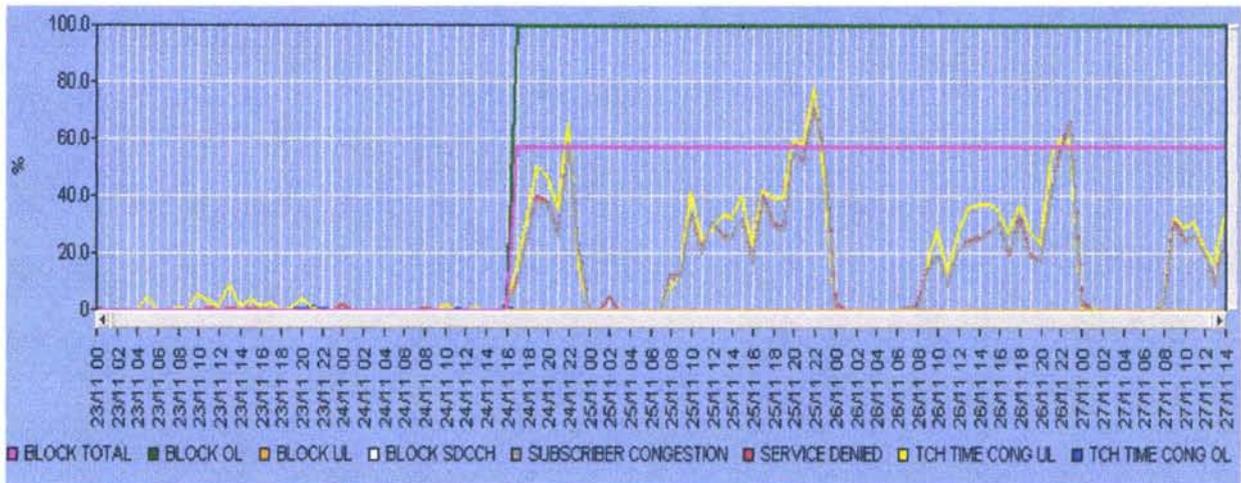


Figura 5.62. Gráfica de tráfico para celda PUE1316A.

- Este problema lo podemos confirmar en tiempo real, obteniendo directamente del sistema una impresión del estado de los dispositivos para esta celda. La siguiente impresión muestra los recursos de la celda PUE1316A. La columna CHGR hace referencia al grupo de frecuencias utilizado en la celda y los dispositivos asociados a los mismos; después se encuentra el tipo de canal definido que puede ser de tráfico (TCH), de señalización (SDCCH) o de control

(BCCH). El estado del canal (STATE) puede estar libre (IDLE) u ocupado (BUSY), la forma en la que se transmite la voz FR (Full rate, tasa completa), HR (half rate, media tasa) oEFR (enhanced full rate, tasa completa mejorada). Cuando existe algún problema en cualquiera de los recursos el sistema, este puede estar indicar que están bloqueados (BLOCKED), indefinido (UNDEFINED) o que ha sido manualmente bloqueado (MNLBLKD). Como se observa, todos los recursos asociados al segundo radio (CHGR 1) se encuentran bloqueados, con lo que confirmamos que este radio está dañado.

CELL RESOURCES

CELL	BCCH	CBCH	SDCCH	NOOFTCH
VE1316A	1	1	7	14

CHGR	CHANNEL	SPV	STATE
0	CH-3630	FR	BUSY
	TCH-3631	FR	BUSY
	TCH-3632	FR	BUSY
	TCH-3633	FR	IDLE
	TCH-3634	FR	BUSY
	TCH-3635	FR	IDLE
	SDCCH-32463		BUSY
	SDCCH-32462		IDLE
	CBCH-34532		BUSY
	SDCCH-32461		IDLE
	SDCCH-32460		IDLE
	SDCCH-32459		IDLE
	SDCCH-32458		IDLE
	SDCCH-32457		IDLE
	BCCH-34712		BUSY

CHGR	CHANNEL	SPV	STATE
1	TCH-3617	FR	BLOCKED
	TCH-3623	FR	BLOCKED
	TCH-3624	FR	BLOCKED
	TCH-3625	FR	BLOCKED
	TCH-3626	FR	BLOCKED
	TCH-3627	FR	BLOCKED
	TCH-3628	FR	BLOCKED
	TCH-3629	FR	BLOCKED

- Los problemas de hardware que el sitio presenta hay que reportarlos al NOM para que se coordinen las tareas y pruebas a realizar. El NOM se encargó de investigar cuáles fueron las causas del problema y encontraron que el radio se reinició sin alguna explicación, por lo que únicamente fue necesario hacer la carga del software nuevamente.

La siguiente figura 5.63 muestra que después de haber instalado nuevamente el segundo radio, se incremento la capacidad de la celda, eliminando completamente los problemas de congestión y servicio denegado.

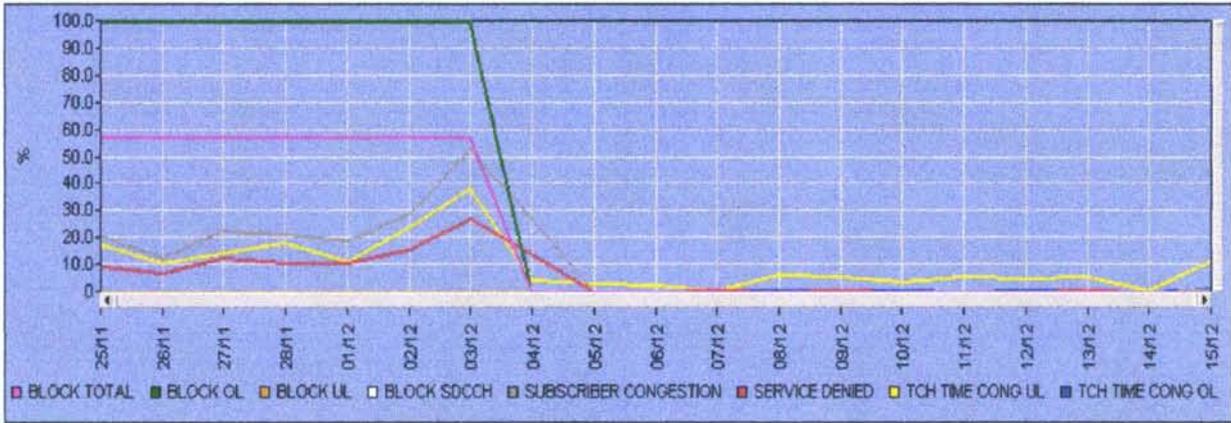


Figura 5.63. Gráfica de la celda PUE1316A sin congestión.

- **Aplicación del procedimiento para congestión en el canal de señalización**

El problema de congestión en el canal de señalización es menos común que la congestión en el canal de tráfico, ya que en el primer caso solamente se usa una fracción de segundos, mientras que en el segundo caso puede extenderse hasta varios minutos. Hasta este momento, en ninguna ciudad del país se ha presentado ningún problema serio sobre congestión en el canal de señalización, por lo que no se presentará ningún caso. Si se llegara a presentar un problema de este tipo, se puede aplicar la misma metodología, pues hay que recordar que están relacionados los mismos aspectos de capacidad, tráfico y hardware, como en el caso de los canales de tráfico.

5.9.6. Procedimiento para *handover*

En la práctica el indicador de desempeño de *handover* no es tomado como uno de los principales elementos a evaluar dentro de una red celular; esto es, porque los problemas de HO se resuelven automáticamente como una consecuencia de la optimización de los demás indicadores. Sin embargo, puede llegar a presentarse un problema de *handover* que esté aislado de los demás, en cuyo caso habrá que ponerle mucha atención.

- **Aplicación del procedimiento en la celda PUE1099C**

El desempeño de *handover* puede influir o verse influido fuertemente por el desempeño de otros indicadores, lo que impactará en la red ocasionando llamadas caídas o problemas de calidad. Este indicador normalmente se utiliza como apoyo para el diagnóstico de otros. Veamos un caso en particular y la metodología aplicada a una celda de Puebla con este problema.

1. Hay que seleccionar la celda con mayor impacto negativo sobre la BSC de Puebla en este aspecto; aunque las celdas con problemas de *handover* seguramente también presentarán problemas de calidad de voz, llamadas caídas, servicio denegado y acceso aleatorio fallido. En la celda PUE1099C

tenemos un mal desempeño de *handover* ocasionado por problemas en el enlace de *uplink*, donde al parecer existen problemas de calidad, tal como se muestra en la figura 5.64.

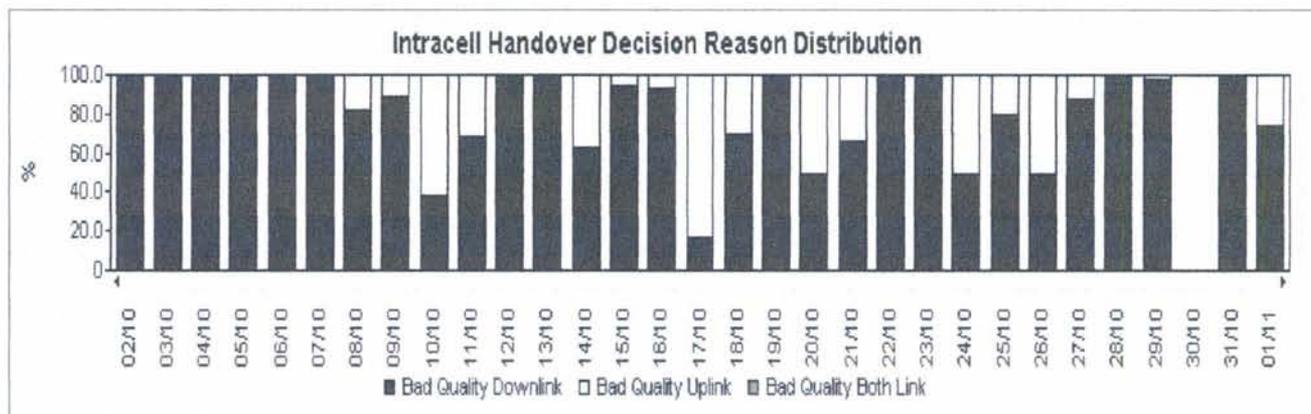


Figura 5.64. Desempeño de *handover* para PUE1099C.

- Si la celda también presenta problemas de congestión, habrá que analizarlo aplicando la metodología para ese problema en específico. Por ejemplo, la celda PUE1099C tiene un problema con el desempeño de *handover* pero no presenta congestión como se aprecia en la figura 5.65. La línea roja muestra que la capacidad de la celda está muy por encima del tráfico que está cursando por esta.

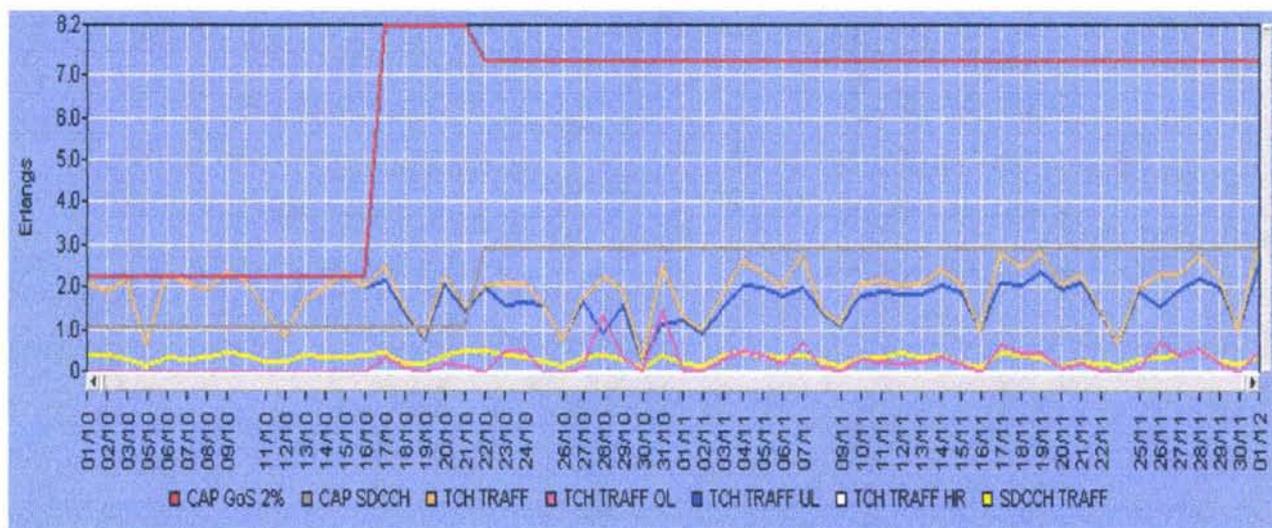


Figura 5.65. Comportamiento de tráfico para la celda PUE1099C.

- También podemos revisar el desempeño de *handover* dentro de la celda y descubrir si existe alguna irregularidad. Observando la figura 5.66, nos damos cuenta que se están realizando de manera adecuada los *handover* entre la capa superior e inferior (línea roja y amarilla), por lo que en este aspecto no encontramos ningún problema.

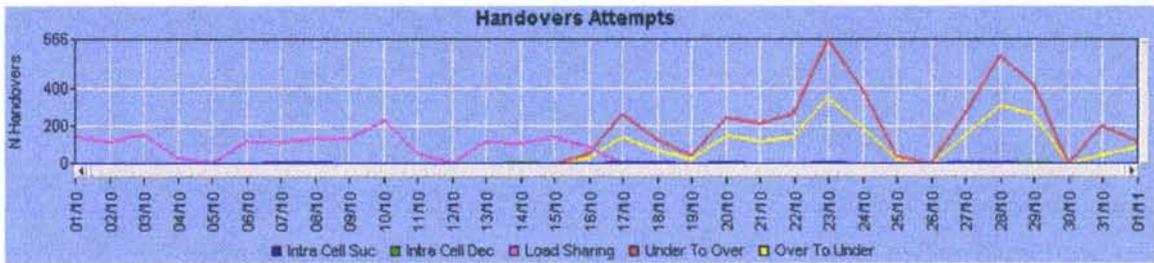


Figura 5.66. Comportamiento de HO interno para la celda PUE1099C.

4. También hay que revisar que el valor de la histéresis para el *handover* en esta celda sea el correcto (el procedimiento para hacer esto ya se ejemplifico).
5. En caso de que existan relaciones de vecindad faltantes, habrá que analizar cuáles son y agregarlas (el procedimiento para hacer esto ya se ejemplifico).
6. Hay que comprobar que la potencia de salida de los radios sea la adecuada. (el procedimiento para hacer esto ya se ejemplifico).
7. En la figura 5.67 observamos que los niveles de interferencia están altos en esta celda, por que el problema de bajo desempeño de *handover* está siendo provocado por la interferencia. En este caso, habrá que solucionar el problema de mala calidad aplicando el procedimiento para este problema tal y como ya fue descrito.

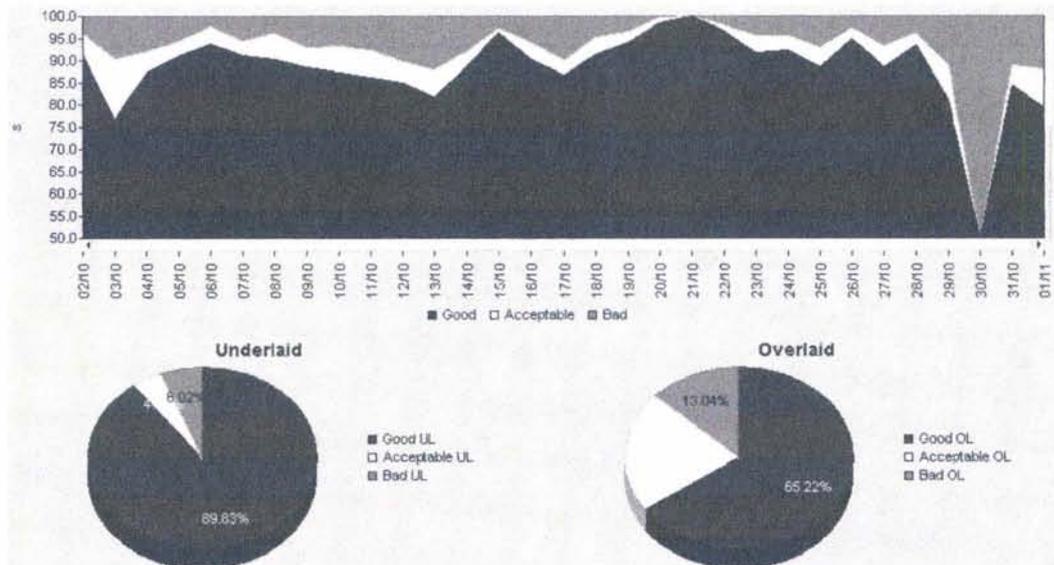


Figura 5.67. Calidad de voz para PUE1099C.

Como podemos apreciar, el problema de *handover* normalmente siempre estará ligado a otro problema, por lo que el problema de *handover* se verá solucionado automáticamente después de que le demos una solución a los problemas de llamadas caídas, mala calidad, etc.

5.10. RESULTADOS DEL DISEÑO DE RF

El diseño de una red celular tiene como parámetros de entrada el área en la que se quiere dar cobertura y la cantidad de usuarios a la cual se les pretende dar el servicio. Inicialmente Eritel propuso un vector de cobertura en el cual se debía de garantizar el servicio en interiores al menos en un 80% del área, esto resultó en la necesidad de dar servicio aproximadamente a 180,000 usuarios para finales del primer año, requiriéndose un total de 137 sitios equipados con un TRU por sector. Para el plan nominal se eliminaron seis sitios mediante un acuerdo entre el proveedor del diseño y el personal de RF del operador, por lo que quedaron solamente 131 sitios.

Debido a los cambios en el presupuesto para el año en el que se tenía contemplado poner en funcionamiento la red celular de esta ciudad y a los retrasos por parte del área de implantación, el lanzamiento comercial de las ciudades de Puebla y Tlaxcala se hizo únicamente con 92 sitios al aire, donde solamente dos de ellos estaban equipados con dos radios por sector. Los 39 sitios faltantes se instalarían antes del final del primer año y por etapas, de acuerdo a la prioridad que se les había asignado. Además el operador consideró la posibilidad de agregar hasta 20 sitios extra por cuestiones de optimización, en zonas donde existiesen problemas con la cobertura y demanda de capacidad. Además, se abrió la posibilidad de aumentar la capacidad de algunas celdas instalando segundos radios en éstas, si es que se llegaran a presentar problemas de congestión por una demanda excesiva de tráfico.

Algunos retrasos en la implantación de los sitios se debieron a problemas encontrados por el proveedor cuando hizo la búsqueda de los sitios nominales. Buscatell fue la empresa encargada de este proceso y solamente pudo localizar 104 de los 131 sitios planeados, lo cual representa un 79% del total. El proceso de búsqueda de los sitios finales y despliegue inicial de la red se realizó en 18 meses, lo cual resultó ser un tiempo demasiado grande, puesto que este tiempo había sido contemplado pero para el 100% sitios. En la figura 5.68 se presenta la simulación de cobertura del diseño de las ciudades de Puebla y Tlaxcala, los niveles marcados con rojo, azul marino y verde bandera representan en conjunto una cobertura mínima del 90% para interiores, con un nivel de diseño de al menos -73 dBm. Las zonas con deficiencias para el lanzamiento comercial de la ciudad fueron seis, las cuales se aceptaron puesto que los problemas correspondían a retrasos de implantación y no a errores en el diseño. En la figura 5.68 se señalan estas seis zonas en orden de relevancia y la razón por la que se registraron bajos niveles de cobertura:

- Zona 1. Centro de la Ciudad de Puebla. Existen cinco sitios faltantes en esta zona por no tener los permisos adecuados por parte del INAH para la instalación de antenas en esta área, por lo que no se garantiza cobertura en interiores para esta zona.
- Zona 2. Vía rápida a Tlaxcala. Faltan tres sitios para dar continuidad a esta carretera, los sitios se retrasaron porque se decidió darle prioridad a otras zonas. La falta de estos sitios provocaría problemas de acceso aleatorio debido al alto flujo de usuarios que usan esta carretera, pero a pesar de que este problema se le planteó al operador, este decidió seguir adelante aún con esta carencia.

- Zona 3. Periférico de la Ciudad de Puebla. Hay dos sitios faltantes en esta zona para poder garantizar la continuidad y los niveles de diseño que cubrirán los interiores de los conjuntos habitacionales circundantes.
- Zona 4. Autopista México-Puebla. Existe un sitio faltante dentro del vector de cobertura que daría servicio a esta parte de la autopista. Sin duda, el operador estaba convencido de que esto le acarrearía muchos problemas, pues la gente viaja constantemente entre estas ciudades, pero ya que el retraso de la construcción era inminente, se decidió lanzar el servicio sin este sitio.
- Zona 5. Poblados de Chipilo y Tonanzintla. Estas poblaciones fueron consideradas dentro del vector de cobertura propuesto por el operador, pero eran necesarios cuatro sitios más para garantizar la continuidad del servicio entre estos poblados y la Ciudad de Puebla, así como para el rumbo de Atlixco.
- Zona 6. Corresponde a la parte oeste de la ciudad. Aquí hay desarrollos habitacionales en construcción y dos sitios futuros por ser instalados, además de dos sitios cancelados por ser considerados menos importantes. Sería conveniente evaluar la reactivación de estos sitios, puesto que no se había contemplado tal crecimiento de la mancha urbana hacia esta zona.

Actualmente cada una de estas zonas ha tenido diferentes avances o retrasos que han ayudado o afectado al proyecto, de acuerdo al siguiente estado de la red:

La zona 1 que comprende el centro de la ciudad era prioritaria para la aceptación y lanzamiento de la ciudad; sin embargo, la integración de los sitios localizados en esta zona ha sido hecha paulatinamente y a dos años del lanzamiento comercial aún está pendiente la instalación de dos de ellos, así como la reubicación de otros más para mejorar de la red. Los niveles de cobertura medidos en el centro de la ciudad no corresponden exactamente a los del diseño, ya que la herramienta de predicción es un poco imprecisa cuando hace simulaciones para sitios con una altura menor a los 20 metros. Hay que recordar que en el centro de esta ciudad no es posible levantar torres muy altas y por lo tanto la mayor parte de los sitios tienen una altura aproximada de 10 a 15 metros.

La zona 2 corresponde a la vía corta Puebla –Tlaxcala en la que aún no han sido instalados los sitios después de dos años de iniciado el proyecto, estos darían continuidad a esta ruta evitando la mala cobertura prevista y por supuesto el impacto negativo que causa en las estadísticas de la red celular.

En la zona 3 aún no se han instalados los sitios planeados en esta zona y solo hay un sitio futuro que se reactivo como un sitio de optimización para dar cobertura a la Ciudad Judicial del Estado de Puebla y a la mancha urbana que ha crecido hacia esta zona.

En las zonas 4 y 5 que corresponden a la autopista México-Puebla y a los poblados de Tonanzintla y Chipilo, se retraso la instalación de los sitios planeados para fase II y su

instalación fue reasignada en las fases III y IV debido a razones de presupuesto. Estos sitios se instalaron con un retraso de 9 meses después de lo planeado. La zona 6 fue cubierta seis meses después del lanzamiento comercial con dos sitios, mejorando la cobertura y servicio en esta zona importante de la ciudad.

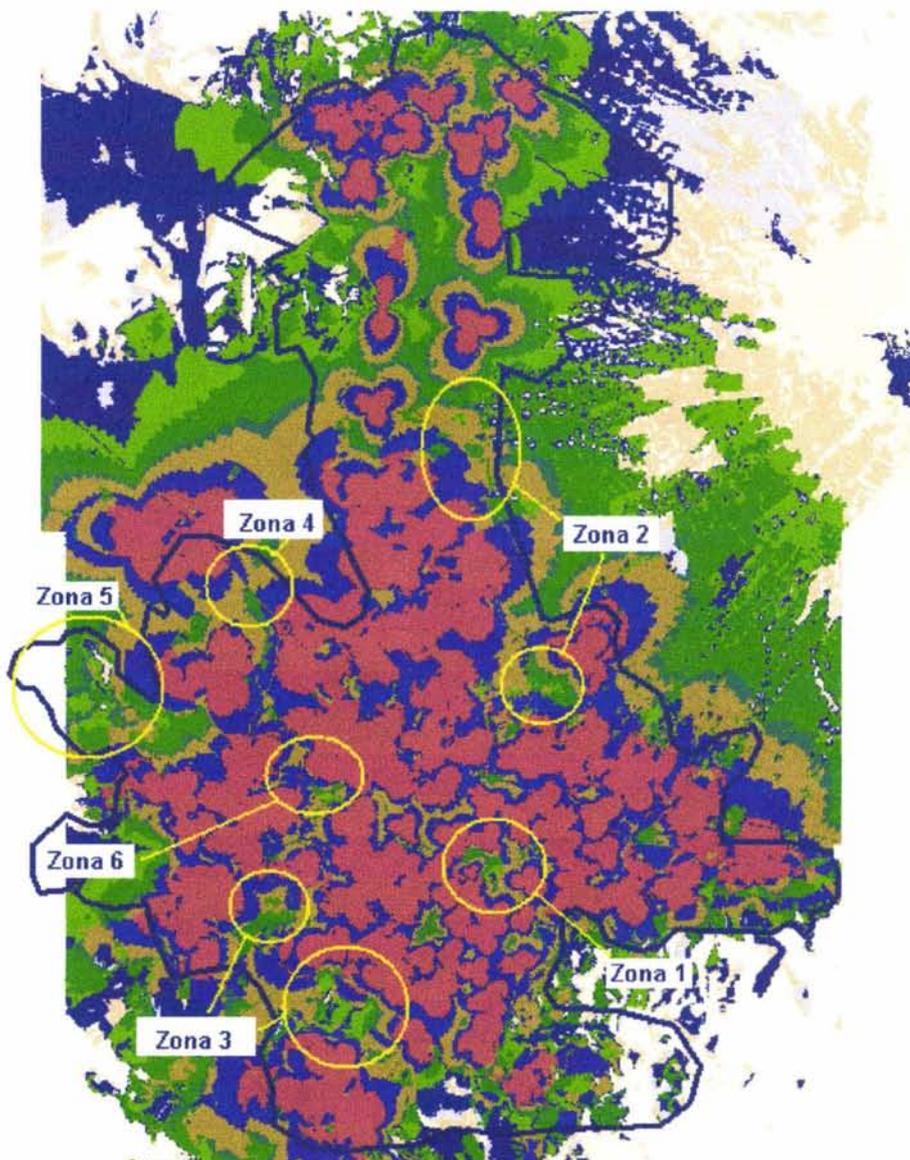


Figura 5.68. Resultados de la etapa de Planeación en Puebla y Tlaxcala.

5.11. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN INICIAL

Una vez que el diseño final fue aceptado por el cliente, remarcando las deficiencias en los niveles de cobertura debido a los sitios faltantes o cancelados, se acordó con las debidas reservas, iniciar los trabajos para los recorridos de prueba en las ciudades de Puebla y Tlaxcala. Para este recorrido se dividió el vector de cobertura en ocho grupos de celdas o *clusters*, los recorridos y la optimización en estos *clusters* se hicieron en tres semanas, dejando una semana más para el recorrido general de la ciudad. El

análisis de los resultados para su presentación al operador fue hecho a finales de Junio del 2001 y el lanzamiento comercial fue aprobado para realizarse a principios de Julio, dando paso así a la etapa de optimización permanente.

Los mapas con los recorridos finales para la ciudad de Puebla aparecen en la figura 5.69. En la parte superior se muestran los niveles de RxLev (nivel de señal) y se señalan las siete zonas en donde se encontraron deficiencias. En la figura 5.70 se muestran los niveles de RxQual (niveles de calidad), que indican la calidad del enlace en relación a la cantidad de bits erróneos. En las zonas marcadas con azul marino, el RxQual el alto, es decir, la cantidad de bits erróneos es alta.

En la presentación de resultados de esta ciudad se crearon polémicas respecto a los niveles de señal encontrados en la ciudad, debido a que el recorrido se hizo a la par con un equipo de Ingenieros del operador, quienes usaron un equipo de medición diferente llamado Comarco. A pesar de que ambos equipos habían arrojado las mismas mediciones durante unas pruebas hechas en laboratorio, las mediciones hechas en campo resultaron diferentes. El equipo utilizado por el operador leía niveles inferiores a los obtenidos con el equipo TEMS *Investigation*, obligando a revisar la metodología de las pruebas de campo. Inmediatamente después, se concluyó que la diferencia encontrada era provocada por la inadecuada conexión en el cableado de los equipos y la posición de los móviles dentro del auto. Por ejemplo, si el teléfono móvil se encuentra sobre el asiento o en la parte trasera, la atenuación por penetración en el automóvil es diferente para cada uno de los casos. Para eliminar al menos esta diferencia, se colocaron los teléfonos en la parte delantera del automóvil y se cambio el cableado del equipo Comarco, además de que se pidió un equipo nuevo de TEMS *Investigation*. Con esta corrección de la conexión del equipo, las mediciones de ambos equipos resultaron muy parecidas, y a partir de este momento, se acordó comparar la medición de ambos equipos antes de cada prueba.

Los resultados de los recorridos para la Ciudad de Puebla no fueron aceptados inicialmente por el operador, puesto que se observaban varios huecos de cobertura, solo que estos fueron provocados por los sitios faltantes y la solución más apropiada era apresurar la construcción de estos. Este problema no se presentó para la Ciudad de Tlaxcala porque en el momento de su lanzamiento no había sitios cancelados o pendientes en la zona. Las zonas

Se localizaron 6 zonas con deficiencias que resultaron de los recorridos generales de la ciudad de Puebla:

- Zona 1. Corresponde al Centro de la Ciudad. En esta zona se hizo una prueba de llamada, que consiste en hacer un elevado número de llamadas alrededor de esta zona, verificando tanto el acceso como la calidad de voz. Cuando se hizo esta prueba en interiores, se encontraron algunos puntos sin servicio; sin embargo, para los exteriores en todo momento fue posible hacer las llamadas y con una buena calidad.
- Zona 2. Está localizada en la vía corta Puebla-Tlaxcala. Se esperaban deficiencias en la cobertura, ya que la ciudad fue lanzada sin los sitios planeados para esta área. Se le hizo ver al operador que era necesario instalar el sitio

pendiente para mejorar los niveles de la zona, ya que los sitios que se encontraban alrededor no eran suficientes para cubrir esta área.

- Zona 3. En esta zona se cancelaron un par de sitios y aún no se habían instalado los dos sitios futuros, por lo que se intentó mejorar la cobertura en el área con los sitios circundantes logrando que el operador calificara esta zona como aceptable.
- Zona 4. Los niveles de señal en la autopista México–Puebla presentaban niveles bajos de cobertura, por lo que se reorientaron las antenas de las celdas más próximas a la carretera para intentar mejorar la cobertura en esta zona. En este caso, la mejora fue substancial porque en zonas abiertas como una carretera, la señal se propaga más fácil por la ausencia de obstáculos.
- Zona 5. Esta zona también presentó niveles bajos de cobertura por la falta de sitios y también mejoró al hacer los cambios para cubrir la zona 3.
- Zona 6. Hacia el oeste de la ciudad se localizaron muestras con bajo nivel de señal por los sitios faltantes, pero el operador aceptó la zona porque la implantación de los mismos estaba a punto de terminarse.

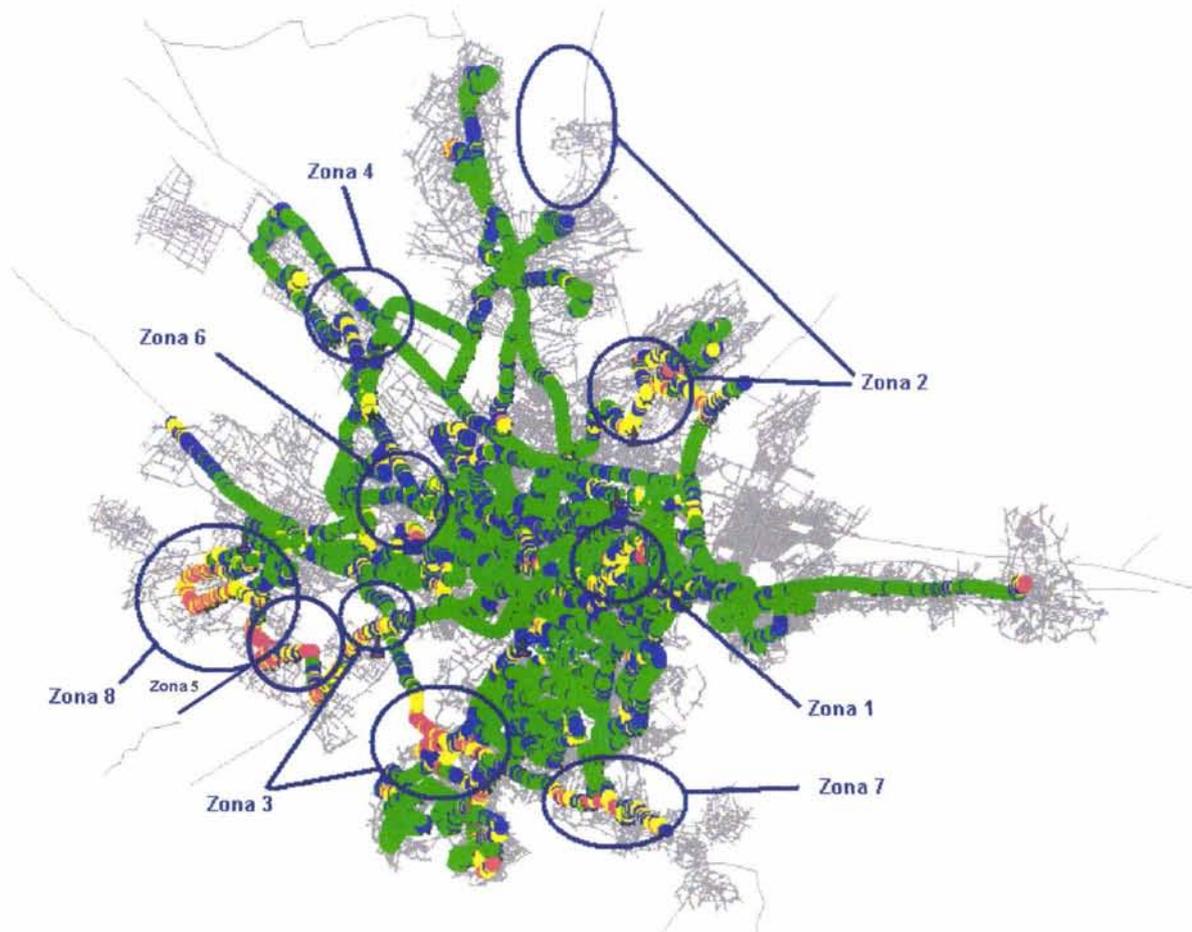


Figura 5.69. Resultados de RxLev para el recorrido general en Puebla.

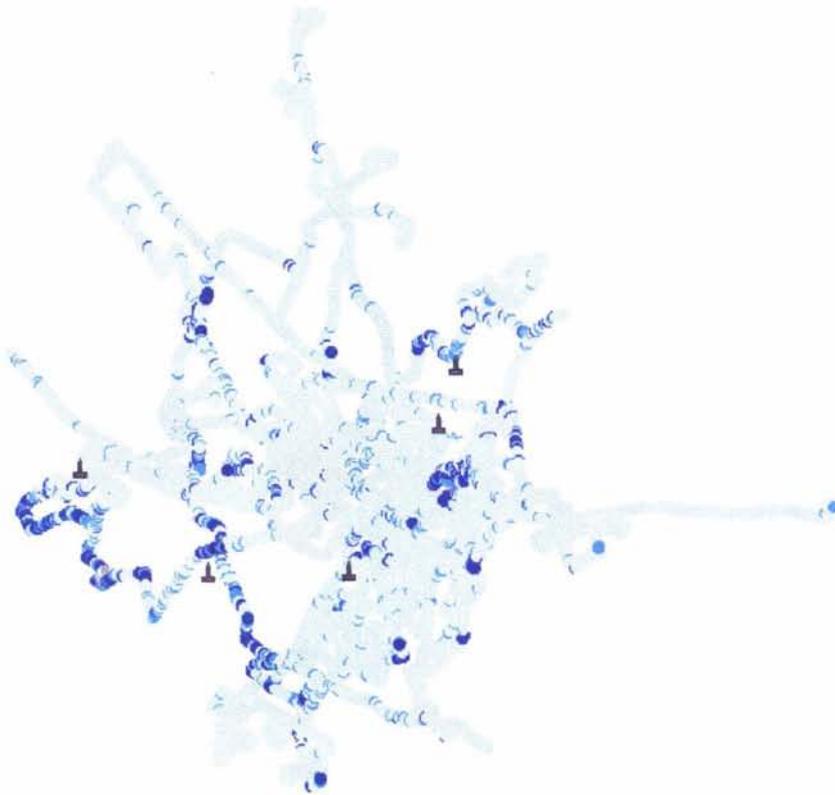


Figura 5.70. Resultados de RxQual para el recorrido general en Puebla.

- Zona 7. Esta zona se localiza al este de la ciudad y fue aceptada cuando se llegó a la conclusión de que era necesario agregar un sitio nuevo para mejorar la cobertura en la zona.
- Zona 8. Esta zona se encuentra al oeste de Puebla. En esta zona se localiza un sitio futuro que tardará un tiempo considerable para entrar en operación. En esta zona no es posible hacer un cambio a las antenas de las celdas vecinas ya que la geografía del terreno impediría de cualquier forma que la señal llegara hasta esa área. En conclusión habrá que esperar el sitio nuevo.

En resumen, cinco de las zonas en donde se presentaron deficiencias, ya habían sido advertidas por el equipo de diseño al operador; aun así, durante la optimización inicial se realizaron ajustes en la inclinación y orientación de las antenas de varias celdas para tratar de cubrir las zonas en donde se instalaría posteriormente un sitio. Para las tres zonas restantes, en dos de ellas había un sitio faltante y en la otra se había cancelado uno, mismo que se reactivaría por la optimización del área.

Durante el proceso de optimización inicial, los problemas más comunes fueron de interferencia y relaciones de vecindad faltantes que no habían sido declaradas, sin encontrar sitios con sectores rotados o problemas de sombras en las antenas.

La ciudad fue aceptada y lanzada comercialmente el primero de Julio del 2001, con lo que se inició el servicio de la red celular GSM de Eritel en la región 7 del país.

5.12. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN PERMANENTE

Considerando el hecho de que la BSC de Puebla y Tlaxcala era una con los peores indicadores de calidad a nivel nacional y que tenía muchos sitios faltantes y contaba con poco tráfico, el reto más importante fue justamente el mejorar estos índices durante la optimización permanente a pesar de estos inconvenientes. La optimización permanente en la ciudad de Puebla durante los dos últimos años se puede dividir en cinco etapas importantes:

- Consolidación de la base de datos de la configuración de los sitios.
- Modificación de la configuración de antenas de acuerdo al diseño original.
- Cambios físicos para optimizar los indicadores de desempeño en la red.
- Optimización de parámetros de celda y BSC para mejorar el desempeño.
- Ampliación de la red por el incremento de tráfico.

La primera etapa duró aproximadamente dos meses y se visitaron todos los sitios para verificar la configuración de las antenas y en su caso pedir la corrección de las diferencias encontradas. Al mismo tiempo se monitoreaba la red para observar si se presentaba alguna mejora y se hizo una revisión de la configuración de los parámetros de todas las celdas con el objeto de eliminar inconsistencias.

La segunda etapa duró un mes y requirió de apoyo de personal del operador encargado de hacer los cambios físicos en los sitios. Se modificaron un total de 282 celdas con al menos un cambio en ellas, ya sea de inclinación u orientación, con lo que a partir de la conclusión de esta etapa fue posible contar con una base de datos de las ciudades de Puebla y Tlaxcala más confiable.

La tercera etapa comenzó a finales del 2001 y aun continúa. Inicialmente se agotaron las posibilidades para limitar la cobertura excesiva de algunas celdas que presentaban accesos aleatorios fallidos y problemas de calidad.

La cuarta etapa, dio inicio cuando los cambios físicos no eran suficientes para mejorar los índices de desempeño y entonces fue necesario optimizar algunos parámetros para hacer mas eficientes algunos procesos.

La quinta etapa comenzó a mediados del 2002 y se ha visto incrementada a finales del 2003 por un crecimiento muy pronunciado del número de usuarios que están haciendo uso de la red GSM de Eritel. En esta etapa, se ha expandido la capacidad de los sitios existentes para darle el servicio a la cantidad creciente de usuarios. Puesto que se han instalado nuevos sitios y segundos radios, también ha sido necesario diseñar nuevos planes de frecuencia.

Eritel planteó inicialmente la necesidad de mantener los indicadores de desempeño cercanos al 97% de eficiencia, para ofrecer el servicio con una buena calidad. Mediante los indicadores se evalúa el desempeño de la red y los trabajos de optimización por parte de quien presta este servicio, el valor de los indicadores de desempeño se ha ido modificando de acuerdo a la madurez y el crecimiento de la red con una tendencia al

100%. Actualmente los indicadores de desempeño deben de cumplir con los siguientes valores:

- Tasa de RA fallido < 1%
- Tasa de llamadas caídas < 1%
- Índice de mala calidad de voz < 1%
- Tasa de *handover* fallido < 1%

En la figura 5.71 se presenta la gráfica de desempeño del acceso aleatorio para la ciudad de Puebla y Tlaxcala del mes de noviembre del 2002 a diciembre del 2003. A finales del año 2002 a pesar de haber realizado cambios en las configuraciones de las antenas que tenían un mayor impacto negativo en la red, el número de accesos aleatorios fallidos se mantuvieron por encima del 2%. Otra acción que se tomó fue la de reducir el tiempo de registro de los móviles a la red con lo que se redujo también el número de accesos de los móviles. Además, se agregaron sitios de borde para mejor la cobertura y optimizar así la autopista México–Puebla.

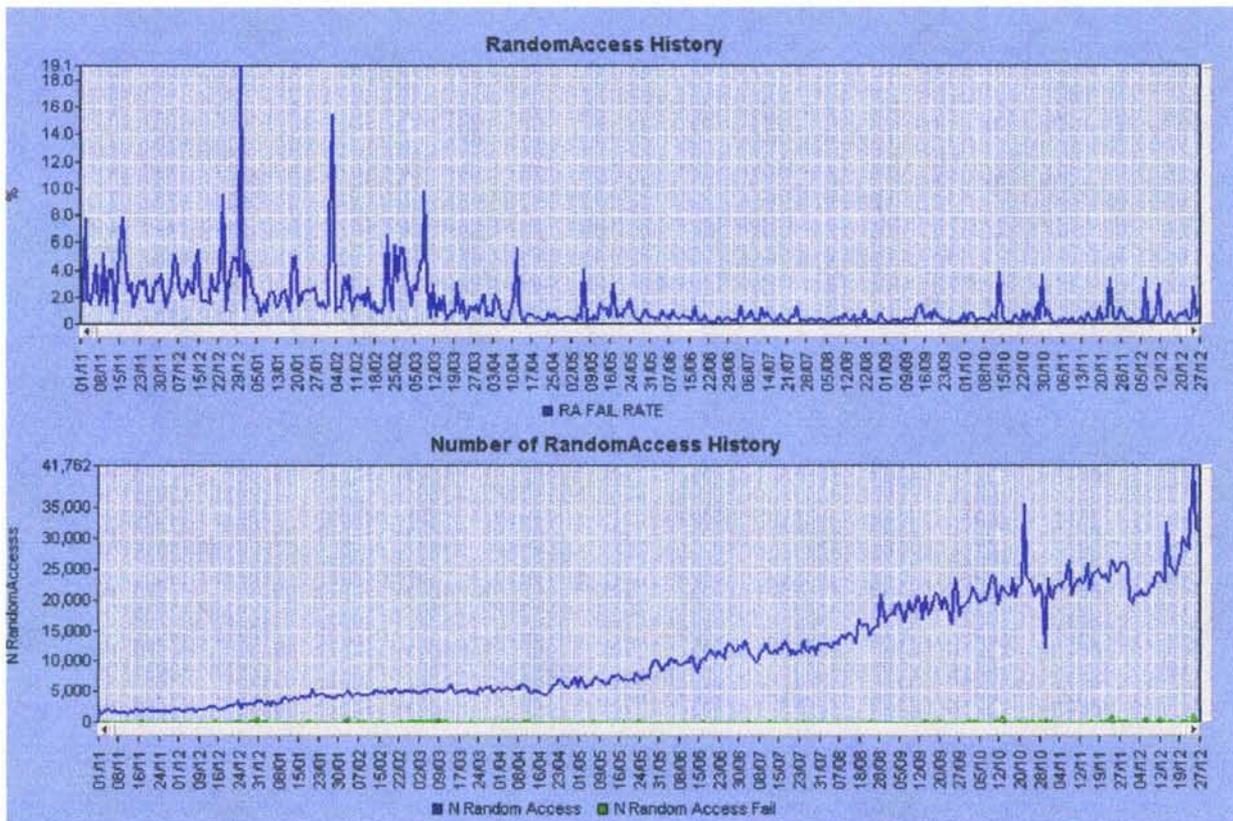


Figura 5.71. Historial del desempeño de RA.

En las gráficas de la figura 5.71 se observa en la parte superior que el indicador de desempeño ha tenido una mejora hacia final del periodo de análisis, a pesar de que se ha venido incrementando el número de accesos, lo que se traduce en un incremento de tráfico en la red.

En la figura 5.72 se presenta la gráfica de desempeño del indicador de llamadas caídas durante el transcurso del año 2003 en la BSC de Puebla y Tlaxcala. El indicador de llamadas caídas está graficado en color azul y se observa que a pesar de las variaciones tan pronunciadas en el mismo, hacia finales del año se ha logrado estabilizar su comportamiento alcanzando un valor alrededor del 1%. La optimización de este indicador consistió inicialmente en controlar la cobertura de las celdas con una cobertura excesiva, así como la optimización del plan de frecuencias, poniendo principal atención a las celdas de borde, ya que en sus límites existen bajos niveles de señal que son más sensibles al ruido de piso. Al incrementarse el tráfico a finales del 2002 se tomaron medidas en cuanto a la calidad de voz mediante la implementación de planes de frecuencia mejorados.

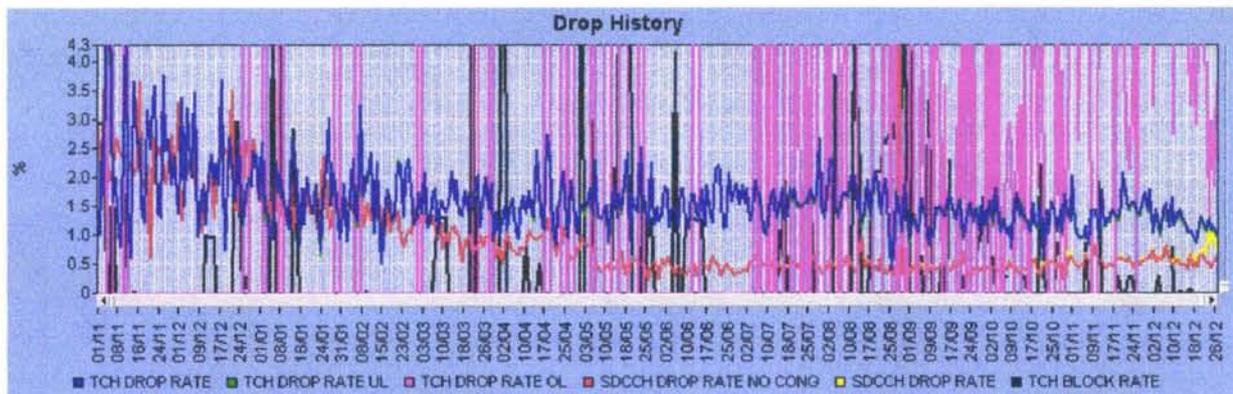


Figura 5.72. Gráfica de desempeño del indicador de llamadas caídas.

En la figura 5.73 se observa el desempeño del índice de calidad de voz, las barras azules representan el porcentaje del índice de buena calidad, el verde la calidad aceptable y el rosa las muestras con mala calidad. Este indicador se mantuvo estable y con valores menores al uno por ciento desde finales del 2002 y hasta mediados del 2003, pero a partir de la segunda mitad del 2003 el incremento de la mala calidad de voz fue muy notable; esto se debió a que un gran número de usuarios está haciendo uso de los celulares en interiores, lo que se traduce en el deterioro de la calidad por las pérdidas que sufre la señal al traspasar los muros gruesos. La solución que ha logrado mantener este índice estable es la constante optimización del plan de frecuencias.

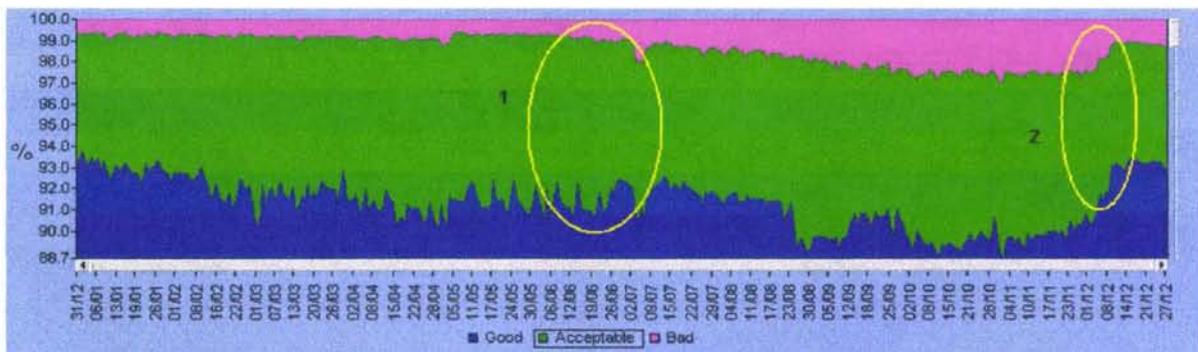


Figura 5.73. Índice de calidad de Voz para Puebla y Tlaxcala.

El último indicador que evaluó el operador es el desempeño de HO y la gráfica se muestra en la figura 5.74. En la parte superior se encuentran graficados tres valores que nos indican el aumento de *handovers* debidos al incremento de tráfico, estos son: *Handover Att* (intentos de *handover*), *handover dec* (decisiones de *handover*) y *handover ho to hcs* (*handovers* a una celda jerárquica) todos ellos multiplicados por un factor de 1000. En la parte inferior se muestra el número de *handover* *unsuc* (*handovers* no exitosos) que es la suma de *handover rev* (reversiones de *handover*) y *handover lost* (*handovers* perdidos) y cuyo número a disminuido a la par de la optimización permanente y el tráfico en la red. El indicador de *handover* no exitoso depende en gran parte de los dos indicadores anteriores y solamente en ocasiones excepcionales un alto porcentaje de *handover* no exitoso es ocasionado por problemas de *hardware* o mala definición de los parámetros de la celda.

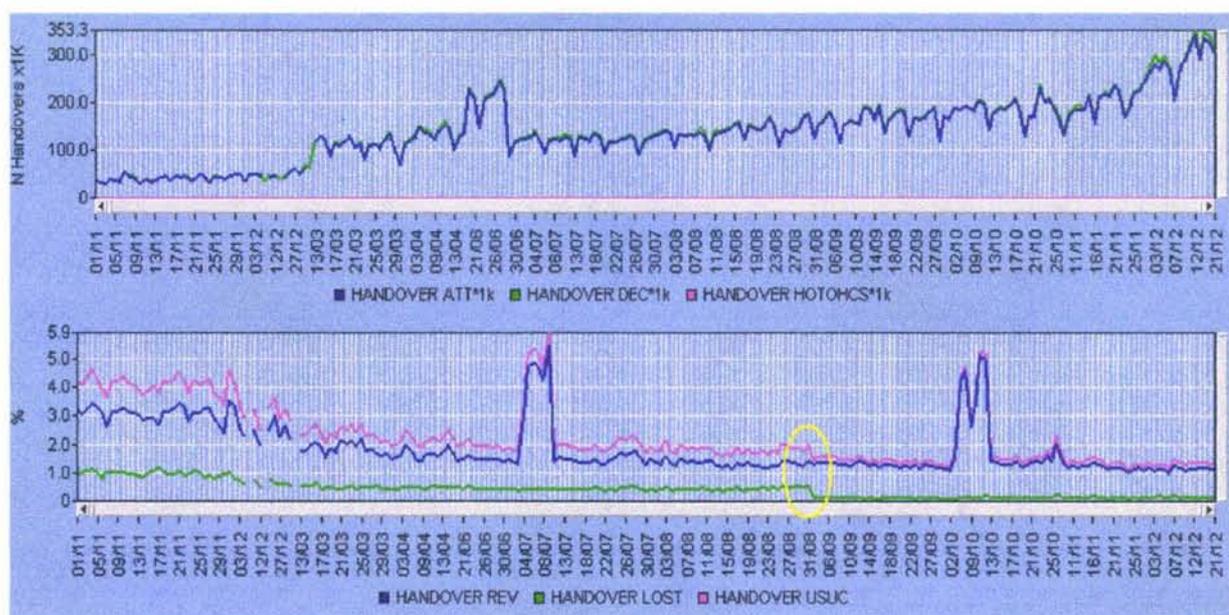


Figura 5.74. Desempeño de Handover para la BSC de Puebla y Tlaxcala.

En la figura 5.74 se observa en un círculo amarillo la disminución de las reversiones (*handover rev*) o *handover fallido* y por consiguiente una disminución en el número de *handover* perdidos (*handover lost*). Este problema principalmente es causado por un plan de frecuencias deficiente, el cual puede ser mejorado puntualmente. La mejora en el desempeño de este indicador es consecuencia de la optimización de los indicadores de llamadas caídas, calidad de voz y acceso aleatorio, además cuando se optimizan las relaciones de vecindad, también mejora el desempeño de *handover*.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan los resultados generales del proyecto y las conclusiones respecto a los objetivos planteados al inicio del mismo.

6.1. RESULTADOS

Al comienzo de este proyecto estudiamos el desarrollo de las comunicaciones a nivel mundial y a nivel nacional para mostrar las necesidades que se han ido presentando con la evolución del hombre. El constante desarrollo de nuevas tecnologías se ha visto inspirada por la necesidad de cubrir aquellas necesidades del hombre moderno. De la misma forma, estas nuevas tecnologías han permitido que las comunicaciones móviles se hayan desarrollado hasta el punto de transmitir no solamente voz, sino también datos. Con el mismo desarrollo de estas tecnologías, se han tenido que establecer estándares internacionales para homogeneizar tanto los protocolos de comunicación como las características de los equipos, brindando así un servicio de calidad a los usuarios por parte de los operadores en cualquier parte del mundo. El constante interés de parte de los usuarios por comprar nuevos servicios, ha motivado que las empresas dedicadas al desarrollo de nuevas aplicaciones busquen diferentes opciones para poder ofrecerlas y satisfacer tanto los gustos como necesidades del usuario final. Actualmente la mayor parte de los países del mundo ya tienen instalada al menos una red GSM, con lo que se ha avanzado demasiado en la tan deseada estandarización de telefonía celular a nivel mundial.

En México, el operador EriTel interesado por mantenerse en la preferencia de los usuarios de telefonía celular al ofrecerles nuevos servicios, motivó su interés por desarrollar una nueva red de comunicación celular con tecnología GSM.

Para desarrollar este proyecto, EriTel hizo un convenio con una empresa extranjera para desarrollar el diseño de ésta nueva red celular.

Puesto que EriTel tiene una red celular con tecnología D-AMPS, este contaba con un estimado de la cantidad de usuarios a los que les podría dar servicio con la nueva red GSM.

En la región 7 del país se interesaron por desarrollar el proyecto para las ciudades de Puebla y Tlaxcala. Bajo las necesidades expuestas tanto de cobertura como de número de usuarios dadas por el operador, el diseño se desarrolló para estas ciudades, resultando en la necesidad de instalar 138 sitios en total. Este diseño fue expuesto al operador para su aprobación, pero contemplaba la construcción de los mismos 138 sitios completamente nuevos para GSM. Puesto que EriTel contaba con una infraestructura muy grande donde estaba montada su red D-AMPS, pidió que el diseño se modificara para instalar los sitios de GSM en el mismo lugar en el que se encontraban sus sitios existentes de D-AMPS.

Considerando las nuevas recomendaciones y necesidades del operador, se modificó el diseño ubicando la mayor parte de los sitios en los lugares existentes y solamente una pequeña parte, alrededor del 10%, se construirían nuevos para GSM. Además, el número de sitios se vio reducido de 138 a 131 sitios por cuestiones del presupuesto asignado al proyecto.

Cuando el diseño se terminó completamente y fue aceptado, se comenzó la inspección de los sitios existentes para conocer tanto su ubicación y los espacios disponibles para instalar los equipos de BTS y enlace dentro del contenedor y el espacio en la plataforma de las torres para instalar las nuevas antenas. Para el caso de los sitios nuevos, el operador contrató los servicios de la empresa Buscatell para que se encargara de la búsqueda de los lugares en los que se podrían instalar los sitios nuevos. Cuando el personal de esta empresa hizo la búsqueda de los sitios, los aspectos que consideraron fueron la facilidad para acceder a las zonas, los permisos para construir sitios celulares, si existen edificios altos propios para instalar las antenas o si es necesario construir una torre y otros factores.

Conforme se fue obteniendo la información de los sitios existentes, se fueron diseñando los diagramas para la ubicación de la BTS dentro del contenedor, para la ubicación del equipo del enlace, para la estructura sobre la que se tienden los *feeders*, para la ubicación de las antenas sobre la plataforma o azotea, para la acometida de la alimentación externa, etc. Para los sitios nuevos, se tuvo que hacer el diseño de toda la obra civil, es decir, desde el diseño de la estructura de la torre y contenedor, así como los mismos diseños de ubicación de equipo ya mencionados.

Para la etapa de instalación del equipo, EriTel hizo un contrato con una empresa dedicada exclusivamente a esta tarea. Esta empresa se encargó tanto de la instalación como de la puesta en marcha de los equipos, los cuales tenían que ser aceptados por el operador al hacerles unas pruebas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Durante la aceptación de los sitios instalados llegaron a surgir problemas tales como falla en los radios, falla en los CDU, fallas en el enlace de microondas, retrasos en la instalación de la alimentación externa, etc. La prueba final que se les hizo a los sitios en esta etapa, fue simplemente una prueba de llamada, comprobando únicamente que la BTS está lista para darle curso a las llamadas accedando a la red.

Cuando se decidió comenzar las pruebas iniciales en las ciudades de Puebla y Tlaxcala, existían aún muchos sitios sin instalar, pero como la fecha de inicio de estos trabajos no se podía retrasar, se tuvieron que iniciar los trabajos con aproximadamente el 75% de los sitios que habían sido planeados. Para estos trabajos se formaron varios grupos de Ingenieros que se dedicaron hacer las pruebas en estas ciudades y de acuerdo a la división por cluster que se propuso al operador. Los trabajos de estas pruebas iniciales se hicieron en un par de semanas, al mismo tiempo que se iban integrando más sitios, lo que obviamente mejoraría el desempeño de esta red. Este grupo de Ingenieros junto con el equipo de diseño de estas ciudades hicieron los cambios convenientes para corregir los problemas que encontraron durante estas pruebas, por lo que fue necesario hacerlas nuevamente en las zonas en las que se encontraron problemas para comprobar que sus soluciones habían sido las adecuadas. A pesar de que se lograron corregir los pequeños problemas encontrados, hubo zonas en las que no fue posible hacer nada puesto que para poder mejorarlas se tenían que instalar los sitios faltantes. El operador programó una fecha en la que estas dos ciudades serían evaluadas para saber el estado en el que estaban y decidir si era factible lanzar la ciudad comercialmente hablando. Para esta evaluación final, participó también un grupo de Ingenieros del operador, el cual hizo sus propias pruebas con un equipo diferente para obtener otro punto de vista. Los resultados finales fueron expuestos a la Gerencia de Región 7 para su análisis y en su caso para la aceptación de la ciudad. Al observar las zonas que se encontraban en malas condiciones y justificarlas por la falta de los sitios, la Gerencia decidió aceptar las ciudades y lanzarlas al público, iniciando así los servicios de la red GSM en estas dos ciudades.

Una vez que la red comenzó a tener tráfico, empezaron a surgir detalles que había que ser arreglados. Sin embargo, hubo que esperar a que el tráfico se incrementara aún más para que empezaran a aparecer los problemas propios de una red que está en crecimiento. Para mantener una operación adecuada de la red celular, el operador estableció un margen de desempeño mínimo en el que se deberían de enfocar todos los trabajos. Todos los indicadores de desempeño deberían de mantener una eficiencia de operación de al menos el 97%, asegurando así una buena imagen del funcionamiento de la red frente a los usuarios. Los trabajos de optimización permanente se enfocaron principalmente en reducir el número de llamadas caídas, mejorar la calidad de las llamadas y permitir que todos los usuarios tuvieran acceso a la red en el momento que lo solicitaran.

6.2. CONCLUSIONES

El diseño de las ciudades de Puebla y Tlaxacala se realizó lo más apegado posible a los lineamientos propuestos en el capítulo tres en donde se describen los procedimientos de diseño para todos los sitios instalados como nuevos, es decir, en donde no había un sitio D-AMPS existente. El diseño de la ciudad de Puebla presentó el reto más importante por los seis sitios eliminados, y la instalación de la mayoría de los sitios GSM en torres ya existentes, estas dos condiciones fueron resueltas en la mayoría de los casos, por lo que el plan nominal fue aceptado con la reserva de optimizar algunas zonas, además la red se lanzó con un número menor al cien por ciento de los sitios propuestos en el diseño final, situación que degradó el desempeño global de los indicadores de desempeño posterior al lanzamiento comercial. Es importante concluir que si bien, el ahorro e cuanto a infraestructura logrado fue considerable, los problemas heredados a la nueva red disminuyeron el desempeño inicial de la red, debido fundamentalmente, a que como se mencionó durante el estudio de caso, la penetración en interiores de GSM 1900 es menor que el de la red D-AMPS 800 instalada. Por lo que podemos decir que el diseño de una red siempre estará sujeto a los acuerdos realizados entre el operador y sus proveedores en cuanto al tipo de equipo a utilizar y el presupuesto destinado en este tipo de proyectos.

Los problemas encontrados durante los recorridos de prueba en la etapa de optimización inicial se debieron fundamentalmente a zonas con una cobertura deficiente por sitios faltantes, o cancelados, lo que reafirmó más la necesidad de establecer un compromiso más fuerte con la calidad de servicio que se pretende proveer al usuario, al decidir el lanzamiento comercial de una ciudad hasta tener con base en la experiencia durante el proyecto, un número total de sitios no menor al 90% de los propuestos en el diseño final.

La etapa de optimización permanente con el antecedente de sitios faltantes y cancelados, se centró originalmente en optimizar zonas en donde se concentraba el poco tráfico inicial que se veía afectado por eventos aislados, con objetivos bastante altos en una red que se lanzó con menos del 80% de los sitios diseñados. Estos objetivos establecían que la red debería de mantener un promedio de llamadas caídas y mala calidad de voz no mayor al tres por ciento, servicio denegado igual a cero y acceso aleatorio exitoso mayor al 97%, durante el primer trimestre después de su lanzamiento y con una evaluación de dichos índices al final de este periodo. Seis meses después se decidió que los valores de mala calidad y llamadas caídas no debían ser mayores al 1%, los accesos aleatorios exitosos mayores al 99% y el servicio denegado no mayor al 1%, lo que aún después de dos años de optimización y con cinco sitios faltantes, no ha sido posible lograr por el crecimiento tan acelerado en cuanto a usuarios, por la interferencia que generan los móviles y la cantidad necesaria de radios adicionales en un periodo tan corto. Actualmente se tienen indicadores de llamadas caídas alrededor del 1%, accesos aleatorios exitosos mayores al 99%, y una calidad mala de voz oscilante por encima del 1%. Las actividades de optimización se continúan en una etapa, en donde los cambios en la configuración de las antenas ya no son suficientes y en donde la estabilidad de los enlaces es mejor, los procedimientos propuestos han ayudado en la resolución de un 90% de los casos, con algunas excepciones debidas a problemas en donde la combinación de errores en la instalación y problemas de parámetros, han

creado la necesidad de agregar nuevos pasos a los procedimientos propuestos.

Es importante decir que la buena planeación de la red repercute de manera determinante en el desempeño futuro y en las actividades de optimización, que es necesario equilibrar el aprovechamiento de la infraestructura existente con el desempeño de sitios instalados, con énfasis en zonas que presentan algún problema de radio y que en gran medida se debe ser hábil para lidiar con factores humanos externos a los procedimientos aquí propuestos para el diseño y optimización de una red GSM.

BIBLIOGRAFÍA

En este apartado presentamos la bibliografía y los sitios web consultados durante el desarrollo de este proyecto.

COUCH, LEÓN W., *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*, Quinta Edición, Prentice Hall Hispanoamericana, 1995.

HADDAD, R. A., PARSONS, T. W., *Digital signal processing*, Computer science, 1991.

HAYKIN, SIMON, *Digital communications*, John Willey and sons, 1988.

JAYANA, N. S., NOLL, PETER, *Digital coding of waveforms*, Prentice Hall, 1984.

KITAWAKI, NOBOHIKO, *Quality Assesment of Coded Speech*, Fuente IEEE.

LARSON, E., LAWRENCE, *RF and microwave circuit design for wireless communications*, Artech House, 1997.

LEE, C. Y., WILLIAM, *Mobile cellular telecommunications*, Mc Graw Hill International Editions, 1995.

LIM, J. S., OPPENHEIM, ALANN V., *Advances topics in signals processing*, Prentice Hall, 1990.

MEURLING, JOHN, JEANS, RICHARD, *La crónica Ericsson*, Impreso en Suecia, 2001.

MOULY, MICHEL, PAUTET, MARIE BERNADETTE, *The GSM system for mobile communications*, Publicado por los autores, 1992.

MUROA, KAZUAKI, HIRADE, KENKICHI, *GMSK Modulation for digital mobile radio telephony*, IEEE Transactions on communications, Vol. COM-29, No. 7, July 1981.

ÖHRVIK, SVEN-OLOF, *Radio school: G1 Mobile radio communication overview*, Ericsson Radio Systems AB, Ragnar Ladén, 2000.

ÖHRVIK, SVEN-OLOF, *Radio school: G2 The land mobile radio channel*, Ericsson Radio Systems AB, Ragnar Ladén, 2000.

ÖHRVIK, SVEN-OLOF, *Radio school: G3 Modulation of analog signals*, Ericsson Radio Systems AB, Ragnar Ladén, 2000.

OPPENHEIM, ALANN V., WILSKI, ALANS S., *Señales y sistemas*, Prentice Hall, 1994.

RAPPAPORT, THEODORE S. *Wireless communications. Principles & Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.

RAZAVI, BEHZAD, *RF Microelectronics*, Prentice Hall, 1998.

REDL, SIEGMUND M., WEBER, MATTHIAS K., OLIPHANT, MALCOLM W. *An introduction to GSM*, Artech house publishers, 1995.

SCOURIAS, JOHN, *Overview of the Global System for Mobile Communications*, University of Waterloo, 1995.

STEEL, RAYMOND, *Mobile radio communications*, IEEE Press, 1994.

VARY, PETER, HOFMANN, RUDOLF, HELLWIG, KARL, SLUYTER, ROBERT J., *A regular pulse excited linear predictive CODEC*, 1987.

MANUALES:

GSM system survey, Ericsson Radio Systems AB.

GSM advanced cell planning, Ericsson Radio Systems AB.

<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/NMendoza.html>

http://banners.noticiasdot.com/termometro/boletines/autor/docs/mundamericas/mundit_weekly15.pdf

<http://www.iusacell.com.mx>

<http://www.telcel.com.mx>

<http://www.unefon.com.mx>

<http://www.telefonicamoviles.com.mx>

<http://www.cft.gob.mx>

<http://ceres.ugr.es/~alumnos/alonso/>

APÉNDICE A GLOSARIO DE TÉRMINOS

En este apéndice se presentan ordenados alfabéticamente los términos que se utilizan a lo largo del trabajo con su significado en español.

AGCH	Access Grant Channel, Canal de Acceso Confirmado.
AM	Amplitude Modulation, Amplitud Modulada.
AMPS	Advanced Mobile Phone System, Sistema Avanzado de Telefonía Móvil.
ASK	Amplitude Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Amplitud.
AT&T	American Telephone and Telegraph company, Compañía Americana de Teléfono y Telégrafo.
AUC	AUthentication Center, Centro de Autenticación.
BCCH	Broadcast Control Channel, Canal de Control de Difusión.
BCH	Broadcast Channels, Canales de Difusión.
BPSK	Binary-Phase Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria.
BSC	Base Station Controller, Controladora de Estación Base.
BSIC	Base Station Identity Code, Código de Identidad de Estación Base.
BSS	Base Station System, Sistema de Estación Base.
BTS	Base Transceiver Station, Estación Base Trans-receptora.
CCCH	Common Control Channels, Canales Comunes de Control.
CCIR	Comité Consultative International des Radiocommunication, Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicación.
CCIT	Comité Consultative International Téléphonique, Comité Consultivo Telefónico Internacional.
CDD	Cell Design Data, Datos de Diseño de Celda.
CDMA	Code Division Multiple Access, Acceso Multiple por División de Código.
CDU	Combining and Distribution Unit, Unidad de Distribución y Combinación.
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Radiocommunication, Conferencia Europea de administración de Correos y Telecomunicaciones.
CGI	Cell Global Identity, Identificación Global de Celda.
COG	Central Optimization Group, Grupo de Optimización Central.
D-AMPS	Digital-Advanced Mobile Phone System, Sistema Digital Avanzado de Telefonía Móvil.
DCCHs	Dedicated Control Channels, Canales de Control Dedicado.

DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Telecomunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas.
Downlink	Enlace de BTS a móvil.
DPLM	Domestic Public Land Mobile, Móvil Terrestre Público Doméstico.
DXU	Distribution Switch Unit, Unidad del Switch de Distribución.
ECU	Energy Control Unit, Unidad de Control de Energía.
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution, Tasa de Transmisión de Datos para Evolución Global Mejorada.
EIA	Electronic Industries Association, Asociación de Industrias Electrónicas.
EIR	Equipment Identity Register, Registro de Identidad de Equipo.
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power, Potencia Isotrópica Efectiva Radiada.
ETACS	Extended Total Access Communication System, Sistema de Comunicación Extendido de Acceso Total.
ETSI	European Telecommunication Standards Institute, Instituto Europeo de Estándares para Telecomunicaciones.
FACCH	Fast Associated Control Channel, Canal de Control Rápido Adjunto.
FCC	Federal Communications Commission, Comisión Federal de Comunicaciones.
FCCH	Frequency Correction Channel, Canal de Corrección de Frecuencia.
FDMA	Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
FH	Frequency Hopping, Salto en Frecuencia.
FM	Frequency Modulation, Frecuencia Modulada.
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Center, Puerta de Enlace de Centro de Servicios de Conmutación Móviles.
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying, Modulación por Desplazamiento Mínimo Gaussiano.
GoS	Grade of Service, Grado de Servicio.
GSM	Global System for Mobile Communications, Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.

GSM/MAP	GSM Management Application Part, Parte de Manejo de Aplicación de GSM.
GPRS	General Packet Radio Services, Servicios de Radio Generales de Paquetes.
GPS	Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global.
HLR	Home Location Register, Registro Local de Abonados.
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data, Circuito Conmutado de Datos de Alta Velocidad.
IDM	IDentity Module, Módulo de identificación.
IEC	International Electrotechnical Commission, Comisión Internacional Electro-Técnica.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Institución de EUA.
IF _{MARG}	Interference Margin, Margen de Interferencia.
IMTS	Improved Mobile Telephone System, Sistema Telefónico Móvil Mejorado.
IT	Initial Tuning, Ajuste Inicial.
ITU	Internacional Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones.
KPI	Key Performance Indicators, Indicadores Claves de Desempeño.
LA	Location Area, Área de Localización.
LOL	Low signal strength for OverLaid, Bajo Nivel de Señal para la Capa Superior.
MAXTA	MAXimum Timing Advance, Desplazamiento Máximo en el Tiempo.
MSC	Mobile Services Switching Center, Centro de Servicios de Conmutación Móviles.
MS	Mobile Station, Estación Móvil.
MoU	Memorandum of Understanding, Acuerdo de Entendimiento.
NMC	Network Management Center, Centro de Administración de la Red.
NMT	Nordic Mobile Telephony, Telefonía Móvil Nórdica.
NOM	Network Operation and Maintenance, Operación y Mantenimiento de la Red.

NTT	Nippon Telegraph and Telephone, Teléfono y Telégrafo Japonés.
OMC	Operation and Maintenance Center, Centro de Operación y Mantenimiento.
OSS	Operating and Support System, Sistema de Operación y Soporte.
PCH	Paging Channel, Canal de Voceo.
PCS	Personal Communication Services, Servicios de Comunicación Personal.
PDC	Personal Digital Cellular, Celular Personal Digital.
PDC-P	Personal Digital Cellular – Packet , Celular Personal Digital – Paquete.
PM	Phase Modulation, Modulación en Fase.
PSU	Power Supply Unit, Unidad de Fuente de Energía.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de Amplitud en Cuadratura.
QM	Quadrature Modulation, Modulación de Cuadratura.
RA	Random Access, Acceso Aleatorio.
RACH	Random Access Channel, Canal de Acceso Aleatorio.
RF	Radio frecuencia.
RF _{MARG}	Rayleigh Fading Margin, Margen de Atenuación Rayleigh.
RCC Radio	Common Carriers, Operadores Comunes de Radio.
RxLev	Reception Level, Nivel de Recepción.
RxQual	Reception Quality, Calidad en la Recepción.
SACCH	Slow Associated Control Channel, Canal de Control Lento Adjunto.
SDCCH	Stand Alone Dedicated Control Channel, Canal de Control Dedicado.
SCH	Synchronization Channel, Canal de Sincronización.
SEK	Svenska Elektriske Kommissionen, Comisión Eléctrica Sueca, miembro de la IEC.
SIM cards.	Subscriber Identity Module, Módulo de Identificación de Abonado.
SQI	Speech Quality Index, Índice de Calidad de Voz.
STA	Scandinavian Telecommunication Administrations, Administraciones Escandinavas de Telecomunicaciones.
SMS	Short Message Service, Servicio de Mensajes Cortos.
SP	Spread spectrum, Amplio Espectro.
SS	Switching System, Sistema de Conmutación.
TA	Timing Advance, Desplazamiento en el Tiempo.

TACS	Total Access Communication System, Sistema de comunicación de Acceso Total.
TAOL	Timing Advance for Over Laid, Desplazamiento en el Tiempo para la Capa Superior.
TDMA	Time Division Multiple Access, Acceso Multiple por División de Tiempo.
TIA	Telecommunication Industries Association, Asociación de Industrias de la Telecomunicación, ésta es una asociación de EUA.
TMA	Tower Mounted Amplifier, Amplificador Montado en Torre.
TR	Technical Review, Revisión Técnica.
TRU	TRAnsceiver Unit, Unidad de Transmisión-recepción.
TS	Time Slots, Ranuras de Tiempo.
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System, Sistema Universal de Telecomunicación Móvil.
Uplink	Enlace móvil a BTS.
VLR	Visitor Location Register, Registro de Abonados Visitantes.
VPNs	Virtual Privates Networks, Redes privadas virtuales sin cables.
VSWR	Voltaje Standing Wave Ratio, Razón de voltaje de onda estacionaria.
WARC	World Administrative Radio Conference, Conferencia Mundial de Administración de Radio.

APÉNDICE B

TABLA B DE ERLANG

En este apéndice se muestra la tabla completa de Erlang. La tabla se utiliza para calcular el número necesario de dispositivos, para atender la cantidad de tráfico que se espera tener en la red celular.

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798
4	.77729	.81209	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541
17	9.2119	9.3714	9.6171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.21
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056
33	22.155	22.429	22.678	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524	52.718
34	23.001	23.281	23.536	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379

Tabla B-1. Tabla de Erlang. (Continúa)

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4
35	23.849	24.136	24.397	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041
36	24.701	24.994	25.261	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703
37	25.556	25.854	26.127	26.378	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365
38	26.413	26.718	26.996	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028
39	27.272	27.583	27.867	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690
40	28.134	28.451	28.741	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353
41	28.999	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016
42	29.866	30.194	30.494	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679
43	30.734	31.069	31.374	31.656	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851	69.342
44	31.605	31.946	32.256	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006
45	32.478	32.824	33.140	33.432	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669
46	33.353	33.705	34.026	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333
47	34.230	34.587	34.913	35.215	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997
48	35.108	35.471	35.803	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660
49	35.988	36.357	36.694	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324
50	36.870	37.245	37.586	37.901	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988
51	37.754	38.134	38.480	38.800	41.189	42.892	45.533	50.644	59.746	82.652
52	38.639	39.024	39.376	39.700	42.124	43.852	46.533	51.726	60.985	84.317
53	39.526	39.916	40.273	40.602	43.060	44.813	47.534	52.808	62.224	85.981
54	40.414	40.810	41.171	41.505	43.997	45.776	48.536	53.891	63.463	87.645
55	41.303	41.705	42.071	42.409	44.936	46.739	49.539	54.975	64.702	89.310
56	42.194	42.601	42.972	43.315	45.875	47.703	50.543	56.059	65.942	90.974
57	43.087	43.499	43.875	44.222	46.816	48.669	51.548	57.144	67.181	92.639
58	43.980	44.398	44.778	45.130	47.758	49.635	52.553	58.229	68.421	94.303
59	44.875	45.298	45.683	46.039	48.700	50.602	53.559	59.315	69.662	95.968
60	45.771	46.199	46.589	46.950	49.644	51.570	54.566	60.401	70.902	97.633
61	46.669	47.102	47.497	47.861	50.589	52.539	55.573	61.488	72.143	99.297
62	47.567	48.005	48.405	48.774	51.534	53.508	56.581	62.575	73.384	100.96
63	48.467	48.910	49.314	49.688	52.481	54.478	57.590	63.663	74.625	102.63
64	49.368	49.816	50.225	50.603	53.428	55.450	58.599	64.750	75.896	104.29
65	50.270	50.723	51.137	51.518	54.376	56.421	59.609	65.839	77.108	105.96
66	51.173	51.631	52.049	52.435	55.325	57.394	60.619	66.927	78.350	107.62
67	52.077	52.540	52.963	53.353	56.275	58.367	61.630	68.016	79.592	109.29
68	52.982	53.450	53.877	54.272	57.226	59.341	62.642	69.106	80.834	110.95

Tabla B-1. Tabla de Erlang. (Continúa)

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4
69	53.888	54.361	54.793	55.191	58.177	60.316	63.654	70.196	82.076	112.62
70	54.795	55.273	55.709	56.112	59.129	61.291	64.667	71.286	83.318	114.28
71	55.703	56.186	56.626	57.033	60.082	62.267	65.680	72.376	84.561	115.95
72	56.612	57.099	57.545	57.956	61.036	63.244	66.694	73.467	85.803	117.61
73	57.522	58.014	58.464	58.879	61.990	64.221	67.708	74.558	87.046	119.28
74	58.432	58.929	59.384	59.803	62.945	65.199	68.723	75.649	88.289	120.94
75	59.344	59.846	60.304	60.728	63.900	66.177	69.738	76.741	89.532	122.61
76	60.256	60.763	61.226	61.653	64.857	67.156	70.753	77.833	90.776	124.27
77	61.169	61.681	62.148	62.579	65.814	68.136	71.769	78.925	92.019	125.94
78	62.083	62.600	63.071	63.506	66.771	69.116	72.786	80.018	93.262	127.61
79	62.998	63.519	63.995	64.434	67.729	70.096	73.803	81.110	94.506	129.27
80	63.914	64.439	64.919	65.363	68.688	71.077	74.820	82.203	95.750	130.94
81	64.830	65.360	65.845	66.292	69.647	72.059	75.838	83.297	96.993	132.60
82	65.747	66.282	66.771	67.222	70.607	73.041	76.856	84.390	98.237	134.27
83	66.665	67.204	67.697	68.152	71.568	74.024	77.874	85.484	99.481	135.93
84	67.583	68.128	68.625	69.084	72.529	75.007	78.893	86.578	100.73	137.60
85	68.503	69.051	69.553	70.016	73.490	75.990	79.912	87.672	101.97	139.26
86	69.423	69.976	70.481	70.948	74.452	76.974	80.932	88.767	103.21	140.93
87	70.343	70.901	71.410	71.881	75.415	77.959	81.952	89.861	104.46	142.60
88	71.264	71.827	72.340	72.815	76.378	78.944	82.972	90.956	105.70	144.26
89	72.186	72.753	73.271	73.749	77.342	79.929	83.993	92.051	106.95	145.93
90	73.109	73.680	74.202	74.684	78.306	80.915	85.014	93.146	108.19	147.59
91	74.032	74.608	75.134	75.260	79.271	81.901	86.035	94.242	109.44	149.26
92	74.956	75.536	76.066	76.556	80.236	82.888	87.057	95.338	110.68	150.92
93	75.880	76.465	76.999	77.493	81.201	83.875	88.079	96.434	111.93	152.59
94	76.805	77.394	77.932	78.430	82.167	84.862	89.101	97.530	113.17	154.26
95	77.731	78.324	78.866	79.368	83.133	85.850	90.123	98.626	114.42	155.92
96	78.657	79.255	79.801	80.306	84.100	86.838	91.146	99.722	115.66	157.59
97	79.584	80.186	80.736	81.245	85.068	87.826	92.169	100.82	116.91	159.25
98	80.511	81.117	81.672	82.184	86.035	88.815	93.193	101.92	118.15	160.92
99	81.439	82.050	82.608	83.124	87.003	89.804	94.216	103.01	119.40	162.59
100	82.367	82.982	83.545	84.064	87.972	90.794	95.240	104.11	120.64	164.25
101	83.296	83.916	84.482	85.005	88.941	91.784	96.265	105.21	121.89	165.92

Tabla B-1. Tabla de Erlang.

APÉNDICE C

SIMULACIÓN DEL MARGEN DE ATENUACIÓN LOG-NORMAL

En este apéndice se muestran simulaciones del margen de atenuación Log-normal las cuales se utilizan para calcular los niveles de diseño de la intensidad de señal en una red celular. Se muestran simulaciones para diferentes valores de σ .

Histeresis = 0, 3, 5, 100 dB
Correlación inter-celda = 0.5
Propagación = $35\log(d)$

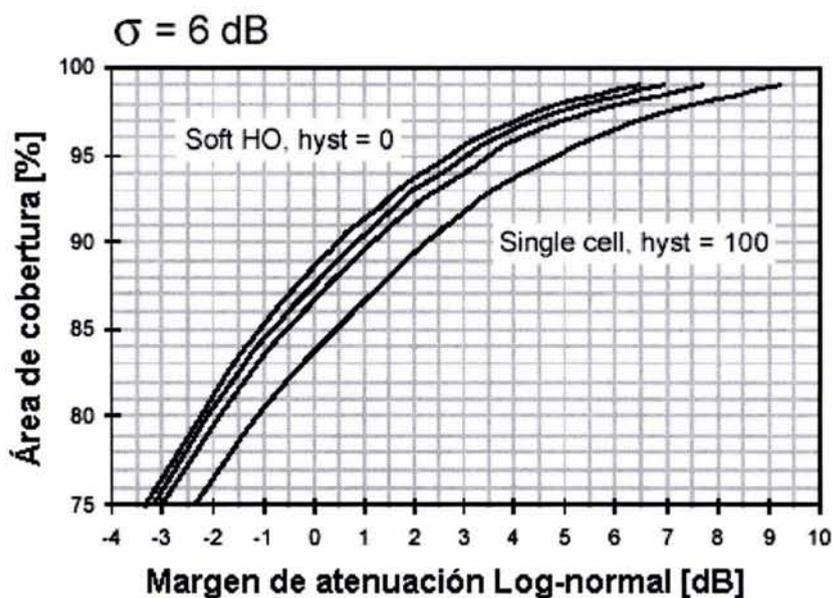


Figura C.1. Margen de atenuación Log-normal para $\sigma = 6$ dB.

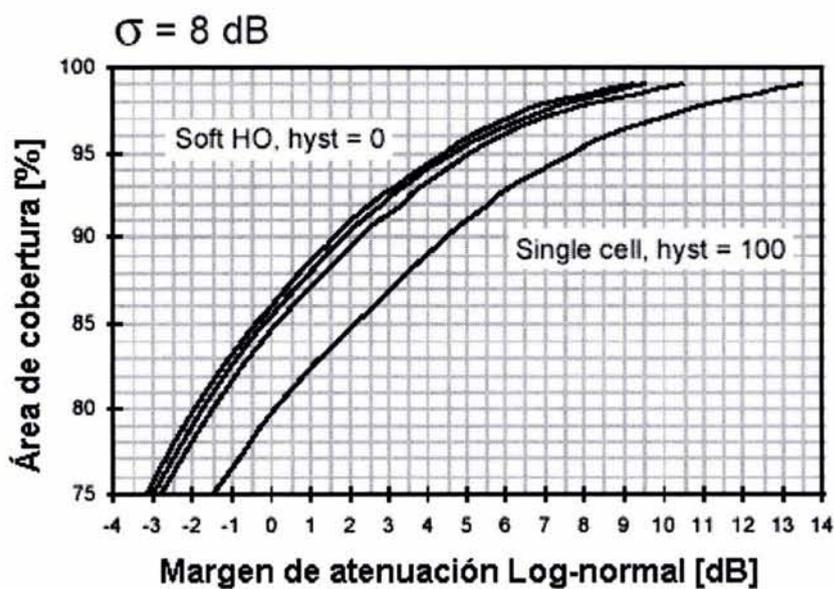


Figura C.2. Margen de atenuación Log-normal para $\sigma = 8$ dB.

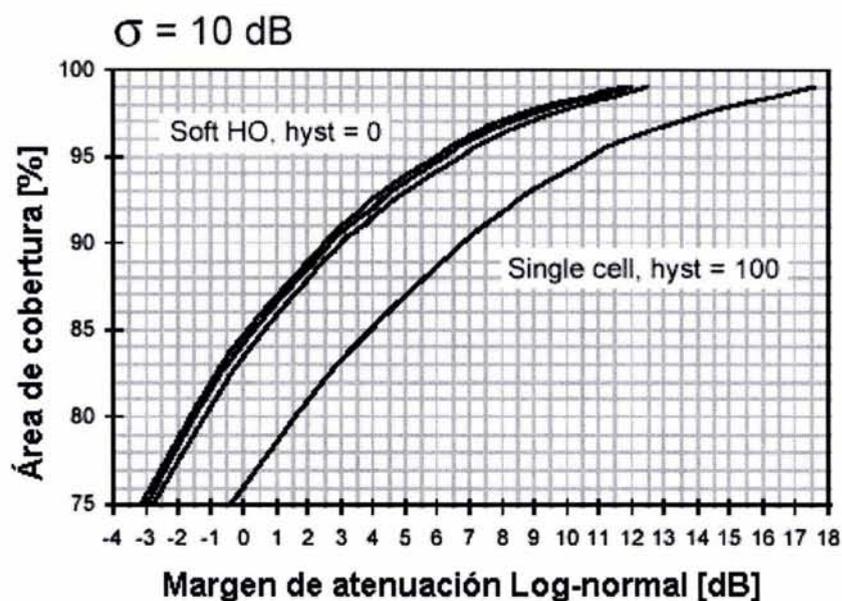


Figura C.3. Margen de atenuación Log-normal para $\sigma = 10$ dB.

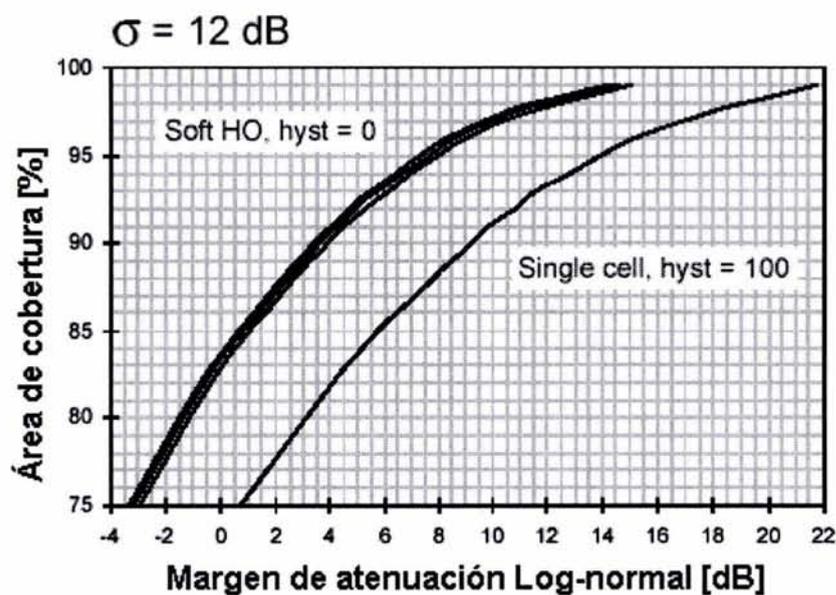


Figura C.4. Margen de atenuación Log-normal para $\sigma = 12$ dB.

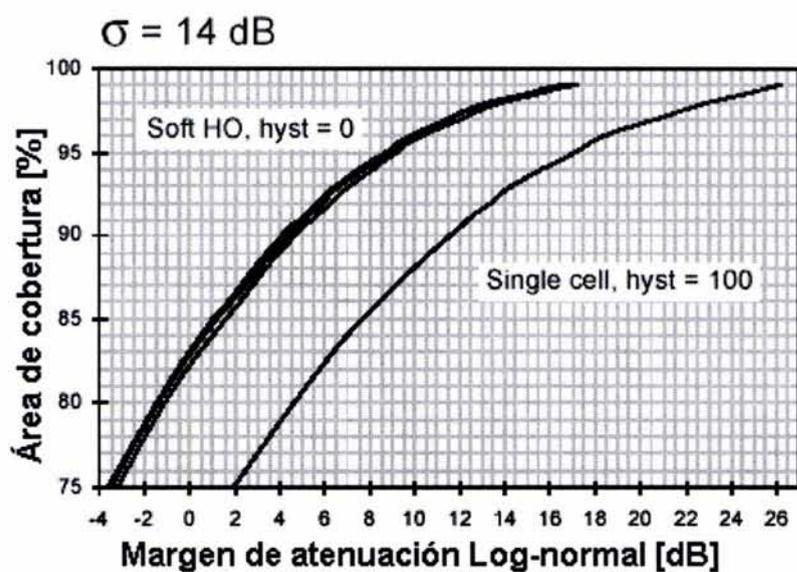


Figura C.5. Margen de atenuación Log-normal para $\sigma = 14$ dB.

APÉNDICE D

TEMS CELL PLANNER DE ERICSSON

Este apéndice presentamos las características más importantes de la herramienta de predicción utilizada en el diseño de la red celular de Puebla y Tlaxcala para Eritel, mostrando de manera somera las principales ventanas utilizadas en el diseño. La herramienta es compleja y sería imposible explicar detalladamente los procedimientos necesarios para generar un plan de nominal y de frecuencias en unas cuantas páginas.

Tems Cell Planner de Ericsson es una herramienta muy poderosa de predicción, fue desarrollada por Ericsson a la par de las comunicaciones de telefonía celular, la experiencia en el mercado de este proveedor de servicios y equipo se ve reflejada en la flexibilidad y utilidad que esta herramienta brinda. La función fundamental de esta herramienta es la obtención de predicciones de cobertura, basada en un algoritmo de predicción creado por Ericsson y que recibe el nombre de algoritmo 999, el cual es una modificación del algoritmo de predicción Okumura-Hata. Este software entre otras funciones genera predicciones de mejor servidor y planes de frecuencia basados en tipo de área, tráfico e interacciones entre los sitios que conforman la red.

Como es lógico, el cálculo de los niveles de señal esperados en cada punto es inimaginable sin la utilización de métodos computacionales, por lo que en el diseño de una red celular es indispensable contar con este tipo de herramientas. Las características mas importantes de TEMS Cell Planner de Ericsson son:

- Generación de predicciones de cobertura con indicación de niveles de señal esperados.
- Generación de predicciones de mejor servidora.
- Generación de planes de frecuencia.
- Posibilidad de utilizar computadoras con sistema operativo Windos NT o Windows 2000, comparado con sus antecesores que sólo podían correr en máquinas con sistema operativo Solaris, o Unix.
- Acceso a bases de datos de todos los elementos de la red configuradas de manera centralizada o local.

TEMS Cell Planner necesita de una base de datos de los sitios de la red, ésta puede ser hecha por regiones o ciudades y ser local o puede contener todos los sitios y estar centralizada, siendo esta última más confiable y fácil de controlar. La herramienta se puede conectar a bases de datos en Oracle o MySQL, y contiene todas las características físicas y de ubicación de los sitios, además necesita bases de datos de tipos de alimentador, antenas, topografía de terreno, tipos de zonas a cubrir ya sean estas rural, urbana, industrial, etc., cuerpos de agua, ríos, residencial, densamente urbana, edificaciones si el operador así lo desea, etc.

Tems Cell Planner consta de dos ventanas principales, las cuales son *site database* (bases de datos de sitio) y *2nd View* (vista en dos dimensiones). En la figura D.1 se muestra el ambiente principal de trabajo, en la parte inferior izquierda se muestra la ventana de *site database*, en la parte inferior derecha se muestra la ventana de *2nd view*, en esta última se encuentran algunos sitios de una red ficticia; y en la parte superior se muestra la barra de herramientas principal, de donde se obtiene acceso a todas las ventanas y herramientas del programa. Señalado con un rectángulo negro se indican los dos accesos directos a estas ventanas y con una flecha la ventana que respectivamente despliegan.

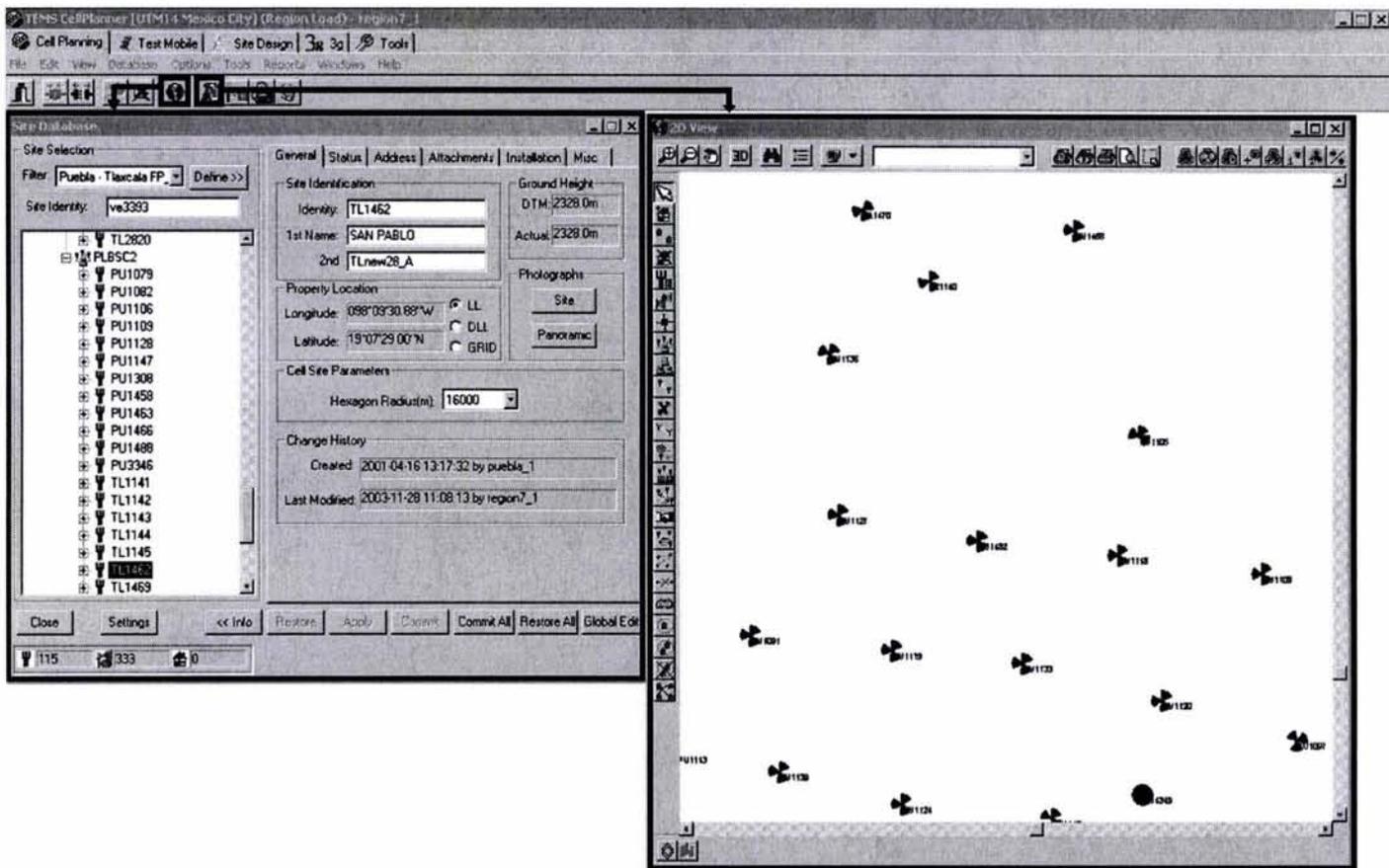


Figura D.1. Ambiente principal de trabajo de TEEMS Cell Planner de Ericsson.

En la ventana correspondiente la base datos se definen todas características de los sitios, como su nombre, ubicación, altura, tipo de equipo a instalar etc. La estructura en ese muestran los sitios es como un menú, dentro de una MSC se encuentran algunas BSC y dentro de éstas los sitios, a su vez dentro de los sitios encontramos las celdas que los conforman. En la figura D.2 se muestra el submenú general de la ventana de *site data base*, que despliega los datos de un sitio al ser éste seleccionado: en el primer recuadro, con el número uno, se muestra la identificación del sitio que es editable; en el número 2 la posición en grados minutos segundos y décimas de segundo, la cual es tomada de la posición del sitio en el mapa; en el número tres la altura tomada de los mapas de altura de la ciudad; en el número cuatro fotografías del sitio que se toman de la base de datos general, si el operador pidió incluir esta información; en el número cinco un botón de comando para definir las características con que se quiere mostrar la base datos, que pueden ser mostrar los sitios agrupados por BSC y MSC o por conexión; y en el número seis se muestran los botones de modificación de cambios a la base datos. Es decir, en este último, si algún parámetro del sitio como el nombre, tipo de alimentador, dirección es cambiado, se puede elegir entre aceptar todos los cambios y afectar la base de datos, con el botón de *commit all*; restaurar el sitio con *restore all* o hacer el cambio permanente con *global edit*.

Los siguientes submenús que son *status* (estado), *Address* (dirección), *Installation* (instalación) y *Misc* (misceláneo) muestran otras características del sitio, como son el estado que nos dice si el sitio ya está listo para pruebas iniciales, comercialmente lanzado o en construcción, dirección, instalación que muestra algunas notas de modificaciones o datos importantes durante ésta y datos misceláneos que se prudente incluir como precedente.

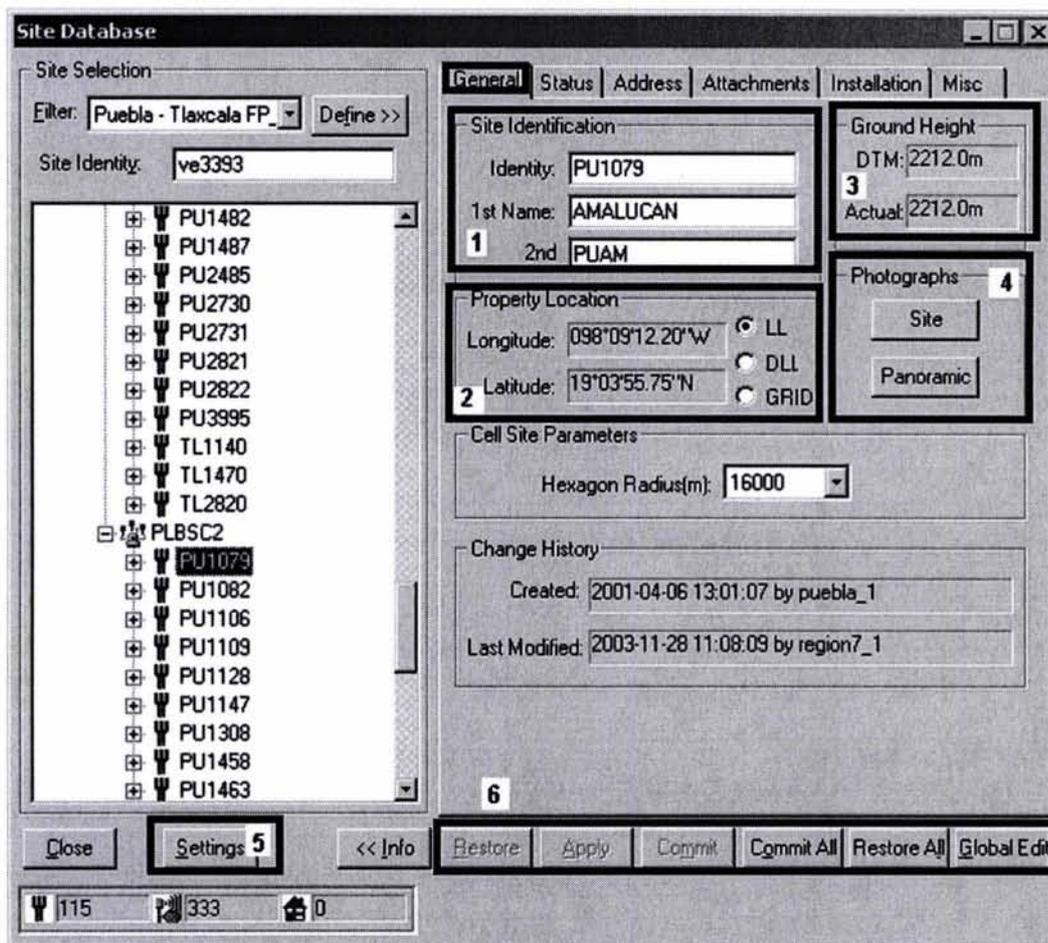


Figura D.2. Submenú General de la ventana de base de datos de sitio.

Si nos adelantamos un poco más en la estructura de un sitio, encontraremos las celdas, que al ser seleccionadas, nos desplegaran otros submenús con información de celda, al igual que los sitios. En la figura D.3 se muestra en el rectángulo negro, indicado con el número 1, la estructura de los sitios en la base de datos. Se indica la BSC y dentro de ésta los sitios que la conforman, a su vez dentro de los sitios se encuentran las celdas. En el recuadro 2 se muestra la identidad del sitio, es decir el nemónico con el cual se maneja el sitio en la base de datos; en el número tres el tipo de modelo de propagación a utilizar en las predicciones; en el número cuatro los parámetros de identidad de la red y en el número 5 el BSIC de la radio base. En el recuadro número 4 se ha resaltado como dato el área de localización del sitio, que tiene relación directa en la manera que la central vocea un móvil.

Los otros submenús de datos de celda *cell config* (configuración de celda) y *exceptions* (excepciones) incluyen información del tipo de configuración de antena, como son: las características de la antena, la inclinación y el acimut, el tipo de alimentador, la longitud del alimentador, y las frecuencias utilizadas para el radio que tiene definido el canal de control y los canales de tráfico.

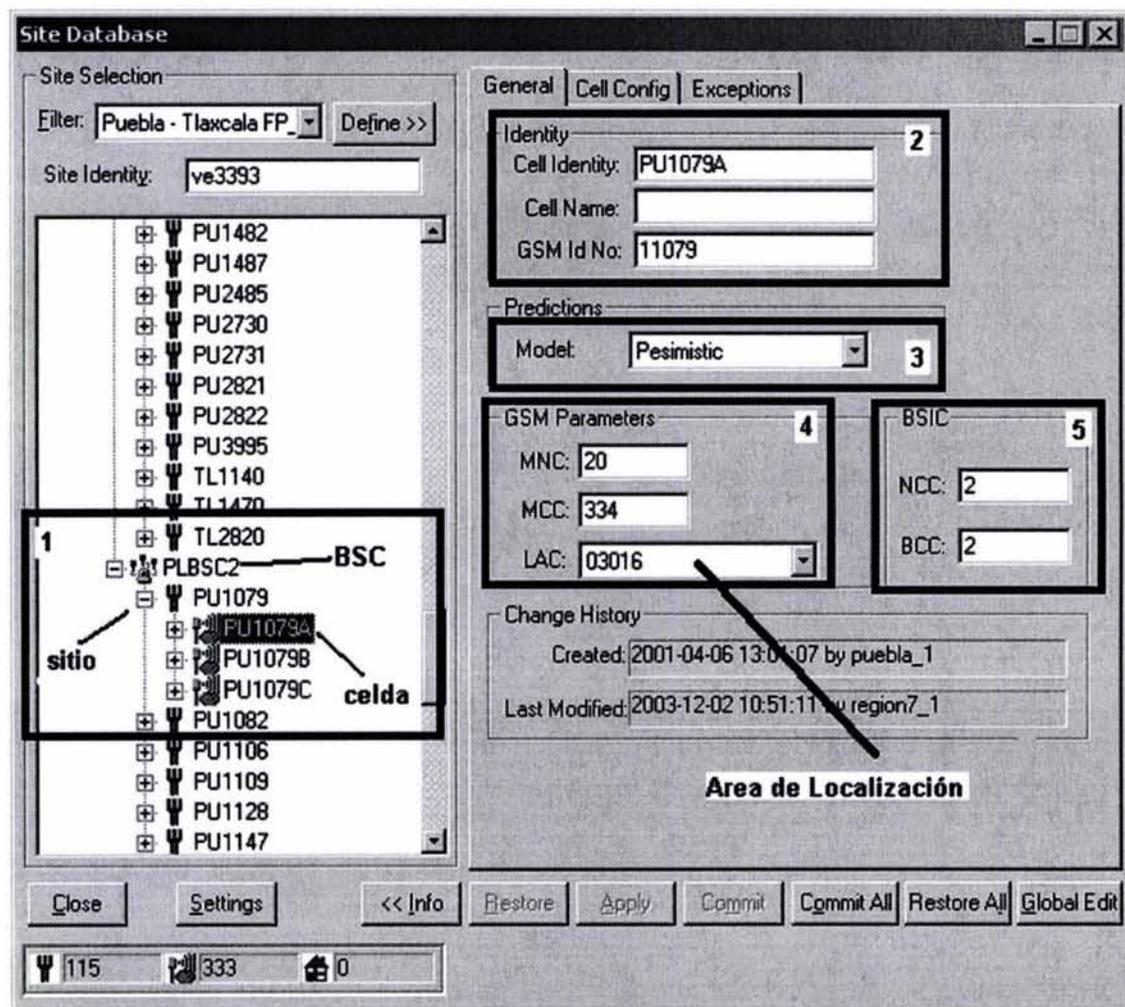


Figura D.3. Submenú General de la ventana de base de datos de celda.

Regresando a la figura D.1., la ventana de vista en dos dimensiones presenta información gráfica de importancia, como es la ubicación de sitios, mapas de alturas, mapas de carreteras, tipo de terreno (cuerpos de agua, ríos, zonas urbanas, rurales, de cultivo, residenciales, etc) entre otras. En la figura D.4 se muestra la ventana de la figura D.1. ampliada, con los accesos directos más importantes. En el recuadro número 1 se indican las herramientas para agregar sitios y editar sus características desde esta ventana, así como herramientas para observar las características del terreno; en el número 2 se muestran las herramientas para navegación dentro de la ventana; en el número 3 la herramienta que despliega los tipos de datos (data types), que comprenden los mapas de alturas, tipo de terreno, mapas de carreteras, o predicciones de cobertura;

finalmente en el número cuatro se presentan las herramientas de despliegue de las predicciones de cobertura realizadas por TEMS.

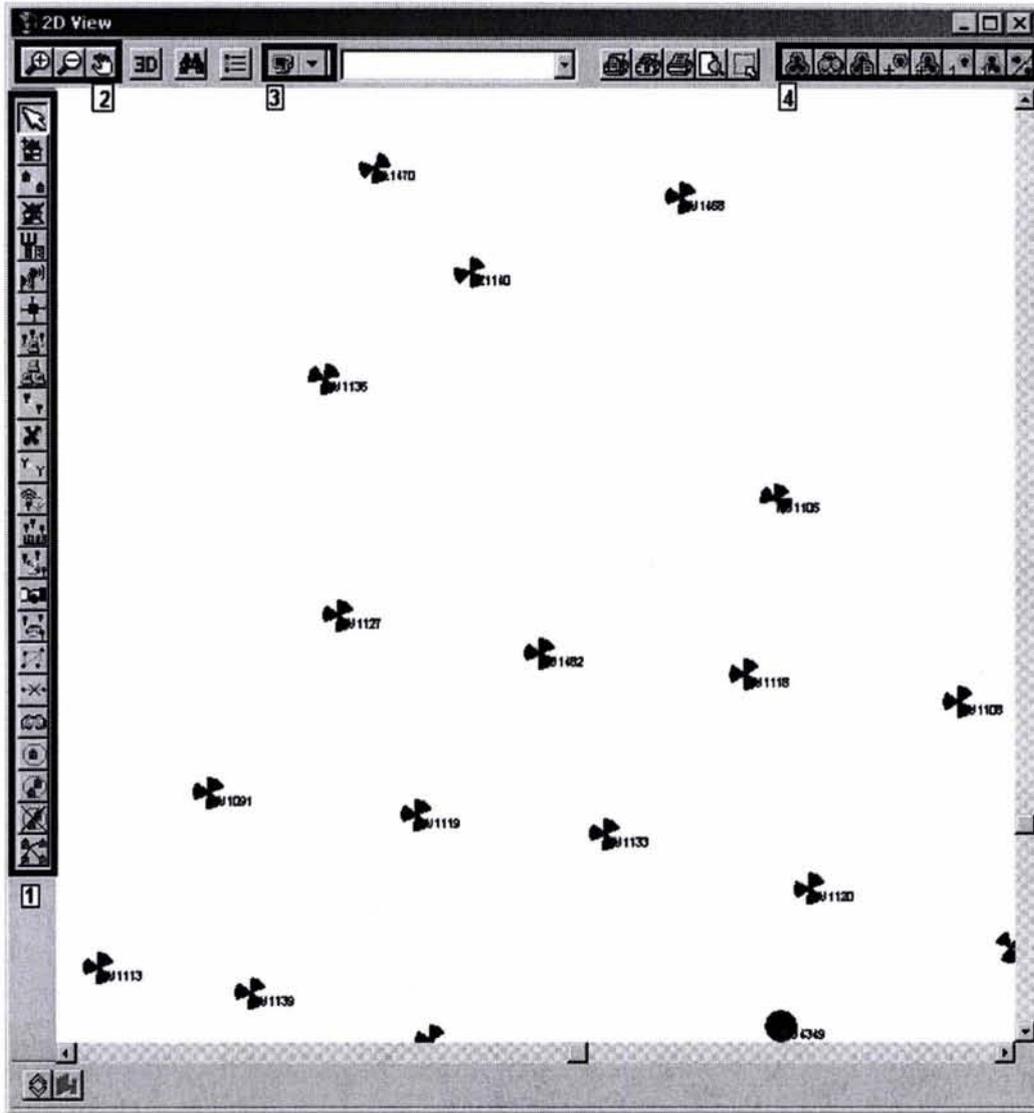


Figura D.4. Ventana de vista en dos dimensiones.

En el menú de tipo de datos, mediante la selección de cada uno de ellos, podemos mostrar en el mapa, figura D.5., la altura del terreno, mostrado en la parte superior derecha de la figura; en la parte superior izquierda, la rejilla o *grid* como auxiliar en el posicionamiento de sitios; en la parte inferior derecha el vector de cobertura garantizada al operador y en la parte inferior izquierda el mapa con calles. También es posible mostrar el tipo de terreno. En la figura D.6. se muestra este tipo de mapa y la interpretación por color de cada área, este tipo de áreas se obtiene en formato digital del INEGI y el programa es capaz de importar esta información.

En la figura D.7., ventana derecha, se muestra la predicción de cobertura realizada con la herramienta para un sitio; en la parte izquierda una celda de este sitio. Es posible

obtener la predicción de cobertura que aparecen en la pantalla, para utilizarse en el área comercial, en donde se indica las zonas de cobertura, o para propósitos de optimización en el caso de la predicción de un solo sitio o celda.

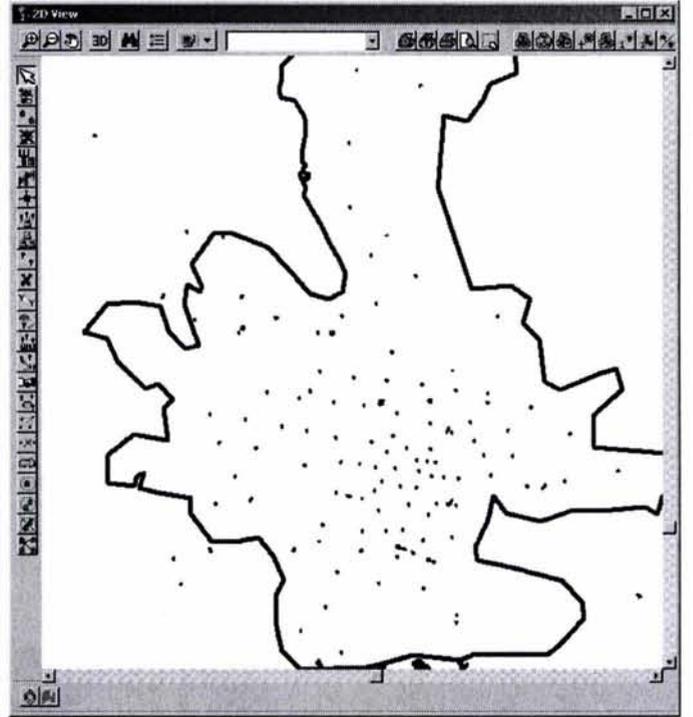
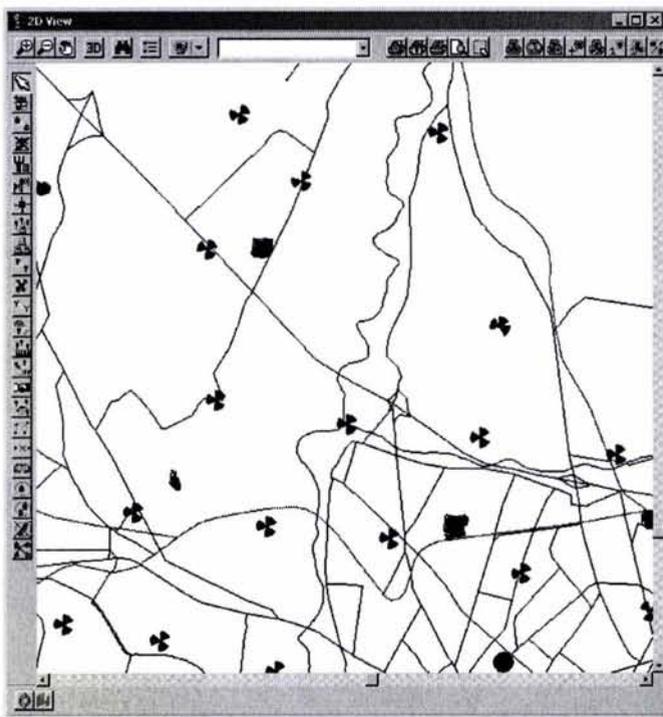
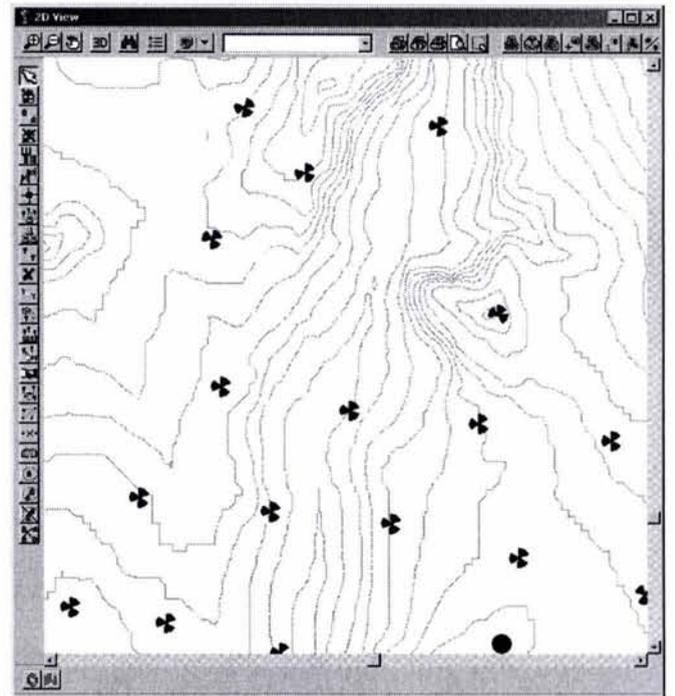
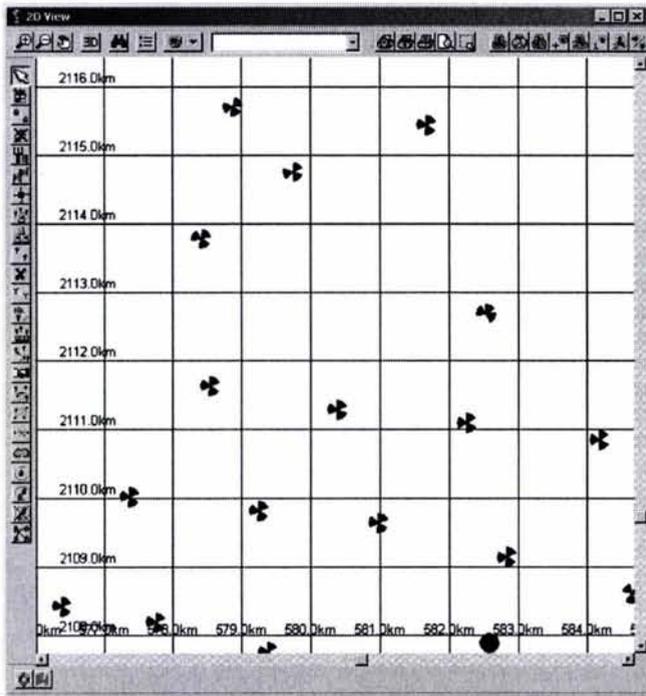


Figura D.5. Tipos de datos mostrados en la ventana 2nd View.

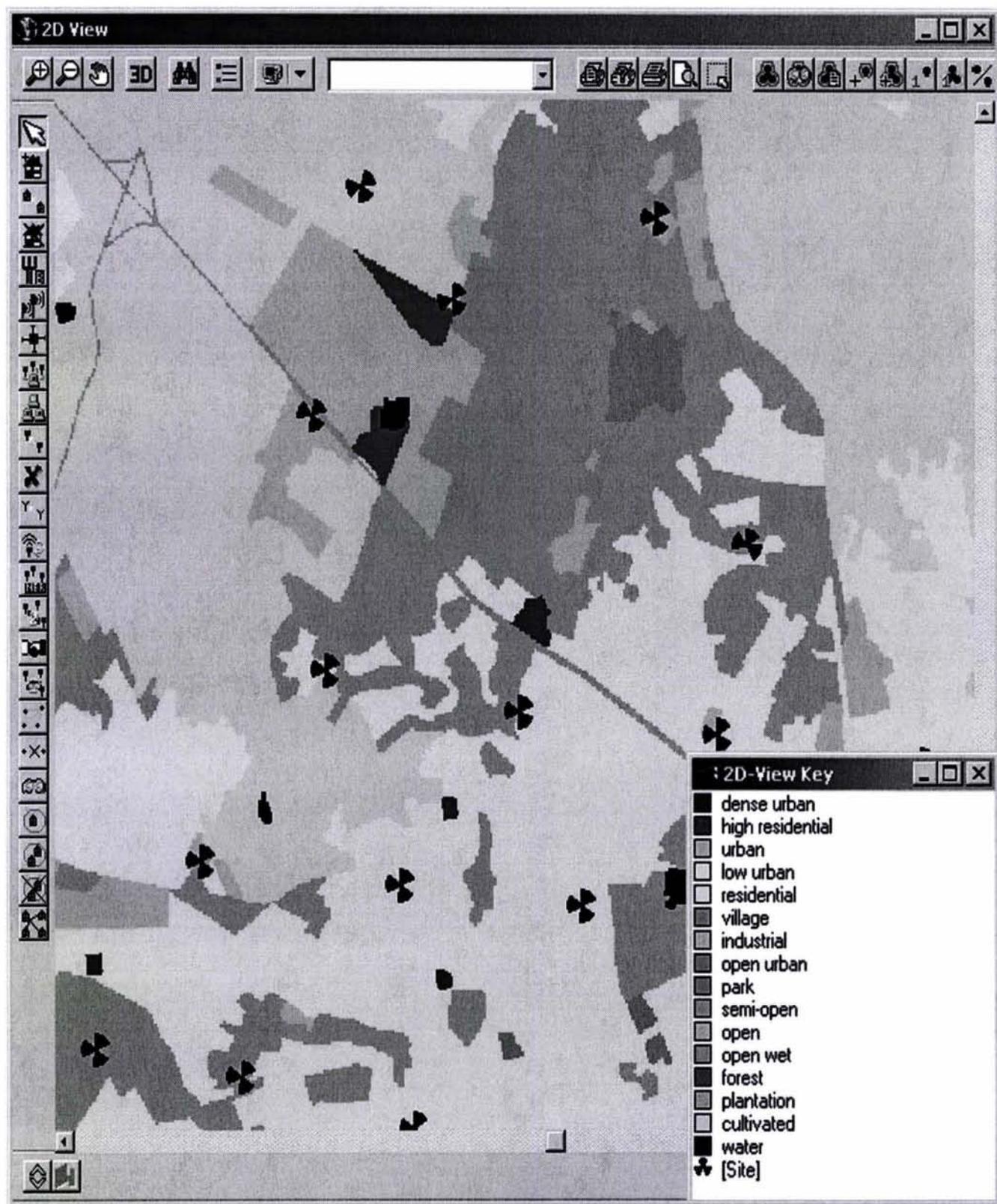


Figura D.6. Mapa de tipo de terreno.

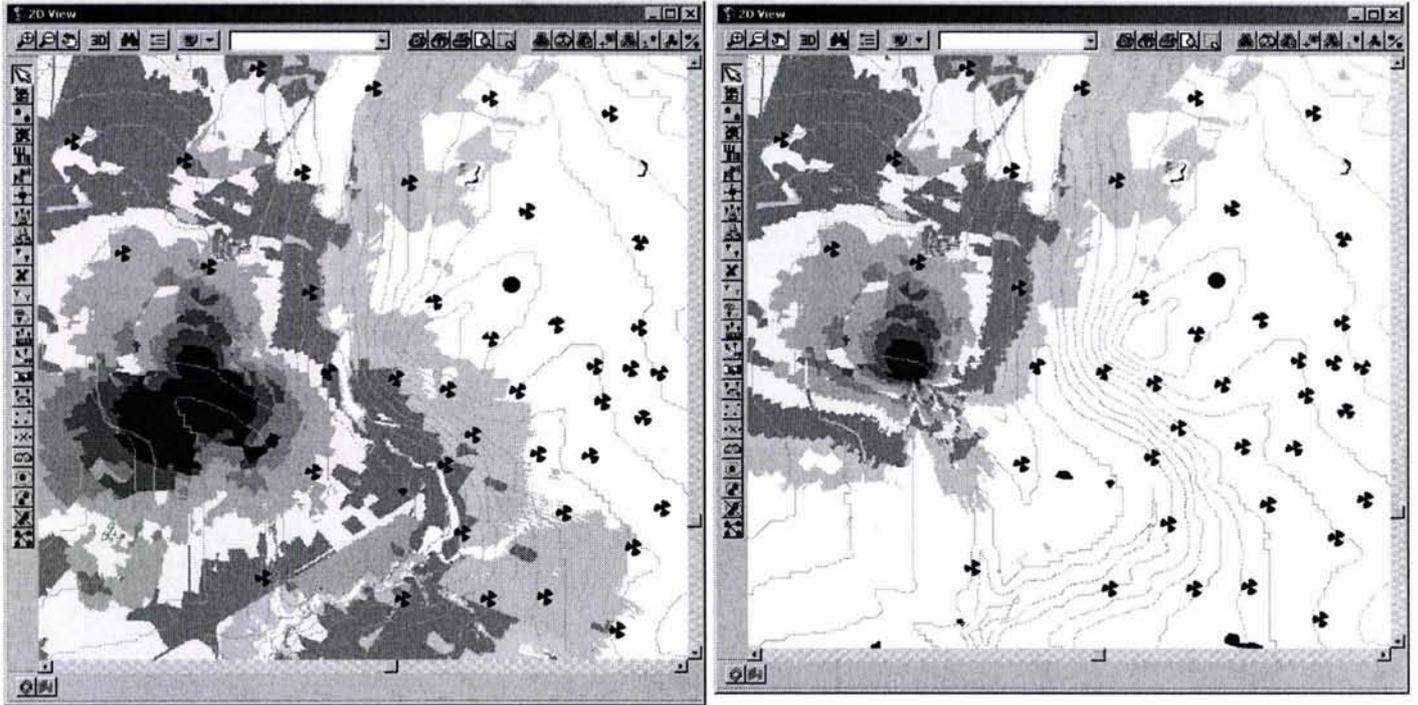


Figura D.7 Predicciones de cobertura para un sitio y una de sus celdas.

TEMS cell planer incluye también una base de datos de las antenas utilizadas en el diseño con un visualizador del patrón de radiación de dichas antenas, un programa para generar planes de frecuencia, bases de datos de contactos, bases de datos de tipo de alimentado y generadores de reportes. Esta herramienta es útil tanto para el diseñador como para el optimizador.

APÉNDICE E FORMATOS

En este apéndice se presentan los formatos utilizados para la inspección de sitios nuevos. Se presenta como ejemplo el sitio PU1493 ubicado en el centro de la ciudad de Puebla. También se presenta el formato para visita a candidatos.

Elaborado (siglas, nombre, telefono) TNPb/ Erick Ricardo Pérez Valadez ext.93905		Fecha de visita: 02/10/2002	No. de documento 1431-IPB 835 PU1493 Usl	
Aprobado (depto, firma) TNPb/ Luis Fernando Garcia Lopez	Verificado	Fecha de elaboración: 03.03.17	Rev C	Archivo: santa monicaTR_PU1493_C

DATOS DE DISEÑO PARA SITIOS NUEVOS GSM 1900 MHz

Ingeniería del sitio Celular para Radiobase 2106

Nombre:	SANTA MONICA			Región:	7
ID GSM:	PU1493			ID TDMA :	
Dirección:	Calle 3 Norte #1403				
Colonia, delegación o municipio:	Colonia Centro 72000				
Estado:	Puebla, Puebla				
Ubicación física:	AZOTEA	CENTRAL TELMEX	NO		
Referencias para llegar al sitio.					

1.- DATOS DE CONFIGURACION

CONFIGURACION (HARDWARE).		PORTADORAS POR SECTOR (DATOS RF)			
2106		OMNI	A	B	C
3 X 2 (2,2,2)			1	1	1
COORDENADAS GEOGRAFICAS:		AZIMUTH	43	168	270
LATITUD	19° 3' 9.2" N	TILT	0	0	0
LONGITUD	98° 11' 48.2" W	ALTURA	21	21	21
DECLINACION MAGNETICA	6.1°	ANTENA TIPO	65_2X_18P_KA_742212	65_3X_18P_KA_742212	65_2X_18P_KA_742212



NOTAS:
CON TCC

1dTRU = 1 portadora = 1 TRU
SIN TCC
1dTRU = 2 portadoras = 2 TRU's
Cableado:
NO COMBINADO

Aprobado:
Rechazado:

FECHA
Oct. 8, 2002

Revisado por:
Ramiro Alfonso Arias López tel. 2581 - 4808

Comentarios:

HISTORIAL DE REVISION

REV	FECHA	MOTIVO T E	COMENTARIOS	FECHA APROBADO	
				Operador	NPOC
B	02/10/2002	X	Cambio de tipo de BTS de 2X02 a 2X06		
C	03.feb.17	X	Actualizacion TR		

Fecha:	Rev	No. de Documento
03.02.17	C	1431-IPB 835 PU1493 Usl

DATOS DE UBICACIÓN DE LAS ANTENAS

TIPO DE SITIO --> Existing TDMA Planned TDMA New GSM

Tipo de Estructura:

Antenas TDMA a futuro en plano:

Altura de nivel de plataforma:

Propuesta de Instalación en:

Altura de instalación propuesta:

COMENTARIOS

LINEAS DE FEEDER POR SECTOR	OMNI	A	B	C
			2	2
	LARGO	21	21	11
	TIPO	7/8"	7/8"	7/8"

PROPUESTAS DE PUNTOS NO CONSIDERADOS EN PLANOS

COMENTARIOS

- Instalacion de soportes tipo bandera

- Instalacion de soportes en piernas de torre

- Colocación o cambio de posición de barras de tierra Ver planos de adecuaciones

- Instalación de soportes de 4 metros

- Movimiento de los soportes de antenas

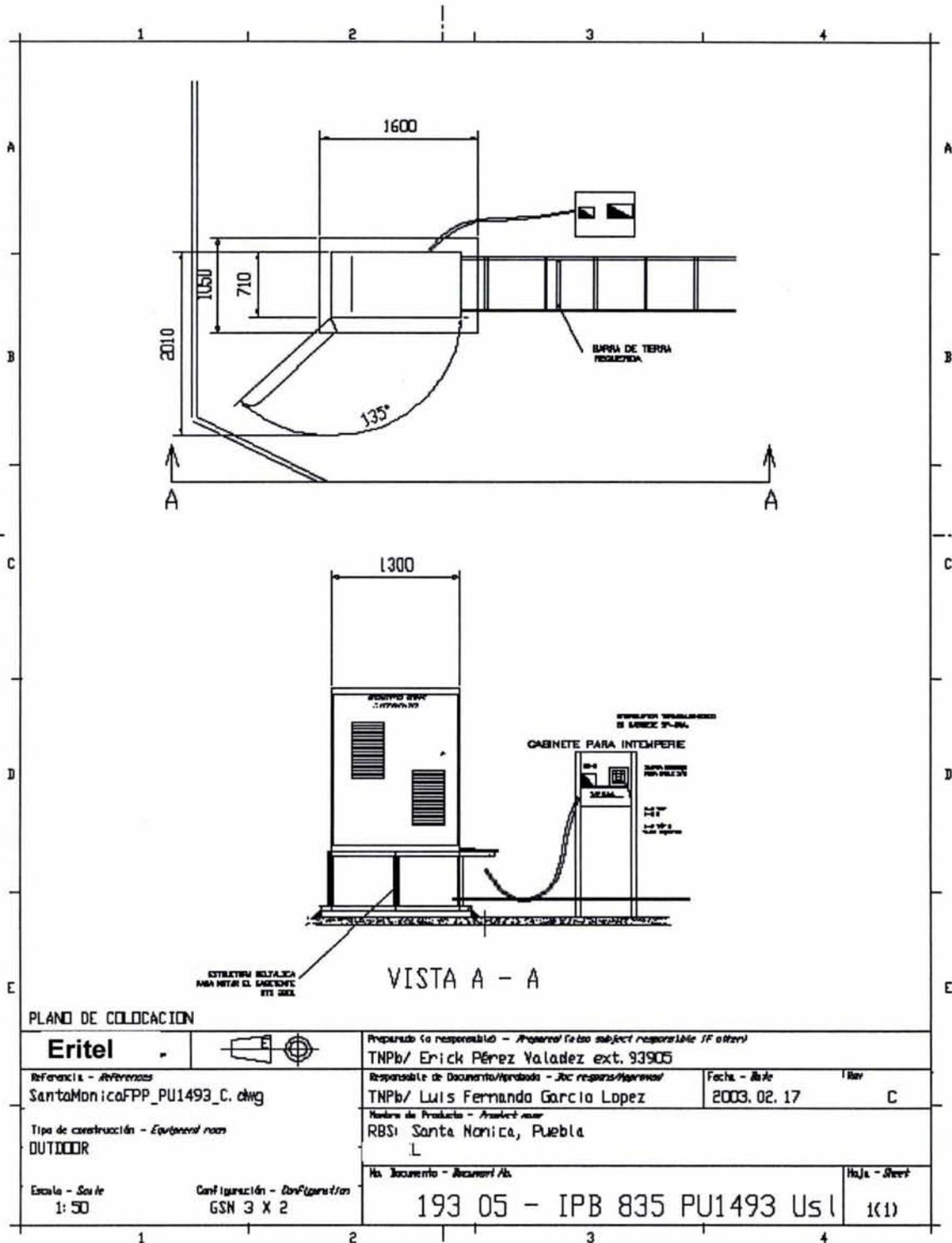
- OTROS

NOTA:

El tipo de feeder varía según la longitud del mismo y se obtiene de la información proporcionada por el cliente, por lo tanto puede cambiar según las adecuaciones realizada en el sitio.

Fecha:	Rev	No. de Documento
03.02.17	C	1431-IPB 835 PU1493 Us1

FLOOR PLAN PROPUESTO

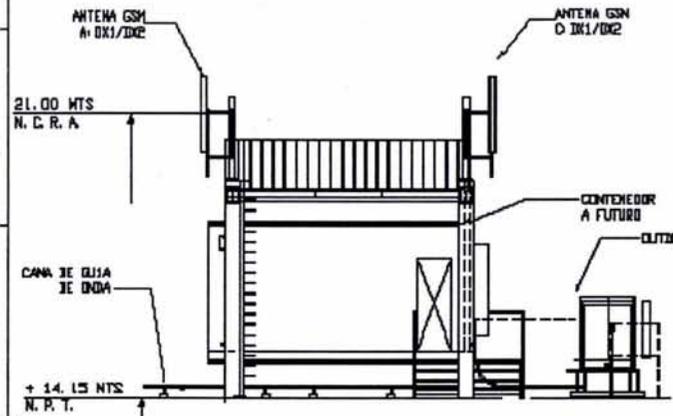


PLANO DE COLOCACION

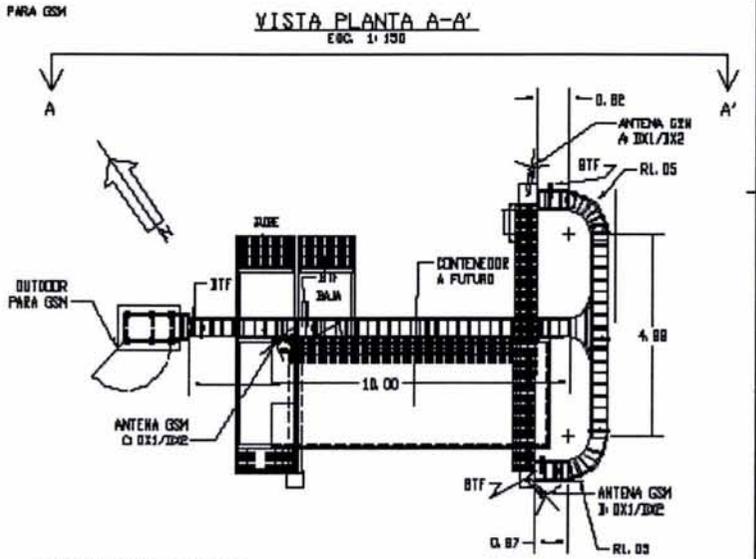
Eritel		Preparado (o responsable) - Prepared (or the subject responsible) (if other) TNPb/ Erick Pérez Valadez ext. 93905	
Referencia - Referencias SantaMonicaFPP_PU1493_C.dwg		Responsable de Documento/Proyecto - Doc respons/Project TNPb/ Luis Fernando Garcia Lopez	Fecha - Date 2003.02.17
Tipo de construcción - Equipment room OUTDOOR		Nombre de Proyecto - Project name RBSi Santa Monica, Puebla	
Escala - Scale 1:50	Configuración - Configuration GSN 3 X 2	No. Documento - Document No. 193 05 - IPB 835 PU1493 Us1	Hoja - Sheet 1(1)

DATOS DE RF					
CELDA	AZIMUTH	TILT	ALTURA	TIPO DE FEEDERS POR SECTOR	TIPO DE ANTENA
A	45	0	21	7/8"	2 65 ES USP SA 240212
B	160	0	21	7/8"	2 66 ES USP SA 240212
C	270	0	21	7/8"	2 63 ES USP SA 240212

NOTAS GENERALES
 ANTENAS Y SECTORES REFERIDAS AL NORTE GEOGRAFICO
 N.C.R.A. = NIVEL DE CENTRO DE RADIAACION DE LA ANTENA
 N.P.T. = NIVEL DE PISO TERMINADO



VISTA A - A
 ESC. 1:100



VISTA PLANTA A-A
 ESC. 1:100

PREPARACIONES ADICIONALES
1. Se requieren mastiles de 3 mts para cada sector
2. Instalar un OAD como muestra en planta
3. Colocar los BTF's respectivos en planta

ANTENNA PLACEMENT INFORMATION			
TRAZO / Alejandro Escobar Nipoles de Documentación - de responsabilidad Santa Monica ADEC PU1493_C.dwg Tipo de construcciones - Equipos para Outdoor Escala - 1:150	Preparado de responsabilidad - Preparado de la obra sub-jefe responsable de obra de Documentación - de responsabilidad TNPB/ Luis Fernando Garcia Lopez Trabajo de Proyecto - Proyectista RDS/ Santa Monica, Puebla No. de Proyecto - 153 12 - IPB 835 PU1493 USI	Fecha - 2003 02 17 Rev - C	Hoja - 1 de 1

E-5

BUSCATELL

Prepared (also subject responsible if other) TIM/TNDT Carlos Montoya		No. TIM/TNDS – 2001 : 0551		
Approved TIM/TNDT Luiz Fernando R.Barros	Checked	Date 2001-08-28	Rev A	Reference

Candidate # : 1

Building (roof top) Terrain Other

Describe other: _____

Estimated building height : 15 (meters)

Address : *Antonio Chedraui Caran No. 250, entre Lazaro Cardenas y*

Chalchihueyecan. Col. Encinal. C.P. 91180

Coordinates : Latitude : 19°32'11.6"

Longitude : 96°54'21.7"

Datum: *NAD 27 Mexico* (GPS)

Distance from the original point : 85 (meters)

Angle : _____° (generated by GPS)

Pictures taken at : 15 meters (above ground level)

Sketch (top view layout) :



BUSCATELL

Prepared (also subject responsible if other) TIM/TNDT Carlos Montoya		No. TIM/TNDS – 2001 : 0551	
Approved TIM/TNDT Luiz Fernando R.Barros	Checked	Date 2001-08-28	Rev A
		Reference	

Pictures :

Azimuth	Picture number	Hyperlink
0 Degree	IMG_0105	Opc1\IMG_0105.JPG
40 Degrees	IMG_0106	Opc1\IMG_0106.JPG
80 Degrees	IMG_0107	Opc1\IMG_0107.JPG
120 Degrees	IMG_0108	Opc1\IMG_0108.JPG
160 Degrees	IMG_0109	Opc1\IMG_0109.JPG
200 Degrees	IMG_0110	Opc1\IMG_0110.JPG
240 Degrees	IMG_0111	Opc1\IMG_0111.JPG
280 Degrees	IMG_0112	Opc1\IMG_0112.JPG
320 Degrees	IMG_0113	Opc1\IMG_0113.JPG
Site location (20 m away)	IMG_0114	Opc1\IMG_0114.JPG

Analysis Result :

- Candidate Approved**

 1st option
 2nd option
 3rd option

Candidate Rejected

Final configuration (changes if candidate approved) :

<u>Sector 1</u>	<u>Sector 2</u>	<u>Sector 3</u>
Antenna height: 30 m	Antenna height: 30 m	Antenna height: 30 m
Azimuth: 0°	Azimuth: 120°	Azimuth: 260°
Tilt: 0°	Tilt: 1°	Tilt: -1°

BUSCATELL

Prepared (also subject responsible if other) TIM/TNDT Carlos Montoya		No. TIM/TNDS – 2001 : 0551		
Approved TIM/TNDT Luiz Fernando R.Barros	Checked	Date 2001-08-28	Rev A	Reference

Candidate # : 2

Building (roof top) Terrain Other

Describe other: _____

Estimated building height : 12 (meters)

Address : *Antonio Chedraui Caran, entre Lazaro Cardenas y*

Pedro Lopez Arias. Col. Encinal. C.P. 91180

Coordinates : Latitude : 19°32'14.1''

Longitude : 96°54'22.5''

Datum: *NAD 27 Mexico* (GPS)

Distance from the original point : 70 (meters)

Angle : _____° (generated by GPS)

Pictures taken at : 12 meters (**above ground level**)

Sketch (top view layout) :



BUSCATELL

Prepared (also subject responsible if other) TIM/TNDT Carlos Montoya		No. TIM/TNDS – 2001 : 0551		
Approved TIM/TNDT Luiz Fernando R.Barros	Checked	Date 2001-08-28	Rev A	Reference

Pictures :

Azimuth	Picture number	Hyperlink
Panoramic 360 Degrees		Opc2\Panoramica de 360.jpg
Site location (5 m away)	IMG_0110	Opc2\IMG_0010.JPG
Site location (20 m away)	IMG_0111	Opc2\IMG_0011.JPG

Analysis Result :

- Candidate Approved**
 - 1st option
 - 2nd option
 - 3rd option
- Candidate Rejected**

Final configuration (changes if candidate approved) :

<u>Sector 1</u>	<u>Sector 2</u>	<u>Sector 3</u>
Antenna height: 30 m	Antenna height: 30 m	Antenna height: 30 m
Azimuth: 0°	Azimuth: 120°	Azimuth: 260°
Tilt: 0°	Tilt: 1°	Tilt: -1°

APÉNDICE F

TEMS INVESTIGATION DE ERICSSON

En este apartado hacemos la descripción de la segunda herramienta utilizada en el desarrollo del proyecto de la red celular GSM.

En la figura F.1 se muestra el monitor de nivel de señal (ventana superior) tanto de la mejor servidora (línea verde) como de las cinco vecinas más fuertes (otros colores); niveles de calidad de voz (ventana de en medio, barra verde); tasa de bits erróneos (ventana de en medio, línea roja) y los niveles de interferencia (ventana inferior). En esta ventana están los índices más importantes que hay que considerar y monitorear constantemente durante el recorrido. Es importante hacer durante el recorrido anotaciones sobre cada uno de los eventos que se vayan presentando, para tomarlo en cuenta durante el análisis posterior.

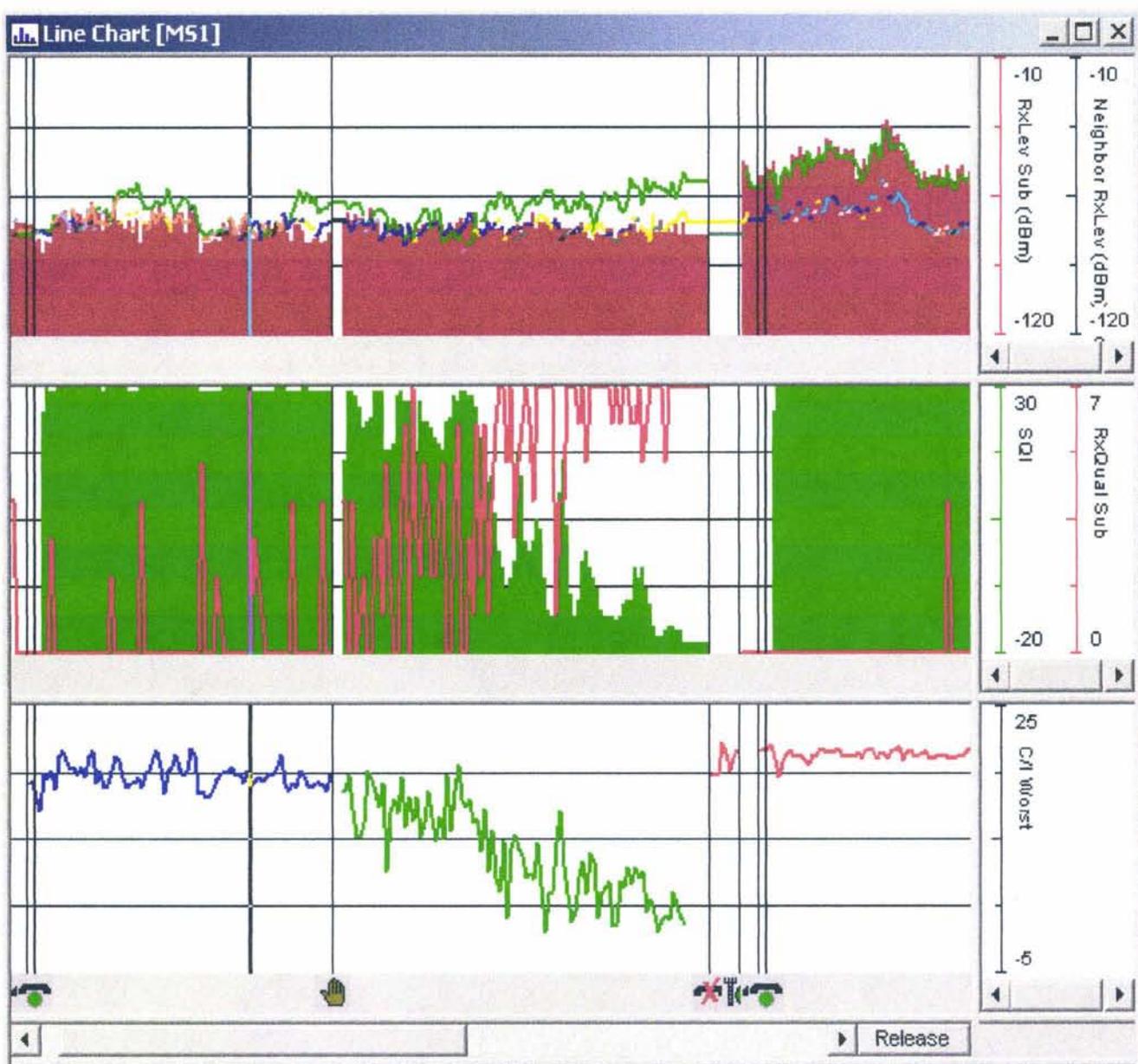


Figura F.1. Monitor gráfico de diferentes niveles de TEMS Investigation.

De la figura F.2 describiremos un problema típico: una llamada caída en el canal de tráfico debido a interferencia cocanal. En el monitor, la llamada caída aparece como un auricular con una equis dentro de un círculo rojo, en la parte inferior de la figura. Se observa que la relación C/I disminuye rápidamente y que la calidad de la recepción RxQual se degrada también de la misma forma.

En ocasiones, el incremento de los bits erróneos durante una llamada provocará que el móvil haga un *handover* por una condición de urgencia, debido a la mala calidad de voz que se está presentando. Por esto, es necesario determinar si la interferencia es adyacente o cocanal y por supuesto, ubicar la celda que la está provocando. Si resulta que existe una interferencia cocanal, el problema tendrá un mayor impacto en la red. Para cuando el problema es causado por interferencia adyacente, la calidad de voz no se verá tan afectada y además existirá la opción de hacer un *handover* a otra celda, con lo que la calidad de la llamada se recuperará otra vez.

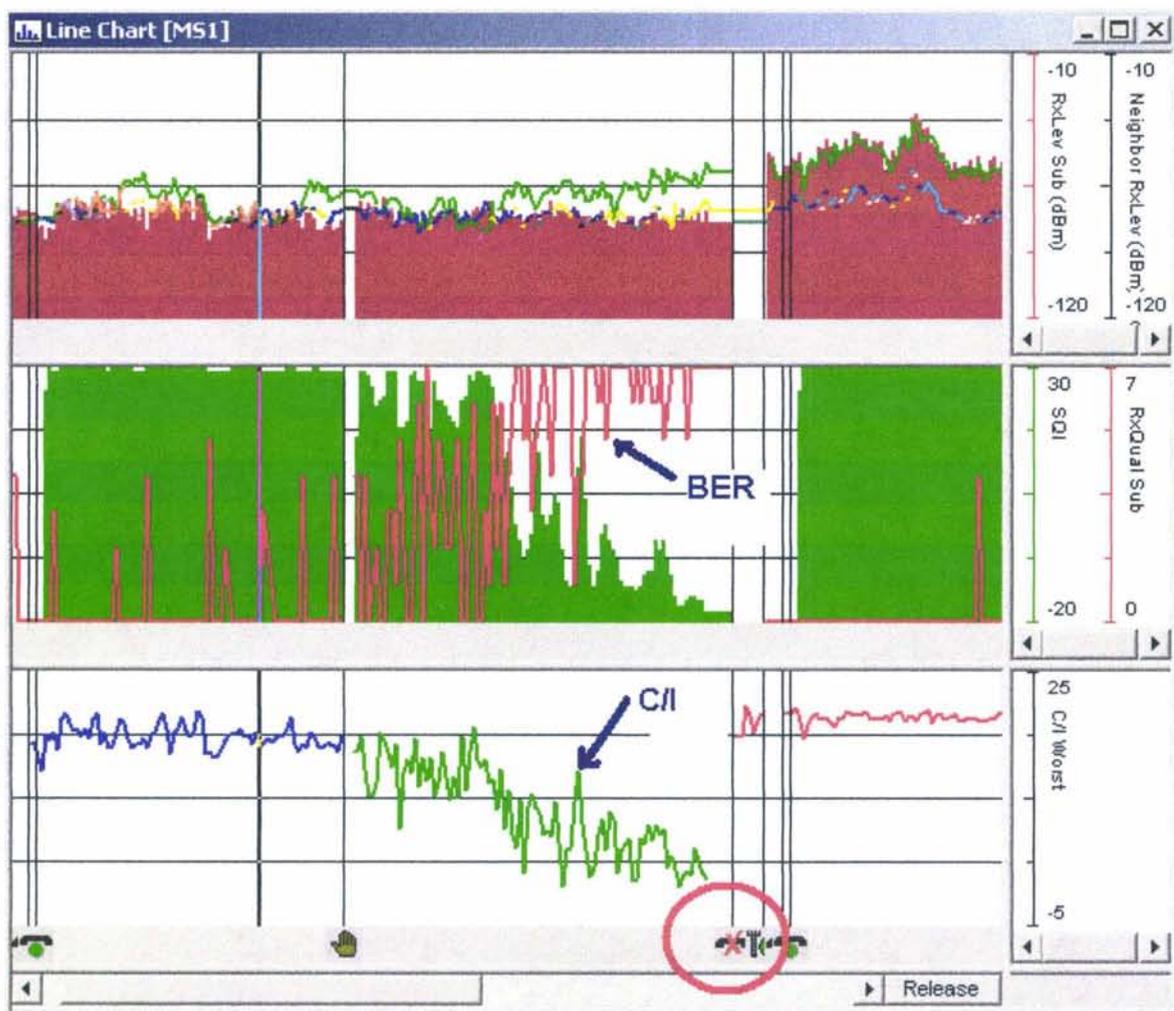


Figura F.2. Llamada caída en el canal de tráfico por interferencia.

El procedimiento para la solución del problema es detener la prueba y con el teléfono hacer un barrido de todas las frecuencias que en ese momento estén llegando a ese punto. En la figura F.3 aparece la ventana del escáner y nos muestra los niveles de intensidad de señal para cada uno de los 24 canales que estamos usando. Por ejemplo, en esta ventana observamos que el canal 607 es el más fuerte, pero sus adyacentes están muy cercanas, lo que podría llegar a ocasionar interferencia adyacente, si es que los niveles llegan a igualarse. En este caso podríamos pensar en cambiar el canal 607 de la celda que estamos analizando para evitar este problema. Si se opta por esta solución, habrá que escoger el canal más débil en esta área de acuerdo a las mediciones del escáner. Para este caso, la frecuencia más adecuada sería la del canal 572 por ser la más débil y por consecuencia la más lejana. Hay que poner principal atención en la lectura la misma frecuencia, que puede provenir de otra celda lejana con diferente BSIC pero que podría ocasionar interferencia cocanal.

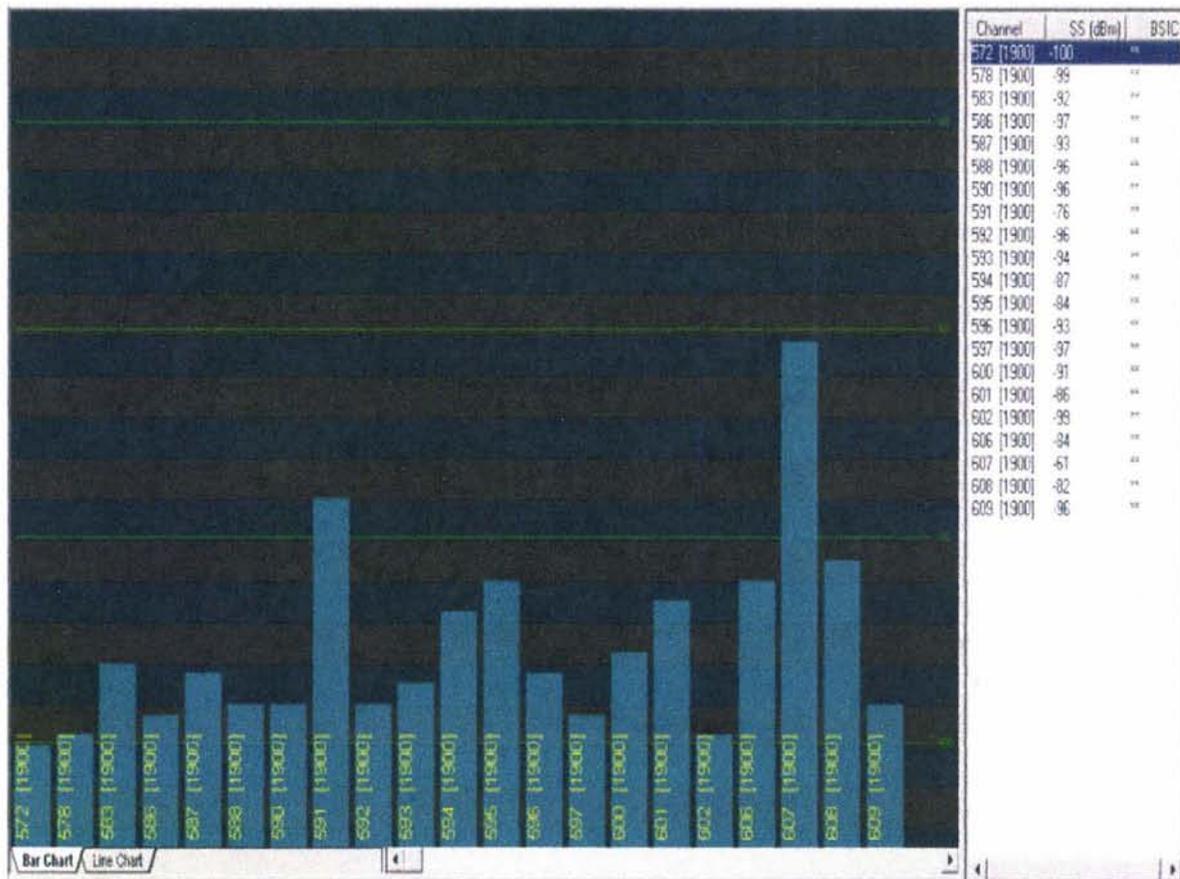


Figura F.3. Medición de los niveles de intensidad para los 24 canales.

Existe otra ventana en la que se puede observar todos los mensajes que recibe o envía el móvil de o hacia la BTS. En el monitor de mensajes que aparece en la figura F.4, se observan los mensajes de señalización entre el móvil y la BTS durante una llamada. En esta figura, por ejemplo, para este instante, observamos

la secuencia que tiene el proceso de *handover*, mediante el envío de información de sincronización (*Synch channel information*), reportes de medición (*measurement report*), envío del comando para el *handover* (*handover command*) y la respuesta de confirmación por parte del móvil al solicitar el acceso del cambio de celda (*handover access*); una vez que el *handover* se hace, el móvil debe de enviar un mensaje de confirmación (*handover complete*) La ventana de detalles de mensajes muestra la hora en la que ocurrió el evento, las coordenadas del punto donde ocurrió y los datos de BSIC y BCCH de la celda a la que se va a cambiar el móvil.

The screenshot shows two windows from a network analysis tool. The 'Layer 3' window on the left displays a list of messages with columns for Source, Direction, and Message. The 'Message Details' window on the right provides specific information for the selected 'Handover Command' message.

Source	Direction	Message
MS1	Downlink	Synch Channel Information
MS1	Downlink	System Information Type 6
MS1	Uplink	Measurement Report
MS1	Downlink	System Information Type 5
MS1	Uplink	Measurement Report
MS1	Downlink	Handover Command
MS1	Uplink	Handover Access
MS1	Uplink	Handover Complete
MS1	Downlink	Physical Information
MS1	Downlink	System Information Type 5
MS1	Uplink	Measurement Report
MS1	Downlink	System Information Type 6
MS1	Uplink	Measurement Report

Message Details

MS1
Handover Command
 Time: 02:30:11.77
 Latitude: N 1901.1686
 Longitude: W 09811.0764
 Speed: 9.362889
 Frame number: 597111

Skip indicator: 0
 Protocol discriminator: (6) Radio resources management messages
 Message type: 43
 Cell description
 NCC: 5 PUE1006A
 BCC: 0
 BCCH ARFCN: 598

Figura F. 4. Monitor de mensajes.

En la figura F.5 se muestra otro componente de la herramienta de prueba, en esta ventana se observa la lectura del nivel de intensidad de señal de las celdas vecinas. El primer renglón corresponde a la frecuencia y BSIC de la celda servidora, mientras que todas las demás lecturas corresponden a las celdas vecinas de la servidora. Observamos aquí, que el canal 595 corresponde a la celda servidora y que la lectura correspondiente al canal 596 tiene un valor muy cercano a ésta, lo que puede provocar problemas de interferencia adyacente en caso de que ambos valores estén muy cercanos uno del otro (aproximadamente 3 dB). De esta misma ventana, también podemos observar que la celda que tiene asignado el canal 593 es la siguiente mejor servidora y a la cual seguramente hará el cambio de celda.

Cellname	ARFCN	BSIC	RxLev	C1	C2	C31	C32
595	15	-81					
593	52	-78					
595	15	-83					
596		-89					
598	61	-89					
606	47	-91					
607		-82					
601	32	-87					
594		-88					
599	73	-89					
591		-101					
504		-102					
592		-102					
603		-103					
597		-104					
590		-104					
602		-104					
600		-105					
605		-109					
608		-110					
609		-112					
598		-112					
610		-113					
589		-113					
597		-113					

Figura F.5. Monitor de celda servidora y sus celdas vecinas.

La última ventana es la de la figura F.6, en dónde se puede mostrar el mapa de la ciudad, los mapas de cobertura y la ubicación de los sitios. Además, en esta ventana se observa con una línea azul el enlace entre la BTS y el móvil; esto es muy útil durante las pruebas de campo para saber exactamente con que BTS estamos enlazados.

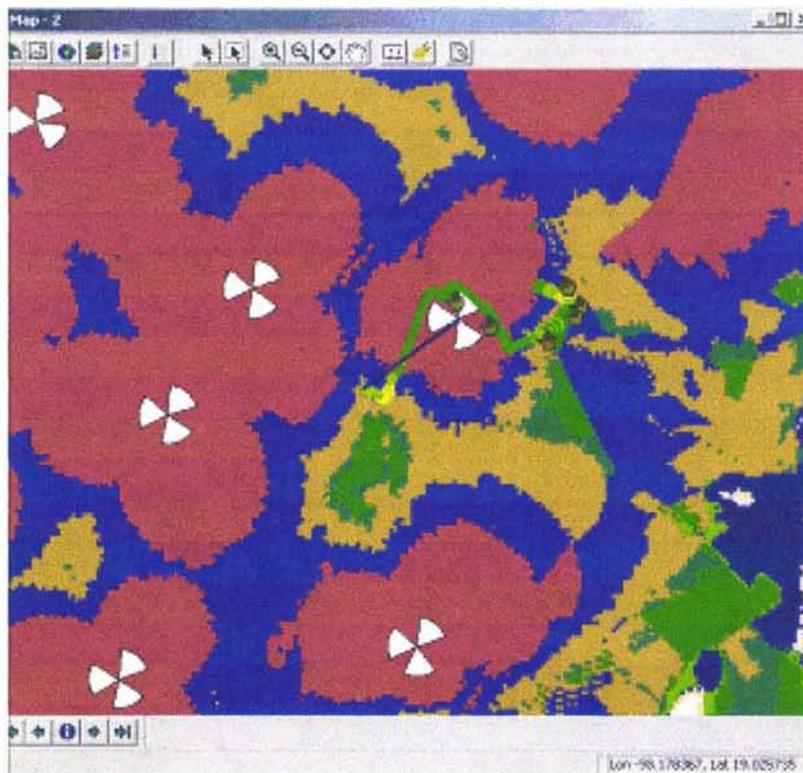


Figura F.6. Mapa con la ubicación del móvil.